ISSN 2073-1523

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ

2017 г., № 1 (39)

ББК 38
И 33
УДК 69

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. Р.К. Низамов
Зам. главного редактора: д-р техн. наук, проф., чл.-корр. АН РТ
А.М. Сулейманов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ахмадиев Ф.Г., д-р техн. наук, проф.;
Есаулов Г.В., д-р архитектуры, проф., академик РААСН;
Ильичев В.А., д-р техн. наук, проф., первый вице-президент РААСН;
Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Мирсаяпов И.Т., д-р техн. наук, проф.;
Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф., почетный член РААСН;
Хозин В.Г., д-р техн. наук, проф.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Фиговский О.Л., д-р техн. наук, проф., член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль);
Фишер Х.-Б., доктор-инженер (Германия);
Хассан Абдалла, д-р наук (PhD), проф. (Великобритания);
Янотка И., канд. техн. наук, с.н.с. (Словакия).

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определяемый Высшей аттестационной комиссией (ВАК), рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-25136 от 20 июля 2006 г.). Включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ком. 79.
Тел. (843) 510-46-39, факс (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Сайт: http://izvestija.kgasu.ru

© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2017

ISSN 2073-1523

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

MINISTRY OF CONSTRUCTION, ARCHITECTURE AND HOUSING
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE

2017, № 1 (39)

BBC 38
I 33
UDC 69

Editor-in-Chief: Dr. tech. sci., prof. Nizamov R.K.
Deputy Editors-in-Chief: Dr. tech. sci., prof., corr.-m. AS RT Suleimanov A.M.

EDITORIAL BOARD:

Ahmadiev F.G., Dr. tech. sci., prof.,
Esaulov G.V., Dr. arch. sci., prof., member of the Academy of RAACS;
Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Mirsayapov I.T., Dr. tech. sci., prof.;
Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS;
Khozin V.G., Dr. tech. sci., prof.

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Figovskiy O.L., Dr. tech. sci., prof., member of EAS, foreign member of RAACS (Israel);
Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);
Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
Janotka I., Cand. tech. sci., head of unit (Slovakia).

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:
FSBEI of HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»

The journal is included in the index of leading reviewed scientific journals and editions, defined by the Higher Attestation Commission, and recommended for publication of basic scientific results of dissertations on scientific degree of the doctor and the candidate of sciences. The articles are reviewed. Reproduction without the permission of editors is prohibited; citing references to the journal are obligatory.

It is registered by Federal agency on surveillance of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection (the certificate on registration PI № FS77-25136, dated July, 20th, 2006). It is included in the all-Russian catalogue of JSC «ROSPECHAT» Agency; subscription number 36939.

EDITORIAL ADDRESS:
420043, Kazan, Zelenaya 1, office 79
Tel. (843) 510-46-39, fax (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Web-site: http://izvestija.kgasu.ru

© News of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Аитов Р.Р., Афанасьева Е.А. Исторические факторы формирования традиций архитектурной полихромии казанских татар	7
Балакина Л.А. Архитектурный контекст библейских сведений о гражданских постройках общественного назначения	18
Мухитов Р.К. «Превентивная» реконструкция в г. Казани	29
Назарова И.В. К вопросу сооружения Тетюшского града XVI столетия	39
Новиков С.В. Особенности творческого метода гражданского инженера, епархиального архитектора Ф.Н. Малиновского	46
Покка Е.В., Агишева И.Н. Творчество Ивана Леонидова	54
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Мхитарян К.О. Типология форм вертикального озеленения в городской среде	65
Романцов Р.В., Краснобаев И.В. Повышение эксплуатационной пригодности концепции крытых поселений с искусственным микроклиматом к сложным геокриологическим условиям Заполярья	73
Рябов Н.Ф., Бурова Т.Ю. Факторы влияния в формировании и работе региональных детских архитектурных школ	82
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Замалиев Ф.С. Учет начальных напряжений и деформаций, при оценке несущей способности сталежелезобетонных конструкций на эксплуатационные нагрузки	91
Куприянов В.Н., Юзмухаметов А.М., Сафин И.Ш. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса	102
Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. К оценке прочности, жесткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных сталефибробетонной «рубашкой», на основе компьютерного моделирования в ПК «ANSYS»	111
Смирнов Д.С., Хилавиева Г.Р., Мингазеев А.Н. Анализ разрушения дымовых кирпичных промышленных труб	121
Шмелев Г.Д., Федотова М.И. Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций	128
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Готман Н.З., Готман А.Л. Определение модуля деформации закрепленного цементацией грунта	138
Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Влияние процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении	145
Мирсаяпов И.Т., Шарафутдинов Р.А. Напряжённо-деформированное состояние грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами	153
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Бабич Е.К., Бройда В.А. Взаимодействие воздушно-струйного экрана со щелевым стоком	159
Барышева О.Б., Хабибуллин Ю.Х., Вагизов А.З. Математическая модель расчета химически неравновесного состава для утилизации твердых бытовых отходов	166
Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Варсегова Е.В. О численном определении характеристик приточного насадка	173
Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г., Лавирко Ю.В., Желтухина Е.С. Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС	180
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Вахнина Т.Н., Сусоева И.В., Аносова Е.Б., Капранов А.В. Оценка термодеструкции лигноцеллюлозных наполнителей и композиционных материалов на их основе	188
Ермилова Е.Ю., Камалова З.А., Рахимов Р.З., Гуляева Р.И. Исследование влияния комплексных добавок на основе карбонатных пород и термоактивированной полиминеральной глины на состав продуктов гидратации композиционного цементного камня	198
Потапова Л.И., Фурер В.Л., Коваленко В.И. Сравнительное исследование структуры и водородной связи в каликс[n]аренах (n = 4, 6, 8) методами ИК-спектроскопии и квантовой химии	206
Пшеничный Г.Н. Направленная технология бетона и железобетона	213
Тараканов О.В., Калашников В.И. Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения	223
Фурер В.Л. Изучение структуры, ИК- и КР-спектров фосфортригидразида методом функционала плотности	230
Чекмарев А.С., Скворцов А.В., Гайнутдинов Н.К. Исследование процесса сушки керамических строительных материалов для создания экспрессной методики оценки глинистого сырья	236

Шошин Е.А., Иващенко Ю.Г., Поляков А.В., Буланов В.М. Исследование гидросиликатов цемента модифицированных изомерными дисахаридами методом дифференциального термического анализа	244
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А. Совершенствование технологии бетонирования монолитных конструкций	250
Мавлюбердинов А.Р., Альмеев И.М. Технологические особенности капитального ремонта кровель жилых домов 30-50 гг. постройки прошлого столетия	257
Мудров А.Г. Инерционные пространственные смесители непрерывного действия	264
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Габдуллин Т.Р. Вырезание технологических отверстий в дорожном покрытии	271
Хафизов Э.Р., Вдовин Е.А., Фомин А.Ю., Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е. Современные методы оценки эксплуатационных свойств дорожных асфальтобетонов	279
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Сахапов Р.Л., Махмутов М.М., Земдиханов М.М. Экспериментальная модель влияния влажности и типа почв на удельное сопротивление сдвигу	286
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА	
Барышева О.Б., Хабибуллин Ю.Х., Мусин Б.Х. Метод утилизации твердых бытовых и промышленных отходов	294
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (в строительстве)	
Булатов Б.Г., Недосеко И.В. Перспективы использования результатов функционирования системы автоматизации производства стеновых изделий из фосфогипса	302
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	309

CONTENTS

ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Aitov R.R., Afanasyeva E.A. Historical factors of traditions forming of the Kazan Tatars' architectural polychrome	7
Balakina L.A. The architectural context of the biblical information about civilian public buildings	18
Mukhitov R.K. «Preventive» reconstruction in Kazan	29
Nazarova I.V. On the question of the construction of the Tetyushi city of the XVIth century	39
Novikov S.V. The features of the creative method of the civil engineer, the diocesan architect F.N. Malinovski	46
Pokka E.V., Agisheva I.N. Works of the architect Ivan Leonidov	54
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Mkhitaryan K.O. Typology of forms of vertical gardening in the urban environment	65
Romancov R.V., Krasnobaev I.V. Improving operational suitability of the concept of covered settlements with artificial microclimate to complex permafrost conditions of Polar Region	73
Ryabov N.F., Burova T.Y. Factors of influence in the formation and work of regional children's architecture schools	82
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Zamaliev F.S. Accounting initial stresses and strains in the evaluation of the bearing capacity of composite steel-concrete structures for operational load	91
Kupriyanov V.N., Yuzmuhametov A.M., Safin I.Sh. Influence of moisture on heat conductivity of walling materials. the state of the issue	102
Radaikin O.V., Sharafutdinov L.A. By evaluating the strength, hardness and fracture toughness of bent reinforced-concrete elements, strengthened concrete of steel fiber «jacket» on the basis of computer modeling in PC «ANSYS»	111
Smirnov D.S., Khilavieva G.R., Mingazeev A.N. Analysis of fracture flue brick industrial pipes	121
Shmelev G.D., Fedotova M.I. The use of random functions and processes in the combined integral method of forecasting the residual service life of building constructions	128
FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Gotman N.Z., Gotman A.L. Determination of the deformation modulus strengthened by ground cementing	138
Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Influence of the hardening process on the strength of clay soil under regime triaxial loading	145
Mirsayapov I.T., Sharafutdinov R.A. Stress-strain state of soil foundation reinforced with vertical and horizontal elements	153
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Babich E.K., Broyda V.A. Interaction of air screen with a slot outlet	159
Barysheva O.B., Khabibullin Iu.Kh., Vagizov A.Z. A mathematical model for calculating the chemical nonequilibrium components for solid waste management	166
Posokhin V.N., Ziganshin A.M., Varsegova E.V. Numerical determination of the supply of air terminal characteristics	173
Taymarov M.A., Akhmetova R.V., Sungatullin R.G., Lavirko Yu.V., Zheltukhina E.S. Reduction of harmful emissions of nitrogen oxides in atmosphere by coppers at thermal power stations	180
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Vachnina T.N., Susoeva I.V., Anosowa E.B., Kapranov A.V. Rating of thermal degradation of lignocellulosic fillers and composite materials on their basis	188
Ermilova E.Yu., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z., Gulyaeva R.I. The research of the influence of complex additives based on calcined clays and carbonate fillers on the composition of hydration products of blended cement stone	198
Potapova L.I., Furer V.L., Kovalenko V.I. Comparative study of structure and hydrogen bonding in calix[n]arenes (n = 4, 6, 8) by methods of IR-spectroscopy and quantum chemistry	206
Pshenichnyy G.N. The directed technology of concrete and reinforced concrete	213
Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I. Prospects of application of complex additives in new generation concretes	223
Furer V.L. Investigation of structure, IR- and Raman spectra of phosphortrihydrazide by DFT method	230
Chekmarev A.S., Skvorcov A.V., Gainutdinov N.K. Investigation of the drying process conditions of building ceramics for creation an express method for the assessment of technological properties of clay raw materials	236
Shoshin E.A., Ivashchenko Y.G., Polyakov A.V., Bulanov V.M. The study of hydro-silicates of cement modified isomeric disaccharides by differential thermal analysis	244
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION	
Imaykin D.G., Ibragimov R.A. Perfection of technology of concreting of monolithic constructions	250

Mavlyuberdinov A.R., Almeev I.M. Technological features of roofing overhaul of apartment houses, built in 30-50 years of the last century	257
Mudrov A.G. Inertial spatial continuous mixers	264
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION	
Gabdullin T.R. Cutting technological holes in the road surface	271
Khafizov E.R., Vdovin E.A., Fomin A.Y., Mavliev L.F., Bulanov P.E. Modern methods of assessment of operating ability of road asphalt concrete	279
CONSTRUCTION MECHANICS	
Sakhapov R.L., Makhmutov M.M., Zemdikhanov M.M. Experimental model of influence of moisture and soil type on shift resistivity	286
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND MUNICIPAL ECONOMY	
Barysheva O.B., Khabibullin Iu.Kh., Musin B.Kh. The method of utilization of Municipal Solid Waste	294
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT (in building)	
Bulatov B.G., Nadeseko I.V. Prospects for the use of the results of functioning automation system production of wall products from phosphogypsum	302
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	309

УДК 72.017 (470.41)
Аитов Р.Р. – кандидат архитектуры, профессор
E-mail: ramilaitov@yandex.ru
Афанасьева Е.А. – кандидат психологических наук, доцент
E-mail: elenaalex2011@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исторические факторы формирования традиций архитектурной полихромии казанских татар

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является выявление содержания исторических и культурных влияний на формирование традиций использования цвета в архитектурном декоре казанских татар.

Результаты. Результаты получены на основе использования методов анализа и обобщения данных истории, этнографии, искусствоведения, археологии и архитектуры; анализа результатов современных натурных исследований в Республике Татарстан; сравнительного анализа архитектурных памятников. Исследование особенностей архитектурной полихромии проведено в соответствии с основными периодами развития татарского этноса и его культуры. Определены основные историко-культурные влияния на архитектурный декор булгарского и золотоордынского периодов, Казанского ханства и российского периода. Выявлены принципы колористических решений и цветовые гаммы в историческом и современном аспектах, прослежена преемственность развития колористических традиций.

Выводы. Использование архитектурной керамики золотоордынского периода в сочетании с каменной облицовкой и резным декором в монументальных сооружениях булгарской архитектуры могло привести к своеобразному региональному синтезу булгарских, сельджукских и ирано-хорезмийских традиций. Развитая декоративность преемственной Булгарам архитектуры Казанского ханства, перенесенная в российском периоде на сельскую деревянную архитектуру, стала основой формирования традиций татарской архитектурной полихромии, устойчиво реализующихся и на современном этапе.

Ключевые слова: история татарской архитектуры, архитектурный декор, архитектурная полихромия.

Своеобразие цветового решения различный построек татарских сел – мечетей, жилых домов, ворот, заборов – достаточно давно привлекало внимание исследователей. Особенности «татарского стиля» в покраске деревянных строений – полихромность, характерные сочетания цветов, их контрастность, яркость – позволяли любому наблюдателю сразу выделить татарские села по сравнению с поселениями других этносов региона; а наблюдателю, знакомому с искусством, определить «…родство татар с Востоком» (М.Г. Худяков, 1924).

Эти особенности народного зодчества татар изучались на протяжении XX века с различных точек зрения: в этнографии (Н.И. Воробьев, М.Г. Худяков и др.), искусствоведении (П.М. Дульский, И.Г. Гайнутдинов, Ф.Х. Валеев и др.), в теории и истории архитектуры (С.С. Айдаров, Р.Р. Аитов, Х.Г. Надырова, Н.Х. Халитов). «Родство с Востоком» татарской культуры в целом и в различных ее аспектах изучалось в исторических науках (А.Х. Халиков, Э.Д. Зиливинская и др.), искусствоведении (исследования Г.Ф. Валеевой-Сулеймановой и др.). Большой вклад в разработку этого вопроса внесла археология (работы А.П. Смирнова, Г.А. Федорова-Давыдова, А.С. Воскресенского, Л.М. Носковой, Л.П. Матвеевой, А.Х. Халикова и др.). В результате был накоплен значительный материал разносторонних исследований татарской традиционной культуры; в частности, были выявлены особенности работы с цветом в терминах архитектурной колористики (Р.Р. Аитов, 1986, 1991). Исследования, продолженные в начале XXI в., показали устойчивость традиционных колористических приемов и

принципов даже в условиях использования новых строительных и отделочных материалов [1], что обусловило необходимость более глубокого изучения факторов формирования традиций татарской архитектурной полихромии. Актуальность изучения и творческой реализации колористических традиций татарского народа получила свое подтверждение и на теоретическом уровне. Ведущими специалистами в области исследования национального стиля татарской архитектуры была сформулирована «Концепция поддержки и развития национального своеобразия в архитектуре Татарстана» [2]. Данная концепция, в частности, включает задачи изучения и популяризации данных о национальных традициях татарской архитектуры. С другой стороны, актуальность исследования определяется и нуждами современной архитектурно-строительной практики, как в условиях реконструкции исторических кварталов, так и в новом строительстве.

Новизна данного исследования определяется недостаточностью научной разработки вопроса происхождения татарских традиционных цветовых решений с точки зрения теории и истории архитектуры. Объектом исследования являются традиции татарской архитектурной полихромии, предметом – историко-культурные факторы их формирования. Целью работы стало выявление содержания исторических и культурных влияний на формирование традиций использования цвета в архитектурном декоре казанских татар. Гипотезой исследования является предположение о влиянии цветовых характеристик архитектурного декора восточных (исламских) архитектурных школ на формирование традиционной татарской архитектурной колористики. Методами исследования являются: анализ и обобщение данных истории, этнографии, искусствоведения, археологии и архитектуры, соответствующих цели работы; анализ материалов натурных исследований 2010-2013 гг., проведенных в различных населенных пунктах Алексеевского, Арского, Атнинского, Верхнеуслонского, Высокогорского, Кайбицкого, Лаишевского и Спасского районов Республики Татарстан; сравнительный анализ колористических решений памятников архитектуры и их фрагментов из различных регионов в соответствии с гипотезой исследования.

При этом необходимо подчеркнуть, что наша гипотеза не отражает всю совокупность возможных влияний на формирование традиционной колористики народного зодчества, к которым относятся не только исторические, но и географические, климатические, материально-технологические факторы. Однако при сопоставлении традиционного зодчества татар и других народов Поволжья становится ясна ведущая роль именно исторических условий в формировании цветового своеобразия архитектуры. К ним относятся тип общественного устройства и религия, которые определяют политические, экономические, религиозные, культурные связи с другими регионами; влияют на развитие художественно-эстетических взглядов и вкусов.

В данном исследовании мы рассматриваем традиции в контексте понятия «развитие», что дает возможность сделать акцент на «…изучении исторической динамики и судьбы культурного наследия и культурной самобытности» (Новая философская энциклопедия, 2010). Поэтому, наряду с устойчивостью и преемственностью опыта поколений, можно наблюдать историческую изменчивость традиций, как под влиянием развития самого этноса, так и в процессе его взаимодействий с другими культурами. Исторически интенсивное взаимодействие этносов и культур Волго-Камского региона, протекавшее в условиях миграций и завоеваний, распространения новой религии, развития торговли, практики ввоза-вывоза мастеров различного профиля из различных регионов неизбежно приводило к разнообразным культурным заимствованиям. Новые элементы культуры, вступая во взаимодействие с уже сложившимися традициями, постепенно становились частью развивающегося традиционного комплекса. Так, например, влияние классических образцов исламского искусства на развитие декоративно-прикладных традиций татар детально проанализировано в работах Г.Ф. Валеевой-Сулеймановой [3, 4].

Таким образом, традиции использования цвета в архитектуре, принципы полихромии, цветовые предпочтения у казанских татар формировались в тесной связи с их этногенезом, историей, идеологией, культурой. Этноним «татары» и новый язык принесли золотоордынские татары, которые ассимилировались с булгарами в период

Золотой Орды и Казанского ханства. Однако эти этнические включения не изменили булгарскую основу татарского этногенеза (Халиков А.Х., 1978). Татарское народное зодчество, как в целом и вся художественная культура народа, прошла в своем развитии несколько исторических этапов: догосударственный период (до IX в.), булгарский период (X-первая треть XIII в.), золотоордынский период (середина XIII-середина XV в.), период Казанского ханства (середина XV-середина XVI вв.), российский период (с середины XVI в.). К особенно значимым историческим событиям можно отнести проникновение ислама в Поволжье (X в.), монгольское завоевание и образование Улуса Джучи (Золотой Орды, XIII в.), российское завоевание Поволжья (XVI в.). Каждый последующий период вносил новые черты в формирование культуры татарского этноса, влияя на сложившиеся к тому моменту традиционные формы деятельности.

Общественный интерес к народным традициям, к их научному исследованию, систематизации и классификации, к поиску основ их происхождения, формируется в европейской культуре во второй половине XIX века. К этому времени относится начало научных исследований древних городищ Поволжья, описание быта и народного искусства поволжских этносов. Дополненные исследованиями начала XX века, эти работы послужили базой изучения традиций татарского зодчества и использования цвета в архитектурном декоре.

К периоду исследований цветной архитектурный декор существовал в татарском народном зодчестве в качестве окрашенных элементов деревянных строений – мечетей, жилых домов, ворот и заборов. Яркая полихромная покраска строений была привилегией зажиточного крестьянства, купечества, духовенства. Исследования советского периода обнаружили массовое использование не широкого, но общедоступного ассортимента масляных красок в декорировке жилых домов традиционных татарских сел. Изучение вопроса в начале XXI в. выявило некоторые новые тенденции в татарской архитектурной полихромии (расширение цветовой гаммы в связи с расширением ассортимента красок, использования новых материалов) [1] при сохранении традиционных принципов работы с цветом и традиционной цветовой гаммы [5]. Обобщение данных более чем столетнего опыта исследований позволило определить устойчивые признаки традиционного архитектурно-цветового комплекса.

К таким признакам относятся, прежде всего, основополагающие принципы работы с цветом, которые формируют неповторимый и хорошо узнаваемый облик татарских сел.

Принцип I. Полихромность – использование нескольких цветов для декорирования одного объекта. На момент наших натурных исследований [5] количество используемых цветов колеблется от двух до шести, чаще всего составляя три-четыре цвета в одной композиции.

Принцип II. Чередование цветов – как большими плоскостями (например, стены и фронтон), так и мелкими членениями (характерная окраска «в полоску»).

Принцип III. Контрастность цветосочетаний фона и деталей (например, наличников на плоскости стены) по цветовому тону и светлоте.

Принцип IV. Формообразующая функция цвета – выявление цветом структурных и пластических свойств постройки.

Также характерна и традиционная цветовая гамма. Причем цвета чаще используются в определенных сочетаниях, что позволило выявить устойчивые традиционные цветовые группы.

Группа I. Желтый-голубой. Фоновым цветом является желтый, голубой участвует в детализации, может использоваться и акцентирующий белый. В ряде случаев вместо голубого может использоваться бирюзовый или зелено-голубой цвет.

Группа II. Желтый-синий (вариант – фиолетовый). Желтый также является фоновым. Значительное усиление контрастности по сравнению с группой I позволило выделить такое сочетание как самостоятельное. Белый также может участвовать в этой группе цветов в качестве детализирующего.

Группа III. Зеленый-голубой. Зеленый используется в качестве фона. Голубым цветом детализируется декор; нередко ему сопутствует, в качестве акцентирующего, белый цвет.

Группа IV. Голубой-белый. Голубой используется как фоновый цвет; белый применяется для деталировки.

Группа V. Коричневый цвет используется в качестве фонового (от охристых до бордовых оттенков коричневого). Для деталей используются чаще всего голубой и белый цвета.

Наряду с выявлением устойчивых архитектурно-цветовых признаков, удалось обнаружить и исчезающие традиционные приемы. К ним относится прием оконтуривания деталей за счет покраски их торцов и прием акцентирования мелких элементов декора. Для обоих приемов традиционно использовались красный и синий цвета. Исчезновение этих элементов традиционного архитектурно-цветового комплекса связано с современными тенденциями сельского строительства – заменой деревянных резных деталей на кирпичные или металлические, использование сайдинга и т.п. [1].

Вопрос происхождения перечисленных особенностей татарских колористических традиций пока что не нашел достаточно аргументированного ответа, хотя первые предположения на этот счет были высказаны достаточно давно. Это и отмеченное М.Г. Худяковым «родство татар с Востоком», и предположения А.П. Смирнова о происхождении архитектурной полихромии современных татар: «При рассмотрении орнаментики татарского дома невольно вспоминаются дома булгар золотоордынского периода, где мы встречаемся с отделкой зданий полихромными изразцами, причем расцветка современных домов дает тона, аналогичные золотоордынским поливным изразцам. Те данные, которыми мы располагаем, позволяют утверждать, что архитектура современных татар получила развитие от городских построек и городских усадеб древних булгар» (А.П. Смирнов, 1951, С. 79).

При этом фактических данных о различных этапах формирования традиций татарской архитектурной колористики очень мало. К ним относятся археологические находки в булгарских городищах и Казани; а также некоторые исторические свидетельства. Например, в «Сказании Князя Курбского» (XVI в.) есть следующие упоминания: «В Земле той… дворы княжат и вельможей зело прекрасны и воистину удивления достойны»; и о Казани: «…град стоит и палаты царские и мечети зело высокие, мурованные…» (цит. по Фехнер М.В., 1978). Слово «мурованные» в «Толковом словаре великорусского языка» Владимира Даля означает «поливанные, глазурованные», то есть, облицованные цветными глазурованными плитками или мозаикой.

Средневековые образцы мозаики и майолики, датируемые XIV веком, обнаружены на раскопах Булгарского городища. Таким образом, цветовая орнаментально-декоративная обработка поверхностей различных монументальных сооружений была известна еще булгарам. Архитектурная керамика (майоликовые плитки и мозаичная отделка) использовалась для декора нескольких типов зданий, появившихся в Булгарии еще в домонгольском периоде. Религия ислама, проникнув в Поволжье в X веке, принесла с собой и новые типы построек – мечети, минареты, бани-хаммамы, мавзолеи. В крупных городах – Булгарах, Суваре, Биляре – эти здания начали возводить из камня и кирпича, и на этих постройках работали мастера из тех регионов, где каменное и кирпичное исламское строительство было уже хорошо развито. Так, в устройстве фундаментов, в особенностях кладки стен прослеживается влияние среднеазиатских традиций (А.П. Смирнов, 1976). Домонгольские кирпичные постройки могли иметь и декоративную отделку, так как кладка стен обнаруживает среднеазиатскую технологию строительства – разделение двух этапов кладки: черновой и отделочной, облицовочной. При этом на строительное дело болгар также оказали влияние армянские и азербайджанские мастера. Однако армянская и азербайджанская (ширвано-апшеронская) архитектура этого периода не предполагала цветную облицовку наружных поверхностей зданий, ограничиваясь эстетическими свойствами хорошо подогнанной каменной кладки и отделкой в виде каменной резьбы. Приемы цветной декоративной отделки кирпичных зданий на этом этапе могли быть заимствованы через мастеров нахичеванской архитектурной школы (XII в.). В рамках этой школы, в комбинации с фигурной облицовочной кирпичной кладкой или резьбой по камню, применялся декор голубого и синего цвета в виде геометрически орнаментированных поясков, фризов, розеток.

Приемы цветного декора также могли прийти из Хорезма и Ирана, где изготовление и применение архитектурной керамики стало практиковаться уже в XI-XII вв.

Возможности и сама вероятность полихромного архитектурного декора также должна быть рассмотрена с точки зрения архитектурной формы и стиля. Объемно-планировочное решение культовых зданий – мечетей и минаретов, согласно новейшим исследованиям в этой области [6], испытало в большей степени влияние Ближнего Востока. Самая ранняя каменная мечеть Булгарского государства с отдельно стоящим каменно-кирпичным минаретом, обнаруженная в Биляре, датируется X веком и воспроизводит зальный многоколонный тип ближневосточных мечетей. Также предполагается возможность строительства небольших купольных мечетей с угловым минаретом, характерных для исламской архитектуры Анатолии (Турция). Существующие аналоги таких построек стилистически не предполагают наружного цветного декора. В архитектуре Ирана и Турции сельджукского периода архитектурный декор заключался в декоративной (фигурной) кирпичной кладке, штукатурке и резьбе [7, 8]. Так, и отделка, обнаруженная в Биляре, ограничивается резьбой по стуку и штукатуркой каменных и кирпичных стен. С другой стороны, уже на этом этапе прослеживается эклектичность различных влияний на формирование архитектурно-строительных традиций Булгарского государства: византийских, хазарских, ближневосточных, закавказских и среднеазиатских, комбинировавшихся, скорее всего, и с собственно булгарским компонентом. Например, в искусствоведении стилевая самобытность булгарского искусства этого периода выявлена как «живописная система орнаментации», «творческий импровизационный характер искусства» [3]. Однако достоверной информации о цветном наружном архитектурном декоре этот этап не предоставляет.

Период существования Булгарского улуса в составе Золотой Орды характеризуется дальнейшим развитием каменно-кирпичной архитектуры, чему способствовало принятие ислама в качестве официальной религии новообразовавшегося монгольского государства. Практика использования труда иноземных мастеров становится еще более широкой, а объединение таких разных в отношении архитектурно-строительных традиций областей как Поволжье, Крым, Закавказье и Хорезм в рамках одного государства способствует формированию в целом единого, но эклектичного по своему содержанию стиля [9]. Постройки джума-мечетей и мавзолеев во всех улусах отличаются общими планировочными особенностями; при этом в стилистике их форм и отделки прослеживаются региональные черты. В последних исследованиях по данному вопросу [6, 9] определены основные архитектурные влияния этого периода. Для больших мечетей – это базиликальный (зальный многоколонный) тип мечетей Малой Азии, который сложился в сельджукский период (XI-XII вв.); для небольших – купольные мечети также сельджукского периода Малой Азии и Крыма. Распространен был и малоазийский тип минаретов с характерным коническим покрытием и угловыми «скосами»; смешанный тип мавзолеев с комбинацией влияний Средней Азии, Закавказья и Хорезма, который стал характерным для Булгарии. Сельджукские архитектурно-строительные традиции могли распространяться через Закавказье и через Крым. В этой традиции архитектурный декор мечети ограничивался резным порталом и отделкой михраба в интерьере. Стволы малоазийских минаретов часто украшались фигурной кирпичной кладкой и голубыми изразцами. В исламской архитектуре этого времени все большее развитие получает декоративность, орнаментированность; но эта общая тенденция реализуется в различных архитектурных школах с помощью разных средств [10].

Наряду с обще-ордынскими архитектурно-строительными приемами может быть выделено и своеобразие булгарских построек этого периода. В частности, булгарский архитектурный декор в большей степени демонстрирует резьбу по камню, сопоставленную с гладкими массивами стен; тогда как обще-ордынский прием – активный по пластике и цвету декор с предполагаемым «ковровым» покрытием всех плоскостей архитектурных форм, как это можно наблюдать в среднеазиатских постройках того же периода. Основополагающим отличием в данном случае служит основной материал строительства и облицовки – преобладание камня в булгарских постройках, в том числе облицовка камнем и резьба по камню; кирпич как преобладающий материал в других улусах и, соответственно, декор в виде фигурного кирпича, терракоты, поливных изразцов.

Булгарская архитектура сохраняет также и влияние азербайджанской шервано-апшеронской школы, в которой цветной наружный декор не использовался.

Перечисленные архитектурно-строительные особенности и их происхождение объясняют неравномерность археологических находок элементов архитектурного декора. Действительно, в Болгарах найдено в целом значительно меньшее количество образцов архитектурной керамики по сравнению с другими золотоордынскими городищами. Однако не включать в архитектурно-исторический анализ болгарскую архитектурную керамику (как это сделано, например, в работе Э.Д. Зиливинской [9]) не представляется возможным. Ее наличие является доказательством творческой переработки различных по происхождению традиций в единую эстетическую систему, повлиявшую на дальнейшее развитие местных архитектурно-строительных тенденций. Как, в частности, подчеркивается в работе Г.Ф. Валеевой-Сулеймановой [4], культура золотоордынского периода была многокомпонентной: тюркский, монгольский, среднеазиатский и кавказский компоненты образовали в ней своеобразный синтез; при этом относительно самостоятельно развивались культуры народов и племен с домонгольскими традициями.

В целом для архитектуры Золотой Орды характерно «…применение строительной техники одной традиции для возведения здания другой архитектурной школы» [9, С. 59]; поэтому в Булгарах, по всей вероятности, стала возможна, в числе прочих комбинированных приемов, и отделка внешних поверхностей зданий не только резьбой по камню, но и архитектурной керамикой. Использовались майоликовые плитки предположительно для оформления порталов, оконных проемов, карнизов, поясков на минаретах. Возможность использования обнаруженных майолик в отделке экстерьера обусловлена технологией их изготовления (майолики с подглазурной росписью устойчивы к атмосферным явлениям). Применялась керамика и в отделке интерьеров, в оформлении надгробий [6].

За более чем столетнюю историю исследований золотоордынских городищ в археологии накоплен обширный материал по различным видам архитектурной керамики, разработана ее классификация [11], выдвинуты и проверены гипотезы ее происхождения. Тенденции отделки внутренних и наружных поверхностей зданий с помощью изделий из керамики в исламской архитектуре появились еще в XI в. – в Иране и Хорезме. К XIV в. это искусство достигло своего расцвета и использовалось впоследствии на протяжении столетий во многих странах исламского мира. Для изготовления майолик и мозаик применялся специальный состав – кашин, из которого формовались плитки, покрывались глазурями и росписями, обжигались. Были разработаны различные технологии изготовления такой керамики, различавшиеся порядком операций, количеством обжигов. Так появились майолики рельефные и гладкие; с надглазурной и подглазурной росписью; с прозрачной и непрозрачной (эмалевой) поливами; с золочением; пригодные для наружного или интерьерного применения. Мозаики изготавливались из майоликовых плиток разных цветов после их нарезки на сборные элементы. В архитектурном декоре использование мозаик и майолик было различным. Мозаиками выкладывались большие панно или покрывались архитектурные формы целиком; так отделывались части зданий, воспринимаемые зрителем на расстоянии – поверхности стен, минаретов, своды, купола и барабаны, порталы и арки. Майолики из-за большой декоративности и детализации использовались в местах, приближенных к зрителю – в декоре стен на уровне человеческого роста, для украшения михрабных ниш, в оформлении оконных и дверных проемов, в бордюрах вокруг мозаичного декора, на карнизах, поясках и т.п.

На золотоордынских городищах обнаружены майолики и мозаики различных типов, но в основном в виде небольших фрагментов, из-за чего сложно полностью представить их внешний вид и площадь, которую занимал этот вид декора. Тем не менее, можно выявить особенности используемых орнаментов и их цветовую гамму. На Булгарском городище обнаружены майолики с растительным, геометрическим и эпиграфическим орнаментом. Сложные утонченные узоры многих образцов, высокое качество кашина, отличающие их от находок других городищ Поволжья, заставили предположить их иноземное, «привозное» происхождение (А.П. Смирнов, 1951). В последующих работах эта гипотеза проверялась на основе химического анализа образцов и находила как подтверждение (Воскресенский А.С., 1970), так и опровержения (Л.М.

Носкова, 1976 [11]). Можно предполагать работу в Болгарах мастеров-керамистов из Ирана, с сохранением их рецептуры и традиционных приемов орнаментации.

Уникальность болгарских майолик по цвету хорошо демонстрируется их сопоставлением с майоликами других золотоордынских городищ. В целом золотоордынский архитектурный керамический декор демонстрирует влияние разных традиций – иранских, закавказских, среднеазиатских и хорезмийских [11]. Для архитектурного декора Нижнего Поволжья характерно формирование собственной цветовой традиции, не имеющей аналогов в других регионах. Это сочетание черных, белых и красных элементов орнамента на бирюзовом фоне; использование золочения по бирюзовому или белому фону; тогда как в иранских аналогах золочение применялось только по синему, ультрамариновому фону (Воскресенский А.С., 1967). Обнаруживается также возможное влияние византийской архитектуры (в сплошном золочении плиток, не свойственном традициям других регионов). Выработка новых традиций была возможна в условиях собственного производства архитектурной керамики, что было доказано обнаружением остатков гончарных мастерских, специализировавшихся на ее изготовлении.

Преобладающее иранское (а не предполагаемое вначале хорезмийское) происхождение майолик Великих Болгар доказано [11] на основе анализа изображений (в частности, на плитках обнаружены служебные персидские надписи, обозначающие порядок сборки) и цветовой гаммы. В болгарских образцах, в отличие от хорезмийской традиции, очень редко используется красный цвет, а большинство орнаментальных изображений строится по иранской цветовой системе – ультрамариновый (для некоторых деталей – бирюзовый) фон, бирюзовые, белые и желтые орнаментальные детали и, в отличие от широко распространенного в золотоордынских майоликах черного и красного оконтуривания, преобладание темно-зеленого контура. Наблюдается также сходство с эпиграфическими хорезмийскими майоликами («…тот же свободный белый «насх» на ультрамариновом фоне» [11, С. 26]). Множественность культурных влияний на архитектурный декор построек Великих Болгар может быть объяснена как многонациональным составом мастеров, так и краткостью временного периода расцвета болгарской архитектуры, который пришелся на первую половину XIV в. Многократное последующее разрушение города помешало выработке единой традиции, но способствовало переносу опыта в новую столицу – Казань.

Завершая колористический анализ болгарских майолик, можно выявить единую цветовую систему, воспроизводившуюся в различных видах орнамента – растительном, геометрическом, эпиграфическом, и относящуюся в большей степени к иранской традиции керамического архитектурного декора. Компонентами этой цветовой системы являются основные цвета (синий, голубой, белый, зеленый, желтый, золоченый, красный) и их отношения в орнаментальных изображениях:

- фоновые цвета – ультрамариновый и, реже, бирюзовый;
- линейная основа орнамента (полосы, стебли, буквы) – белые;
- заполнение фигур – бирюзовое, белое, реже желтое или золоченое;
- окантовка, обводка, прорисовка орнамента – зеленая, очень редко – черная;
- мелкие акцентирующие детали (например, сердцевины цветов) – синие, красные.

Декоративные элементы такой гаммы украшали в Болгарах, по всей вероятности, лишь отдельные элементы архитектурных форм, выполненных из камня и кирпича и отделанных облицовочной каменной кладкой; выступая на ее фоне в качестве контрастных, акцентирующих, и при этом функционально и конструктивно значимых деталей (карнизов, оконных и дверных обрамлений и т.п.). В целом цветовой комплекс болгарских построек может быть описан следующим образом:

- фоновый цвет – цвет природного камня (местного известняка светло-охристого оттенка);

- активное выделение цветной майоликой функционально, конструктивно и композиционно значимых элементов – оконных и дверных проемов, порталов, карнизов, поясков, ниш и т.д.;

- цветовая гамма майоликового декора (сине-зелено-белая) контрастна по цветовому тону и светлоте к цвету природного камня.

Особенности переноса из Великих Болгар опыта строительства и эстетических эталонов в новую столицу Казанского ханства невосстановимы по археологическим данным. Однако известно, что на протяжении последующих столетий болгарские постройки, даже в полуразрушенном виде, служили местом паломничества и, соответственно, продолжали влиять на эстетические вкусы и предпочтения. Такое влияние могли оказывать не только архитектурные формы, но и приемы цветовых решений, в которых майоликовые детали играли большую роль. Так могли получить развитие традиции архитектурной полихромии, контрастных цветовых отношений, активного выявления цветом структурных элементов зданий, а также традиции предпочитаемой гаммы цветов архитектурного декора.

О колористической культуре татар периода Казанского Ханства (XV-XVI вв.) известно немного, так как после взятия Казани в 1552 г. все монументальные постройки города были уничтожены. На территории современного Казанского Кремля обнаружены остатки каменных зданий эпохи Казанского ханства и отдельные элементы их декора: фрагменты резных алебастровых плит, декорированых арабесковым орнаментом; майоликовые изразцы и фрагменты каменной резьбы.

Так как все постройки сохранились лишь на уровне фундаментов, можно лишь предположительно восстановить их архитектурные формы и декор. В поисках сохранившихся аналогов средневековых казанских монументальных сооружений исследователи обращаются к архитектурным памятникам Касимовского ханства, Крымского ханства и Османской Турции соответствующего периода, аргументируя это интенсивными политическими, династическими, религиозными, экономическими и культурными связями этих регионов [6, 12]. Местный компонент развивающихся традиций казанской архитектуры связывают при этом, во-первых, с преемственностью Казани в политическом и культурном значении по отношению к Великим Болгарам и, во-вторых, с местными традициями деревянного срубного строительства.

В этом отношении интересны гипотетические реконструкции архитектуры средневековой Казани, выполненные Н.Х. Халитовым [12], касающиеся как архитектурных форм, так и архитектурного декора. В поисках аналогов утраченной казанской архитектуры автор указывает на примеры кирпичных зданий Касимовского и Казанского ханств, декорированных изразцовыми вставками. В русле общей архитектурной тенденции перехода от монохромной архитектуры к полихромной, относящейся еще к XIII в., Н.Х. Халитов предполагает в казанских монументальных постройках дальнейшее развитие декоративной концепции, развитие стиля «живописной архитектуры». В XVIII-XIX вв. употребление цвета в архитектуре стало массовым явлением. Например, традиционно монохромный вид иранского архитектурного декора в это время также приобретает цветной фон (бирюзовый, голубой, терракотовый), на котором рельефно выделяются светлые лепные и резные элементы [13]. По известным приемам полихромной окраски татарской архитектуры этого периода автор считает возможным предполагать «…устойчивую традицию архитектурной полихромии в Волго-Камской татарской культуре и существование подобной же практики во времена Казанского ханства» [12, С. 65].

Таким образом, все данные о дальнейшем развитии татарской архитектурной полихромии эпохи Казанского ханства носят предположительный характер и опираются на косвенные свидетельства – записки путешественников и воспоминания очевидцев, миниатюры русских летописей, архитектурные аналоги различной степени территориальной и временной удаленности.

Исторически период Казанского ханства оказался завершающим этапом в развитии «самостоятельной казанско-татарской культуры» [4]. После завоевания Казани, разрушения города и выселения за его пределы татарского населения, эта культура трансформировалась «в особые ремесленного характера формы народного искусства, испытавшие влияние средневековой городской культуры» [4]. Так были утрачены традиции профессиональной монументальной каменной архитектуры, а традиции полихромного декора продолжали свое развитие на почве деревянного народного зодчества. Центром развития культуры казанских татар становятся районы Заказанья, где до сих пор находят свое наиболее яркое выражение и традиции татарской архитектурной полихромии.

В результате проведенного исследования мы получили достаточно сложную картину развития традиций татарской архитектурной полихромии, далеко не все этапы которой предоставляют нам фактические данные.

Булгарский период (X-первая треть XIII в.) характеризуется таким значимым историческим событием, как проникновение ислама в Поволжье, и началом строительства монументальных кирпичных зданий. Фактических доказательств существования на этом этапе какого-либо полихромного архитектурного декора нет. Однако, обнаружение в строительстве этого периода реализации среднеазиатских традиций позволяет предполагать возможность резного и фигурного кирпичного декора; влияние армянской и азербайджанской (ширвано-апшеронской) архитектурных школ предполагает использование каменного резного декора. Современные булгарским постройкам примеры керамического архитектурного декора (нахичеванской школы – синие и голубые плитки в сочетании с фигурной кирпичной кладкой и каменной резьбой; ранние полихромные майолики и мозаики Ирана и Хорезма) не обнаружены на раскопах древних булгарских городищ.

Золотоордынский период (середина XIII-середина XV в.), отличается множественностью и эклектичностью культурных влияний. Он демонстрирует в булгарской монументальной архитектуре сложное сочетание каменной облицовки и резного декора с полихромной архитектурной керамикой. Архитектурные формы, каменная отделка поверхностей и резной декор сельджукской архитектуры дополняются многоцветием ирано-хорезмийских майолик. Возможно, принятие такого сочетания обосновано выше упомянутыми собственно булгарскими традициями в искусстве – творческой свободой и живописностью, отсутствием жестких канонов. На этом этапе образцы майолик демонстрируют и специфическую «иранскую» цветовую гамму, построенную на определенных сочетаниях синего, голубого, бирюзового, зеленого и белого с незначительным включением желтого и редко встречающихся красного и черного. Предположительно тогда же зародились традиции контрастного соотношения цветов различных поверхностей, структурного выявления цветом функционально, конструктивно и композиционно значимых элементов сооружения.

Период Казанского ханства (середина XV-середина XVI вв.) снова не предоставляет нам фактического материала для анализа. Однако продолжение влияния Османской Турции, а значит и сельджукского искусства этого периода на булгаро-татарскую культуру считается неоспоримым фактом. Сельджукская архитектура на этом этапе отличается изменением форм в направлении динамичных, многокупольных и многоярусных высотных композиций. Характерно также обогащение отделки в виде сложной каменной резьбы (чаще всего на порталах) и использование майоликового декора – сдержанного голубого на минаретах и более сложного мозаичного (голубого с белым и золотым), иногда сплошного «коврового» покрытия поверхностей интерьеров (стен, ниш, арок, сводов, куполов). Голубой цвет является ведущим в цветовой гамме архитектурного декора этого стиля. Как при этом выглядели средневековые постройки Казани (учитывая наличие традиций предыдущего этапа), точно определить, не представляется возможным.

После российского завоевания первые свидетельства по вопросу архитектурной полихромии относятся ко второй половине XVIII в. и касаются сельской жилой архитектуры и сельских деревянных мечетей. Зафиксированные в начале XX в., традиции татарской архитектурной полихромии дошли до настоящего времени почти в неизменном виде. С булгарским периодом, с эстетикой майоликового декора каменных строений, их связывают, прежде всего, сходные колористические принципы: полихромность, контрастность отношений фона и деталей, выявление цветом структурных признаков постройки. Также подобна цветовая гамма и даже особенности использования некоторых цветов. Так, использование в покраске жилого дома желтого цвета в качестве фонового, а голубого или синего для деталей можно сопоставить с образом каменной стены с облицовкой порталов и оконных наличников сине-голубой керамикой. Выявление контрастным цветом карнизов и поясков также укладывается в эту цветовую систему. Белые геометрические узоры и надписи на ультрамариновом фоне майоликовых плиток находят аналогию в белых карнизах и наличниках на фоне зеленой или голубой стены; в белых ромбах и полосах на фоне зеленых оград. Исчезающие традиционные приемы

оконтуривания деревянных деталей с торцов синим или красным, акцентирования мелких элементов декора теми же цветами, подобны приемам цветовой детализации на орнаментах майоликового декора.

Таким образом, булгарский период развития традиций татарской архитектурной полихромии можно рассматривать как базу дальнейшего формирования приемов и принципов работы с цветом. Неизвестное нам развитие архитектурной полихромии в период Казанского ханства и на начальных этапах российского периода связано с переносом традиций в новые условия, в последнем случае на другой строительный и отделочный материал; что не могло не сказаться на содержании традиционного архитектурно-цветового комплекса.

В целом можно заключить, что использование архитектурной керамики золотоордынского периода в сочетании с каменной облицовкой и резным декором в монументальных сооружениях булгарской архитектуры могло привести к своеобразному региональному синтезу булгарских, сельджукских и ирано-хорезмийских традиций. Так как сельджукская архитектура, в свою очередь, испытала доминирующее влияние архитектуры Ирана, можно определить влияние персидской исламской архитектурной школы в качестве основополагающего фактора развития архитектурной полихромии казанских татар. Предполагаемая развитая декоративность преемственной Булгарам архитектуры Казанского ханства, перенесенная в российском периоде на сельскую деревянную архитектуру, стала основой формирования традиций татарской архитектурной полихромии, устойчиво реализующихся и на современном этапе.

Список библиографических ссылок

1. Аитов Р. Р., Афанасьева Е. А. Традиционная колористика татарского сельского жилого дома в современных условиях // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 7–16.
2. Халитов Н. Х., Аитов Р. Р., Надырова Х. Г. Концепция поддержки и развития национального своеобразия в архитектуре Татарстана // Известия КГАСУ. 2012. № 2 (20). С. 49–64.
3. Валеева-Сулейманова Г. Ф. Специфика исламского искусства в Поволжье на этапе становления // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2012. № 1. С. 47–50.
4. Валеева-Сулейманова Г. Ф. Исламское искусство в Волго-Уральском регионе. Казань, 2002. С. 27–51.
5. Аитов Р. Р., Афанасьева Е. А. Вариативность реализации национальных традиций в колористике татарского сельского жилого дома : Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация. Материалы IV международной научно-практической конференции / КГАСУ. Казань, 2016. С. 26–31.
6. Надырова Х. Г. Средневековые города Татарстана. Развитие градостроительной культуры Волго-Камья X-середины XVI вв. : Монография. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2014. 229 с.
7. Sanaz Khodadadi Dehkordi. Iranian Seljuk Architecture with an Emphasis on Decorative Brickwork of the Qazvin Kharaqan Towers // Journal of History Culture and Art Research. 2016. Vol. 5, № 4. P. 384–394.
8. Katayoun Taghizadeh. Islamic Architecture in Iran, A Case Study on Evolutionary of Minarets of Isfahan // Architecture Research. 2012. № 2 (2). P. 1–6.
9. Зиливинская Э. Д. Культовая архитектура Золотой Орды: происхождение и традиции // Поволжская Археология. 2016. № 2 (16). С. 44–67.
10. Yahya Abdullahi, Mohamed Rashid Bin Embi. Evolution of Islamic geometric patterns // Frontiers of Architectural Research. 2013. № 2. P. 243–251.
11. Носкова Л. М. Мозаики и майолики из Средневековых городов Поволжья // Средневековые памятники Поволжья. М.: Наука, 1976. С. 7–37.
12. Халитов Н. Х. Мечети средневековой Казани. Казань : Татар.кн.изд-во, 2011. 183 с.
13. Seyed Gholamreza Islami, Davood Dehghan, Hassan Sadeghi Naeini. Classification and Analyze Stucco Decorations in Qajar Houses, Tehran, Iran // Architecture Research. 2016. № 6 (2). P. 45–50.

Aitov R.R. – candidate of architecture, professor
E-mail: ramilaitov@yandex.ru
Afanasyeva E.A. – candidate of psychological sciences, associate professor
E-mail: elenaalex2011@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Historical factors of traditions forming of the Kazan Tatars' architectural polychrome

Abstract

Problem statement. The aim of this work is to identify the content of historical and cultural influences on the formation of the traditional use of color in architectural decoration of the Kazan Tatars.

Results. We used the methods of analysis and synthesis of data history, ethnography, art, archaeology and architecture; analysis of modern field studies in the Republic of Tatarstan; comparative analysis of architectural monuments. The study of architectural polychromy carried out in accordance with the main periods of development of the Tatar ethnic group and its culture. The main historical and cultural effect on features of architectural decoration identifies in Bulgaria and Golden Horde periods, Kazan Khanate and the Russian period. Identified principles of color solutions and color groups in historical and contemporary perspectives, traced the continuity of the development of coloristic traditions.

Conclusions. The use of architectural ceramics of the Golden Horde period, in combination with stonework and carved decoration on monumental buildings of the Bulgarian architecture could lead to a kind of regional synthesis Bulgarian, Iranian-khorezmian and Seljuk traditions. Developed decorative of the Kazan Khanate architecture, successive of the Bulgars, transferred to the Russian period on rural wooden architecture, became the basis for the formation of traditions of the Tatar architectural polychromy, steadily being implemented at the present stage.

Keywords: the history of Tatar architecture, architectural decoration, architectural polychromy.

References

1. Aitov R. R., Afanasyeva E. A. The traditional coloring of the Tatar rural houses in modern conditions // Izvestiya KGASU. 2016. № 2 (36). P. 7–16.
2. Khalitov N. H., Aitov R. R., Nadyrova H. G. The Concept of support and development of national identity in the architecture of Tatarstan // Izvestiya KGASU. 2012. № 2 (20). P. 49–64.
3. Valeeva-Suleymanova G. F. The specific character of Islamic art during formation in Volga region // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta kultury I iskusstv. 2012. № 1. P. 47–50.
4. Valeeva-Suleymanova G. F. Islamic art in the Volga-Ural region. Kazan, 2002. P. 27–51.
5. Aitov R. R., Afanasyeva E. A. Variation in the implementation of national traditions in the colours of the Tatar rural houses: Cultural heritage in XXI century : preservation, use, popularization – Proceedings of the IV international scientific-practical conference / KGASU. Kazan, 2016. P. 26–31.
6. Nadyrova Kh. G. The medieval city of Tatarstan. The development of urban culture of Volga-Kama X-mid XVI centuries : Monograph. Kazan: Izd-vo KGASU, 2014. 229 p.
7. Sanaz Khodadadi Dehkordi. Iranian Seljuk Architecture with an Emphasis on Decorative Brickwork of the Qazvin Kharaqan Towers // Journal of History Culture and Art Research. 2016. Vol. 5, № 4. P. 384–394.
8. Katayoun Taghizadeh. Islamic Architecture in Iran, A Case Study on Evolutionary of Minarets of Isfahan // Architecture Research. 2012. № 2 (2). P. 1–6.
9. Zilivinskaya E. D. Cult monuments in the Golden Horde: origin and tradition // Povoljskaya arheologya. 2016. № 2 (16). P. 44–67.
10. Yahya Abdullahi, Mohamed Rashid Bin Embi. Evolution of Islamic geometric patterns // Frontiers of Architectural Research. 2013. № 2. P. 243–251.
11. Noskova L. M. Mosaic and majolica from the Medieval cities of the Volga region // The Medieval monuments of the Volga region. M.: Nauka, 1976. P. 7–37.
12. Khalitov N. Kh. Mosques of the medieval Kazan. Kazan: Tatar.kn.izd-vo, 2011. 183 p.
13. Seyed Gholamreza Islami, Davood Dehghan, Hassan Sadeghi Naeini. Classification and Analyze Stucco Decorations in Qajar Houses, Tehran, Iran // Architecture Research. 2016. № 6 (2). P. 45–50.

УДК 725:26/27
Балакина Л.А. – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: bamila@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Архитектурный контекст библейских сведений о гражданских постройках общественного назначения

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является аналитическое исследование текстов Библии на предмет выявления наименований гражданских построек общественного назначения и сведений о них.

Результаты. С позиций герменевтики изучены выявленные сведения о постройках общественного назначения: рассмотрены их функциональные особенности и признаки их архитектоники. Архитектурный подход к пониманию принципов формирования этих построек при сопоставлении с историко-археологическими данными был положен в основу их архитектурной интерпретации.

Выводы. Данное исследование может восполнить пробелы в истории архитектуры дописьменного периода.

Ключевые слова: Библия, герменевтика, сведения о гражданских постройках общественного назначения, историко-археологические факты, аналитическое исследование, архитектурная интерпретация.

В настоящее время тексты Библии изучаются применительно к различным областям науки. В архитектуре – это малоисследованная область знаний. Целью настоящей статьи является выявление и аналитическое исследование с позиций герменевтики сведений о постройках общественного назначения в архитектурной интерпретации в сопоставлении с историко-археологическими данными [1; 5; 10; 14].

В повествованиях книг Ветхого и Нового Завета встречается множество наименований различных построек. Извлечения из текстов содержат некоторые данные, на основании которых можно уточнить их назначение, их архитектонические признаки. Контекстуальные сведения о выявленных постройках, их архитектурных деталях и конструктивных элементах также представляют интерес для аналитического рассмотрения. При прочтении всех 66 книг Библии нами были выявлены следующие постройки общественного назначения: жертвенник, башня, темница, крепость, святилище, скиния, блудилище, храм, капище, дворец, гробница, судилище, рынок, синагога, претория, гостиница, дом торговли, церковь, зрелище, баня, водопровод, пруд, купальня, житницы, памятник, колодезь, крытые ходы, училище, ристалище. В соответствии с традиционной классификацией их можно типологически систематизировать на культовые и гражданские постройки, а гражданские – на жилые и общественные [2].

В границах нашего исследования рассмотрены гражданские постройки общественного назначения, выявленные в текстах Библии, а именно: башня, темница, крепость, блудилище, дворец, судилище, рынок, претория, гостиница, дом торговли, зрелище, купальня, крытые ходы, ристалище. Выявленные сооружения утилитарного назначения (колодец, пруд, пристань, арсенал, хранилище для колесниц, конюшни, склады провизии, загоны для скота, канал, водопровод) в нашей статье не рассматриваются.

На основе архитектурного анализа сведений об этих постройках, содержащихся в извлечениях из библейских текстов, было произведено сопоставление с историко-археологическими и другими данными. [5; 10; 14] Это исследование было необходимо для прояснения смыслового содержания терминов, определения типических качеств построек с целью подтверждения или опровержения библейских сведений о каждой из них.

Башни упоминаются в 12 книгах Ветхого и в 4 книгах Нового Завета.

В Библии встречаются башни с названиями, например, Гадер, Сихемская, Силоамская и др. [Быт. 35 (21), Суд. 9 (46), Лк. 13 (4)] Известно, что башни возводились и как отдельно стоящие строения «посреди города», так и как часть укреплённых городских стен и ворот [Суд. 9 (51), 2 Пар. 14 (7)]. За пределами города башни сооружались в виноградниках, на пастбищах, в лесах, в пустыне [Ис. 5 (2), Мф. 21 (33), 2 Пар. 26 (10), 27 (4)]. Использовались башни как наблюдательные пункты, как убежища, как осадные сооружения, а также как постройки сакрального значения [Авв. 2 (1), 1 Цар. 13 (6), Суд. 9 (46), Иез. 26 (8)].

О композиционном и конструктивном решении башен можно делать предположения, исходя из контекста. Башни на городских стенах и над воротами были вертикальными акцентами в застройке [2 Пар. 26 (9), Неем. 3 (1, 11, 25)]. Отдельно стоящие башни имели основание, очевидно, подразумевается фундамент [Лк. 14 (29)]. Соответственно назначению башни имели различные габариты, хотя об этом прямых сведений в текстах нет, например, Сихемская башня, самая большая из упоминаемых, вмещала «около тысячи человек». Известно, что башни были высокими и крепкими. [Суд. 9 (49, 51)] Из описания строительства вавилонской башни «высотой до небес» понятно, что она превосходила по размерам другие постройки [Быт. 11 (4)]). О прочности башен свидетельствует тот факт, что они были последним прибежищем для спасающихся от врага. Стены башен, наверняка, имели большую толщину для обеспечения прочности и устойчивости при их значительной высоте. Кровля башен, видимо, была плоская и, соответственно, эксплуатируемая в целях наблюдений за окрестностями и для военных действий, и наверняка имела ограждение в виде парапета, поскольку написано, что спасаясь от врагов, «все жители города… взошли на кровлю башни» [Суд. 9 (51)].

Выявлены из библейского текста строительные материалы, используемые при возведении башен. Это обожжённый кирпич, земляная смола в качестве связующего, и, очевидно, камень [Быт. 11 (3)]. Возможно, и дерево также использовалось при строительстве башен, поскольку сказано «сожгли их башню» [Суд. 9 (49)]. Об использовании дерева как основного строительного материала сведений нет. Можно предположить, что из дерева выполнялись поперечные балки, настил перекрытий, конструкции кровли, а также заполнение проёмов (ворота, двери, окна).

Однако, этих сведений из текстов явно недостаточно, чтобы представить, как была устроена и как выглядела хотя бы какая-либо из этих башен. Археологические находки дают некоторое представление о башнях по сохранившимся руинам. Например, в Самарии были найдены фрагменты великолепных круглых башен эпохи Александра Македонского [3, с. 191, 228, 290, 315].

Темницы упоминаются в 11 книгах Ветхого и в 8 книгах Нового Завета.

Известно, например, что тюрьмы были в Египте, что следует из истории Иосифа, который попал в «темницу, где заключены узники царя» [Быт. 39 (20-23)]. Дом узников был в Газе, где Самсон молол в цепях [Суд. 16 (21)]. Царь Давид заключил десять своих наложниц «в особый дом под надзор… до дня смерти своей» [2 Цар. 20 (3)]. В период ветхозаветной истории темницами называли рвы, ямы, подземелья, иногда подвалы жилых домов [Ис. 24 (22),42 (7, 22), Иер. 37 (15, 16)]. Темницы располагались в стенах при городских вратах, при царских дворцах. Они имели темничные дворы с глубокими ямами для содержания узников, например, двор стражи в Иерусалиме в царском дворце [Иер. 20 (2), 32 (2), 38 (6)].

В текстах Нового Завета явно прослеживается специализация темниц как общественных учреждений со своей структурой управления, обслуживания и военной охраной. Одна из них была в составе претории в Иерусалиме [Мр. 15 (16)]. Другая, названная народной *(греч.: «сторожение общественное»),* видимо, находилась в другом месте города [Деян. 5 (18)].

Из текстов понятно, что темница – это тюрьма, место принудительного содержания под стражей узников разного сословия и пола [Деян. 22 (4)]. Условия содержания людей были суровыми: они находились в тёмных помещениях, их связывали, заковывали в цепи, ноги забивали в колоды [Ис. 42 (22), Деян. 12 (7, 10), 16 (24)]. Об особенностях планировки тюрем известно лишь то, что несколько охраняемых дверей отделяли места изоляции от внешнего пространства [Деян. 12 (10)]. Этих сведений явно недостаточно

для суждения об архитектуре какой-либо из библейских тюрем. Однако, многочисленные археологические исследования подтвердили, что в период пребывания Иосифа в Египте (около 1700 г. до н.э.) уже существовали большие тюрьмы. В еврейском переводе Библии темница Иосифа называется *sohar*, что переводится как «круглый дом» (вероятно, подразумевается круглая башня, но место её расположения точно не определено) [3, с. 90, 92].

Крепости упоминаются в 13 книгах Ветхого и в 1 книге Нового Завета.

Крепость по текстам Библии – это фортификационный объект с долговременными оборонительными сооружениями и постоянным гарнизоном, арсеналом оружия, боеприпасов и различного рода запасами, а также место заточения узников («посадили его в клетку на цепи,… отвели его в крепость») [2 Пар. 11 (11), Наум. 3 (14), Иез. 19 (9)], Деян. 21 (34)]. Крепости были сухопутные и морские («крепость Сион – это город Давидов», «Сидон… крепость морская»). Крепости были как самостоятельными сооружениями, так и находились внутри города. Иногда с крепостью отождествляли город, иногда дворец [2 Пар. 17 (12), 2 Цар. 5 (7, 9)]. Характерным элементом крепости были укреплённые стены замкнутого контура с башнями и охраняемыми воротами. О конфигурации стен, планировочной структуре крепости, композиционных особенностях крепостных построек никаких сведений в текстах Библии не обнаружено. Высота крепостных стен из текстов не выявлена, но прослеживается из контекстуальных сведений («над всякой крепостью он смеётся: насыплет вал и берёт её» [Авв. 1 (10)]). Выявлено, что крепостные стены сооружались из камня («превратил город в груду камней, твёрдую крепость в развалины») и включали деревянные конструктивные элементы («крепости их предашь огню» и «дал мне дерев для ворот крепости… и для стены») [Ис. 25 (2), 4 Цар. 8 (12), Неем. 2 (8)]. Крепости строились на возвышенных местах, и соответственно, лестница при входе вела наверх [Деян. 21 (34-37, 40)]. Крепость Антония, примыкавшую к Храмовому комплексу, евангелист Марк называет преторией, евангелист Иоанн – двором первосвященническим [Мр. 15 (16), Иоан. 18 (15)]. Иосиф Флавий называет эту крепость «замком Антония на отвесной скале», который имел «вид города, а пышностью устройства – вид царского дворца». Археологические раскопки (С. Гибсон и др.) подтвердили достоверность его информации.

Несмотря на недостаток сведений о крепостях в библейских текстах, историки и археологи восполняют информацию о них, благодаря топографии и долговечности строительного материала (камня).

По выявленным в текстах признакам крепость в Ветхом Завете чаще идентифицируется с городским укреплённым поселением, а в Новом Завете представляет собой автономный многофункциональный комплекс на городской территории.

Дворцы упоминаются в 13 книгах Ветхого и в 3 книгах Нового Завета.

В Библии говорится о дворцах многих царей: Ахава, Артаксеркса, Охозии, Азарии, Давида, Соломона, Навуходоносора, Седекии, Ирода. Известно и их местонахождение в городах: Сузы, Иерусалим, Кесария и др. Из некоторых мест Библии известно, что дворцы были местом пребывания царя, знати, различных служащих, а также местом приёмов, собраний, судов, пышных праздненств и пиров [4 Цар. 18 (18), 3 Цар. 7 (1-7), Есф. 1 (5, 10)]. Для этого предусматривались специальные дворцовые постройки с парадными залами, гостевыми помещениями и благоустроенными внутренними дворами. Иногда дворцы представлены как отдельные строения (например, дома пиршества царя Артаксеркса и царя Валтасара, оружейный дом царя Езекии) [Есф. 1 (5, 9), 6 (4), 7 (8), Дан. 5 (10), 3 Цар. 7 (8, 12)].

Много подробностей можно узнать из описаний кедрового дома царя Соломона. Конкретно сказано, что он имел габаритные размеры в плане 50×25 и был высотой 15 м; «три ряда окон, окно против окна» явно указывают на его этажность и на наличие внутреннего двора. Описано, что его основанием были четыре ряда кедровых столбов и положенные на них кедровые брёвна, а также «настлан был помост из кедра над брёвнами» на 45 столбах по 15 в ряд. Всё в этом доме «сделано было из дорогих камней, обтёсанных по размеру… с внутренней и наружной стороны», и «в основание положены были камни дорогие» размером 4-5 метров и «сверху дорогие камни, обтёсанные по размеру, и кедр». Можно предположить, что речь идёт о каменном фундаменте или цоколе здания и о стенах из камня, облицованных деревом. «И притвор из столбов сделал

он» размером 25×15 м с крыльцом с колоннами и порогом, что вызывает ассоциации с колонным залом с парадным входом. Ещё написано, что был сделан «притвор с престолом… для судилища». Ещё упоминаются примыкающие дворы (как минимум два из контекста) [3 Цар. 7 (2-11), 10 (18-20)]. Описание роскошного внутреннего убранства дома из ливанского кедра, многочисленных золотых щитов и сосудов свидетельствует о том, что в нём проходили приёмы и пиры. Известно также, что был «запас оружия в доме кедровом» [Ис. 22 (8), 3 Цар. 10 (16-17, 21)].

Несмотря на приведённые выше конкретные сведения, восстановить достоверный архитектурный образ не представляется возможным, поскольку можно по-разному трактовать выявленные данные. В целом из описаний понятно, что дворец царя Соломона представлял собой дворцовый комплекс, включавший и постройки, и дворы. «Дом леса ливанского» был главным дворцовым зданием, он занимал центральное положение, предназначался для собраний и торжеств государственной важности, а также был арсеналом. Очевидно, что он имел непосредственные связи с дворцовым домом, где проживал Соломон с гаремом, и с притвором для судилища. Но остаётся непонятным: то ли это были отдельные дворцовые здания, связанные переходами в виде галерей, или же они примыкали к главному дворцу. Композиционное решение дворцового пространства также весьма неопределённо. Вероятно, перед парадным главным входом был основной двор, благоустроенный и озеленённый, а второй подобный внутренний двор располагался позади кедрового дома. Где и как именно размещались другие дворцовые постройки по отношению к кедровому дому, неясно. Возможно их расположение по единой композиционной оси в соответствии с функциональным сценарием: от главного парадного входа через колонный зал кедрового дворца в судилище с престолом, затем через дворовое пространство (возможно через анфиладные помещения или галереи) к дворцовому дому царя и через притвор к дворцу одной из его жён, дочери фараона. Судя по описаниям, существовало функциональное зонирование, как территории, так и помещений дворца. Эти предположения автора согласовываются с толкованиями профессора богословия А.П. Лопухина и реконструкциями академика живописи В.Д. Фартусова. Этот дворец полностью утрачен, и Священное Писание – единственный источник сведений о нём [6; 7].

О дворце Артаксеркса в Сузах из Библии известно, что он представлял собой дворцовый комплекс из нескольких дворцов, объединённых дворами и садами. Прослеживаются и общественная функция дворцового комплекса (пиры, собрания, наличие престола, помоста с ложами), и его грандиозные размеры [Есф. 1 (3, 5), 2 (13), 5 (1), 6 (4), 7 (8)]. Описанные мраморные колонны располагались либо по периметру садового двора, где проходил многодневный пир, либо в пиршественном зале в качестве опор для перекрытия. Развалины подобных дворцов обнаружены в Ассирии, в Финикии. Археологическая экспедиция (1899-1917 гг.) под руководством Р. Колдевея откопала крупный комплекс сооружений в древнем Вавилоне, в том числе великолепный пиршественный зал одного из дворцов Навуходоносора (16,8×51,9 м) [11].

Общественные функции дворцов, выявленные в библейских текстах, позволяют отнести дворец к категории общественных зданий. На основании архитектурной интерпретации описаний и контекстуальных данных библейских текстов можно утверждать, что величественные дворцовые комплексы крепостного характера были расположены на обособленной территории. Фактически дворец объединял несколько дворцовых построек различного назначения. Древние дворцы по текстам Библии имели в своём составе многоколонные зальные помещения.

Поскольку выявленные в Ветхом Завете конкретные данные об архитектурных особенностях дворцов недостаточны для их реконструкции, то можно провести аналогию, например, со знаменитыми дворцовыми комплексами Ахетатона и Мединет-Абу Рамсеса III на основании фактов культурных связей Израиля с Египтом конца периода Нового царства. Не исключено и финикийское влияние на архитектуру дворца Соломона (возможно, в его постройке участвовали те же искусные мастера от Хирама из Тира, которые возводили Храм в Иерусалиме). Существование дворцов не вызывает сомнений, поскольку имеются свидетельства историков – современников конца библейской истории и неоспоримые археологические данные о древних дворцах в Вавилоне, в Иерихоне, в Самарии, в Персеполе, в Сузах и др. [3; 12].

Претории упоминаются в 5 книгах Нового Завета. Они были в Иерусалиме, в Кесарии, в Риме [Мф. 27 (27), Деян. 23 (35), Фил. 1 (13)]. Под преторией в Иерусалиме во времена Пилата подразумевали его жилище и постоянное место пребывания, где велись переговоры, приёмы. Вероятно, претория находилась в крепости Антония, построенной Иродом, или поблизости от неё. Там размещался Пилат вместе со своими приближёнными и воинами. На площади перед входом в преторию производился суд. Возможно, именно там был тот самый Лифостротон, где восседал Пилат, когда вершил суд над Иисусом Христом [Иоан. 19 (13)].

Этих сведений явно недостаточно, чтобы делать какие-либо предположения об архитектуре претории. Понятно лишь, что это был комплекс построек многофункционального назначения, окружённый крепостной стеной.

Судилища упоминаются в 3 книгах Ветхого и в 3 книгах Нового Завета.

Суды вершились ещё со времен Моисея, когда он для этого собрал 70 старейшин из всех колен сынов Израилевых. Вначале для судов было место перед Скинией, позже – у городских ворот (там судьи имели свои седалища), а также на открытом месте на базарной площади [Вт. 21 (19), 22 (15), Пр. 22 (22), Ам. 5 (14, 15), 4 Цар. 7 (1)]. Судебные процессы проходили в специально предназначенных для этого местах собраний (под пальмою, в воротах, во дворе дворца) [Суд. 4 (5), 2 Цар. 15 (2, 6), 14 (4), 3 Цар. 3 (16), Иер. 26 (10)]. И только уже во время правления царя Соломона упоминается об отдельном помещении дворца, где производились судебные разбирательства («ещё притвор с престолом… для судилища сделал он» [3 Цар. 7 (7)]). В более поздние времена, например, в Кесарии, месте проживания правителей, суд вершился в судебных собраниях, в судебных палатах («сел я на судейское место… вошли в судебную палату (в греч. «палата для слушаний») с тысяченачальниками и знатными гражданами» [Деян. 25 (17, 23)]). В Иерусалиме местом судилища была претория («взявши Иисуса в преторию (судилище преторское), собрали на него весь полк» [Мф. 27 (27)]). В северо-западной части территории храма, где раньше располагалась крепость Антония, археологами были обнаружены остатки лифостротона в виде ровной каменной площадки на скалистой возвышенности.

Таким образом, в текстах Библии понятие «судилище» включает в себя, во-первых, самих судей, во-вторых, процесс судопроизводства и, в-третьих, место или помещение суда в составе дворца или крепости.

Дом блуда (блудилище) упоминается в 4 книгах Ветхого Завета.

Упоминание о блуде впервые встречается в книге Бытие, а затем этот грех прослеживается во все последующие периоды библейской истории. Из контекста понятно, что блудница Раав занималась этим ремеслом на дому [И. Нав. 2 (1)]. О домах блудилищных встречаются упоминания в период царствования Езекии в конце VIII в. до Р.Х., когда процветал ритуальный блуд в честь богини Астарты («разрушил дома блудилищные, которые были при доме Господнем, где женщины ткали одежды для Астарты» [4 Цар. 23 (7)]). В Иерусалиме в VII в. до Р.Х. люди «прелюбодействовали и толпами ходили в дома блудниц» [Иер. 5 (7)], и спустя два века было то же самое («строила себе блудилища при начале всякой дороги и делала себе возвышения на всякой площади» [Иез. 16 (24, 25, 31)]). В Новом Завете апостолы восставали против блуда в христианских общинах городов, в частности в Коринфе, Фессалониках, Эфесе, это означает, что они, скорее всего, были [1 Кор. 5 (2), 2 Кор. 12 (21), 1 Фес. 4 (3), 1 Тим. 1 (10)].

Строились ли специальные дома для блудодейства или же для этого приспосабливались постройки иного назначения – из текстов Библии неясно. Но из книг Нового Завета следует, что блуд (и, очевидно, блудилища) существовал повсеместно. В Библии отсутствуют какие-либо сведения об архитектуре этих заведений. Известно лишь, что располагались они в местах наиболее заметных и посещаемых – на площадях, при языческих храмах. Значит можно предположить, что эти здания формировали архитектурный облик городской застройки, и архитектурное убранство, наверное, было достаточно богатым, чтобы привлекать внимание.

Рынки (торги, торжища) упоминаются в 2 книгах Ветхого и в 3 книгах Нового Завета.

Торговля занимала важное место в жизни людей, о чём можно судить по многочисленным упоминаниям об этом. Из текстов известно, что места для торговли обычно устраивались около городских ворот [4 Цар. 7 (1)]. Наверняка, торговля

происходила на площади, где не только торговали, но и проводили различные собрания и устраивали судилища, а также нанимали работников, ели-пили [2 Пар. 32 (6), Неем. 8 (1, 3), Деян. 16 (19), Мф. 20 (3), Мр. 7 (4)]. Вероятно, существовали и торговые улицы, поскольку «торг» в переводе с еврейского «улица у ворот». Упоминания о воротах свидетельствуют о том, что торговля была сосредоточена в городах.

Встречается яркое описание торговли на рынках портового города Тира, где «торговали… благовониями,… дорогими камнями,… драгоценными одеждами,… материями», животными и людьми [Иез. 27 (13, 22, 24)]. Упоминания об упаковке в виде дорогих ящиков из кедра, а также о складах для товаров, явно свидетельствуют о крупном рыночном хозяйстве, которое, наверняка, располагалось вблизи пристаней и занимало обширную территорию. Поэтому можно предположить, что были и открытые места торговли на площади (или площадях) вблизи городских ворот, и закрытые при них (например, торговые галереи или павильоны).

О торговле в других городах также есть сведения. Например, в Иерусалиме велась оживленная торговля, особенно по праздничным дням. Сидон также был знаменит как центр торговли: «и был он торжищем народов» [Неем. 13 (16, 20), Ис. 23 (3)].

В новозаветные времена также упоминаются места торговли [Мф. 20 (3), Мр. 7 (4)]. Греческий перевод этих стихов даёт представление о том, что под торжищем или торгом подразумевалась рыночная площадь. Известно, что рынки были в Коринфе [1 Кор. 10 (25)]. Американской экспедицией там был обнаружен комплекс торговых помещений в северной части великолепно вымощенной агоры. К западу от неё нашли ряд магазинов и продуманную систему водопровода, проложенного по периметру торговой площади для охлаждения мяса. [3, с. 377] Эти находки датируются эпохой Августа, во время царствования которого родился Иисус Христос. О торговле в библейском городе Сардисе ничего не сказано в текстах, хотя он был расположен на перекрёстке торговых путей. Но благодаря археологическим изысканиям были обнаружены многочисленные архитектурно-градостроительные памятники, сохранившиеся от разных эпох библейской истории, например, торговая улица.

Иосиф Флавий в своей книге «Иудейская война» при описании пожара в Антиохии упоминает сгоревшие крупные постройки, в том числе «четырехугольный рынок» [8, 7, 3]. Возможно, это было здание рынка или торговые ряды прямоугольной формы.

Неясно, где именно в структуре города располагались рынки, какое пространство занимали, были они открытыми или торговля происходила в помещениях. Конкретных сведений о постройках торгового назначения в текстах Библии нет.

Дом торговли упоминается в 2 книгах Нового Завета.

В Иерусалиме в праздник Пасхи Иисус Христос «…вошел в храм Божий и выгнал всех продающих и покупающих в храме, опрокинул столы меновщиков и скамьи продающих голубей, И говорил им: написано: «дом Мой домом молитвы наречется…», также «… сказал… дома Отца Моего не делайте домом торговли» [Мф. 21 (12, 13), Иоан. 2 (16)]. Из этих цитат следует, что домом торговли можно было назвать тот дом, где велась торговля – значит, таковые были. Из контекста приведенных стихов можно лишь сделать предположение о существовании специализированных торговых построек.

Гостиница упоминается в 2 книгах Нового Завета.

Гостиница может быть рассмотрена как общественное здание, но определённо прослеживается её жилая функция [Лк. 2 (7), 10 (34)]. Аппиева площадь с тремя гостиницами была известна как место торговли, и некоторые переводы подтверждают это: в славянском переводе это «Апиев торг» и три «корчемницы» (корчъма – постоялый двор), в английском «Market of Appius» и «Three Inns» (рынок Аппия и три гостиницы, т.е. постоялый двор; в греческом «Аппия Форум» и «Три Таверны» [Деян. 28 (15)].

О каких-либо гостиницах, которые можно уподобить, например, караван-сараям, явных сведений не обнаружено.

Зрелище упоминается в 1 книге Нового Завета.

Когда апостол Павел в Эфесе проповедовал христианство, то возмущённые почитатели богини Артемиды «единодушно устремились на зрелище». Друзья Павла просили его «не показываться на зрелище», опасаясь расправы [Деян. 19 (29, 31)]. Зрелище *(церк.-слав.: «позорище»)* упоминается без каких-либо сведений о нём. Однако,

из контекста ясно, что это было место собрания большого количества людей. В греческом, английском переводе зрелище это «театр». Вполне вероятно, что в каждом городе, где устанавливались греческие или римские традиции, сооружались театры. Из текста и контекста библейских стихов, где встречается название «зрелище», понятно, что они предназначались не только для представлений, но и для общенародных собраний, судебных разбирательств [Деян. 12 (21), 19 (29, 31)]. Большое количество людей, наверняка, размещалось на обустроенных местах, обеспечивавших условия видимости и слышимости. О расположении зрительских мест, площадки для представлений, конструкциях, материалах, покрытии в текстах не упоминается.

Строить какие-либо предположения относительно архитектоники зрелища как театра можно только на основании историко-археологических данных. В трактате Витрувия (1 в. до н.э.) о театрах даются довольно подробные сведения. Например, «если они (фундаменты) будут в горах, то закладка их легче; но если в силу необходимости придется их закладывать на ровном или болотистом месте, тогда следует делать каменные укрепления и надстройки… Над фундаментом, начиная от самой надстройки, должны делаться из камня и мрамора ступеньки» [4, с. 129]. Есть свидетельства историков и археологов о подобных сооружениях в городах, упоминаемых в Новом Завете. И. Флавий упоминает театр в Антиохии, где сожгли иудеев [8, 7, 2, с. 622]. Британские археологи в 1863-64 гг. в Эфесе на западном склоне горы Пион вели раскопки театра и одеона (концертного зала), построенного, предположительно, в I в. н.э. В Кесарии с 1948 г. при раскопках были найдены остатки амфитеатра. Хорошо различимы остатки древнего театра в раскопках г. Смирны (Измир, Турция). Раскопки в Коринфе, где каждые два года проводились Истмийские игры в честь Посейдона, выявили наличие городского театра и амфитеатра. Эти факты подтверждают существование зрелищ (театров и амфитеатров) в конце I в. н.э. [3, с. 228, 376, 392].

Можно заключить, что зрелище по текстам Библии, по-видимому, было открытым плоскостным сооружением многофункционального назначения, наверняка, возведённым на естественном склоне. Оно могло представлять собой и театр, и амфитеатр, что подтверждается историко-археологическими данными.

Ристалище упоминается в 1 книге Нового Завета.

О ристалище *(греч. «состязание»)* упоминается лишь однажды, вероятно, в связи со спортивными состязаниями: «бегущие на ристалище бегут все, но один получает награду» [1 Кор. 9 (24)]. Вероятно, оно представляло собой некую площадку, предназначенную и обустроенную для состязаний в беге, в прыжках, в метании диска и копья, для кулачных боев и борьбы со зверями, а также тренировок по эллинскому обычаю [1 Кор. 9 (24, 26), 15 (32)]. Упоминание о получении награды явно подразумевает определенное положение старта и финиша, судейских мест, а также присутствие зрителей и, возможно, наличие трибун. На основании высказанных предположений можно заключить, что это было оборудованное открытое плоскостное сооружение, значит, ристалище можно назвать стадионом. Не исключено, что здесь проводились состязания на колесницах и конные бега, поскольку у И. Флавия при описании событий в Иерихоне встречается фраза «запереть их в так называемом ипподроме (ристалище)» [8, 1, 33]. В апокрифах встречаются упоминания о конских ристалищах [3 Мак. 4 (9), 5 (30)]. В Кесарии при раскопках 1948 года были найдены остатки ипподрома (беговые дорожки) – возможно, это и было ристалище [15, p. 18].

Ристалище (стадион или ипподром) по сведениям из библейских текстов было предназначено только для спортивных состязаний и тренировок, чем оно, видимо, и отличалось от амфитеатра.

Баня упоминается в 2 книгах Нового Завета.

Извлечённые сведения явно свидетельствуют о библейском смысле бани в контексте сакрального омовения («Чтобы освятить её, очистив банею водною, посредством слова» [Еф. 5 (26)], «Он спас нас не по делам праведности,… а по своей милости, банею возрождения и обновления Святым Духом» [Тит. 3 (5)]). В греческом переводе вместо «баня» использовано более подходящее слово «омовение». Образ купания в бане напрямую связан с крещением, и здесь речь идёт о «божественной бане» [13, p. 167].

Эти метафоры подтверждают существование бани в прямом смысле этого слова как места для мытья тела. О том, что баня как постройка утилитарного назначения реально существовала в период новозаветной истории, свидетельствует И. Флавий, который пишет, что можно было «войти в помещение бани» и что солдаты «спрятались в бане» [8, 1, 17]. Известные грандиозные термы Тита имели строго симметричную постройку со сводчатыми пространствами. Как отмечает Ш.М. Шукуров, стойкая привязанность мотива очищения к храмовой этиологии впоследствии явилась основанием для более прозаичной взаимосвязи храмовых сооружений и бань [9; с. 307].

Купальни упоминаются в 1 книге Ветхого и в 1 книге Нового Завета.

В Ветхом Завете о купальне сказано лишь в Книге Песнь Песней при описании многочисленных достоинств возлюбленной Соломона: «Зубы твои, как стадо стриженых овец, выходящих из купальни…» [П. Пес. 4 (2), 6 (6)]. Однако, нет никаких сведений о её местонахождении, устройстве, лишь только о её назначении – купании овец.

В Новом Завете в Евангелии от Иоанна встречаются упоминания о двух купальнях – это купальня Вифезда (см. далее «Крытые ходы») и Силоамская купальня при одноимённом источнике [Иоан. 5 (2-7), 9 (7)]. Раскопки под руководством археолога Блисса показали, что в 1 в. н.э. Силоамская купальня была довольно большой (21,3×22,5 м) с прекрасной лестницей с западной стороны и двумя галереями с арками [3, с. 218].

Крытые ходы упоминаются в 1 книге Ветхого Завета и в 1 книге Нового Завета.

В Евангелии от Иоанна сказано: «Есть же в Иерусалиме у Овечьих ворот купальня, называемая по-еврейски Вифезда, при которой было пять крытых ходов В них лежало великое множество больных…, ожидающих движения воды;… кто первый входил в неё…, тот выздоравливал…» [Иоан. 5 (2-4)]. Из этого короткого стиха известно и местонахождение, и назначение купальни с крытыми ходами, и прослеживаются контекстуальные данные об устройстве и архитектурных атрибутах. В них лежало великое множество больных…, ожидающих движения воды;… кто первый входил в неё…, тот выздоравливал…» [Иоан. 5 (2-4)].

Упоминание о великом множестве больных наводит на мысль о крупном архитектурном сооружении. О форме купальни ничего неизвестно из текстов, она вполне могла быть прямоугольной, разделённой на две части. В таком варианте четыре крытых хода могли размещаться по периметру и одна поперек. Это предположение автора основано на примерах из истории архитектуры рассматриваемого периода (бассейны в составе терм имели преимущественно прямоугольную форму, например, в Стабианских термах, термах Тита). Упоминание о том, что в бассейн «входили», даёт основание считать возможным существование спусков к воде в виде ступеней, а также парапетов. Под крытыми ходами, очевидно, подразумеваются галереи по периметру бассейна (*греч. «пять галерей»*). В английском переводе это *«porches»* – портики (амер. *«веранды, террасы»),* в немецком это даже *«Ein Teich und 5 Hallen»* – большие залы. Само название «крытые ходы» предполагает существование проходов и подходов к купальне и их перекрытия. Они, наверняка, представляли собой стоечно-балочную, возможно, арочную конструктивную систему. Форма арок могла быть полуциркульной, поскольку именно такой тип арок преобладал в римской архитектуре IV в. до н.э.-начале I в. н.э., хотя встречались и лучковые, и коробовые кривые, и стрельчатые своды (например, перекрытие камеры источника в Тускуле IV в. до н.э.).

Исторических свидетельств современников об этой купальне нет, и удивительно, что такие авторитетные историки как И. Флавий и Тацит даже не упоминают о ней. Однако, это вовсе не исключает факта её существования. Наверняка, здесь существовало естественное озеро, и оно было преобразовано в искусственный резервуар. Строительство этой купальни может относиться к III-II вв. до н.э., когда Маккавеи начали возрождать свои древние религиозные традиции мытья жертвенных животных, и поэтому ближайшие ворота, через которые осуществлялась связь с храмовым двором, назывались Овчими.

При археологических раскопках 1914 года на предполагаемом месте древней купальни были отрыты фрагменты бассейна 150×50×15 м, разделённого стеной на две части. На глубине 7,5-9 метров сохранились прекрасные арочные портики; некоторые надписи и архитектурный стиль свидетельствуют о существовании этого сооружения в период правления Ирода Великого [3, с. 218].

Таким образом, для ясного представления об архитектуре крытых ходов купальни Вифезда новозаветного периода нет достаточных оснований, и могут быть различные варианты трактовки её образа.

Упоминаются и другие крытые ходы, например, при Иерусалимском храме, но из текста неясно, что они собой представляли: по традиционному мнению, это была колоннада по периметру двора, в том числе Соломонов притвор (*греч. «галереи Соломона»)* [4 Цар. 16 (18), Деян. 3 (11), 5 (12)]. Подобные атрибуты внутреннего дворового пространства прослеживаются и в контексте при описании дворца Артаксеркса в Сузах [Есф. 1 (5, 6)].

Выводы

Аналитическое исследование и архитектурная интерпретация выявленных сведений на основе сопоставления библейских описаний, историко-археологических данных и артефактов дают некоторое представление о древнейших гражданских постройках общественного назначения. Удалось уточнить функциональное назначение всех этих построек, а также определить архитектурные элементы, которые помогают понять архитектонику некоторых их них (башня, крепость, дворец, крытые ходы).

Выявлено, что особенностью крепостей и башен была большая вместимость, массивные каменные стены, эксплуатируемые кровли. Выявлено, что особенностью дворцов было их многофункциональное назначение, что позволяет рассматривать их как крупные капитальные общественные здания или комплексы. Они имели стоечно-балочную конструктивную систему, в качестве строительных и отделочных материалов использовались: камни, в том числе драгоценные, и дерево ценных пород. Библейские дворцы несомненно обладали высокими эстетическими качествами. Выявлено, что под крытыми ходами понимаются многоколонные галереи. Купальни использовались в утилитарных и ритуальных целях. На основании историко-археологических данных можно лишь предположительно судить об архитектуре дворцов и крытых ходов.

Установлено, что такие типы построек как темница, гостиница, зрелище, ристалище имеют лишь контекстуальные признаки, и представление о них можно составить только по архитектурным аналогам и историко-археологическим данным. Зрелище (театр) имел полифункциональное назначение, в том числе и спортивное. Ристалище (возможно, стадион или ипподром) был предназначен только для спортивных состязаний и тренировок. Сведения об архитектурных признаках таких построек, как блудилища, бани, дома торговли отсутствуют – в текстах Библии фиксируется только факт их существования.

Верификация письменных источников является важнейшей проблемой в историографии. Некоторые сведения о гражданских постройках общественного назначения, выявленные нами в текстах Библии, подтверждаются историческими трудами современников библейских событий и археологическими раскопками: сохранились материальные свидетельства в виде руин, полуразрушенных конструкций, архитектурных фрагментов и деталей. Не ослабевает интерес к достоверным археологическим находкам на библейских землях. [10] Наше исследование может восполнить пробелы в истории архитектуры дописьменного периода.

Источники исследования

Библия. Книги Священного Писания Ветхого и Нового Завета. Канонические. Перепечатаны с Синодального издания: Бытие (Быт.), Второзаконие (Вт.), Иисуса Навина (Нав.), Судей Израилевых (Суд.), Первая книга Царств (1 Цар.), Вторая книга Царств (2 Цар.), Третья книга Царств (3 Цар.), Четвертая книга Царств (4 Цар.), Вторая книга Паралипоменон (2 Пар.), Неемии (Неем.), Есфирь (Есф.), Притчей Соломоновых (Пр.), Песни Песней Соломона (Пес. П.), Пророка Исайи (Ис.), Пророка Иеремии (Иер.), Книга Пророка Иезекииля (Иез.), Пророка Даниила (Дан.), Пророка Амоса (Ам.), Аввакума (Авв.); От Матфея святое благовествование (Мф.), От Марка святое благовествование (Мр.), От Луки святое благовествование (Лк.), От Иоанна святое благовествование (Иоан.), Деяния святых Апостолов (Деян.), Первое послание к Коринфянам (1 Кор.), Второе послание к Коринфянам (2 Кор.), Послание к Ефесянам (Еф.), Послание к

Филлипийцам (Фил.), Первое послание к Фессалоникийцам (1 Фес.), Первое послание к Тимофею (1 Тим.), Послание к Титу (Тит.) – М.: Рос. библейское об-во, 2001. – 925, 294 с.

Неканонические (апокрифические) книги Ветхого Завета славянской Библии: Третья книга Маккавейская (3 Мак.). – по благословению Св. Патриарха Моск. и всея Руси Пимена по заказу Казанской епархии, 1994.

Список библиографических ссылок

1. Аванесов С. С. Аллегорическое и буквальное в герменевтике сакрального текста // Вестник Томского гос. универ. 2013. № 5 (25). С. 55–60.
2. Балакина Л. А. Архитектура в библейских текстах: интерпретация сведений и систематизация выявленных построек и поселений. Saarbrücken, Germany : Lambert Academic Pablishing, 2011. С. 72– 90.
3. Василиадис Н. Библия и археология: пер. с новогреч. Сергиев Посад : Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2003. 415 с.
4. Витрувий М. …Об архитектуре. Л. : Соцэкгиз, Ленингр. отд., 1936. 343 с.
5. Воробьёв С. Ю. Библия и история. М. : Изд. Моск. Патриархии, 2011. 312 с.
6. Лопухин А. П. История Ветхого и Нового Завета. М. : Альфа-книга, 2016. 1216 с.
7. Фартусов В. Д. Планы и фасады Ноева ковчега, Скинии Моисея, первого и второго Иерусалимских храмов, дворца Соломона. М., 1909. 46 с.
8. Флавий И. Иудейская война. Ростов-на-Дону, 2000. 511 с.
9. Шукуров Ш. М. Образ храма. Imago templi. М. : Прогресс-Традиция, 2002. 496 с.
10. ARCHEOLOGIA ABRAHAMICA: Исследования в области археологии и художественной традиции иудаизма, христианства и ислама : сб. науч. ст. / Индрик. М., 2009. 456 с.
11. Koldewey R. Das wieder erstehende Babilon. L., 1913.
12. Kenyon K. Archaeology in the Holy Land. L. : N. J., 1965.
13. Magdalino P. Church, Bath and Diakonia in medieval Constantinopole // Church and People in Bizantium. Centre for Bizantium. Ottoman and modern Greek Studies. – University of Birmingham. 1986. 167 p.
14. Thompson J. A. The Bible and Archaeology : The Paternoster Press Ltd, 1973.
15. Wimmer M. Olimpic buildings. Translate from the German by H. Liebscher, revised by V. Varecha. Leipzig : Edition Leipzig, 1976. 224 p.

Balakina L.A. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: bamila@list.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The architectural context of the biblical information about civilian public buildings

Abstract

Problem statement. The aim is an analytical study of the Bible text in order to identify the type of civil public buildings, and information about them.

Results. With the position of hermeneutics were studied information about public buildings: discovered and considered their constructions features and attributes of their architecture. The architectural approach to the understanding of the principles of the formation of these structures when compared with historical and archaeological evidence was the basis of their architectural interpretation.

Conclusions. Our research can fill the gaps in the history of architecture of preliterate period.

Keywords: Bible, hermeneutics, information about civilian public buildings, historical and archaeological facts, the analytical study, the architectural interpretation.

Sources of research

The Bible. Books of the Holy Scriptures of the Old and New Testament. Canonical (Genesis, Deuteronomy, Joshua, Judges, 1 Samuel, 2 Samuel, 1 Kings, 2 Kings, 2 Chronicles, Nehemiah, Esther, Proverbs, Song of Songs, Isaiah, Jeremiah, Ezekiel, Daniel, Amos, Habakkuk; Matthew, Mark, Luke, John, Acts, 1 Corinthians, 2 Corinthians, Ephesians, Philippians, 1 Thessalonians, 1 Timothy, Titus. – M.: Russian Bible Society, 2001. – 925 p.; 292 p.

The non-canonical (apocryphal) books of the Old Testament of the Slavic Bible: 3 Maccabees. With the blessing of Pimen, the Holy Patriarch of Moscow and All Russia, for commissioned the Kazan diocese, 1994.

References

1. Avanesov S. S. The allegorical and literal in the hermeneutics of the sacred text // Bulletin of the Tomsk gos. univer. 2013, № 5 (25). P. 55–60.
2. Balakina L. A. Architecture in the biblical texts: the interpretation of information and systematization of the identified buildings and settlements. Saarbrücken, Germany : Lambert Academic Pablishing, 2011. P. 72-90.
3. Vasiliadis N. Bible and archeology. Translated from New Greek. Sergiev Posad. Svyato-Troitskaya Sergieva Lavra, 2003. 415 p.
4. Vitruvius M. On Architecture. L : Sotsekgiz Leningr. otd, 1936. 343 p.
5. Vorobyov S. Y. The Bible and history. M. : Publ. Mosk. Patriarchy, 2011. 312 p.
6. Lopuhin A. P. History of the Old and New Testament. M. : Alfa-kniga, 2016. 1216 p.
7. Fartusov V. D. Plans and facades of Noah's Ark, the Tabernacle of Moses, the first and second temple of Jerusalem, the palace Solomon. M., 1909. 46 p.
8. Flavius Josephus. Antiquities of the Jews. Rostov-na-Donu, 2000. 511 p.
9. Shukurov Sh. M. The image of the church. Imago templi. M. : Progress-Tradition, 2002. 496 p.
10. ARCHEOLOGIA ABRAHAMICA: Research in the field of archeology and art traditions of Judaism, Christianity and Islam : Coll. scientific. Art. / Indriki. M., 2009. 456 p.
11. Koldewey R. Das wieder erstehende Babilon. L., 1913.
12. Kenyon K. Archaeology in the Holy Land. L. : N. J., 1965.
13. Magdalino P. Church, Bath and Diakonia in medieval Constantinopole // Church and People in Bizantium. Centre for Bizantium. Ottoman and modern Greek Studies. – University of Birmingham. 1986. 167 p.
14. Thompson J. A. The Bible and Archaeology : The Paternoster Press Ltd, 1973.
15. Wimmer M. Olimpic buildings. Translate from the German by H. Liebscher, revised by V. Varecha. Leipzig : Edition Leipzig, 1976. 224 p.

УДК 712.03
Мухитов Р.К. – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: mukhitov@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

«Превентивная» реконструкция в г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. В статье рассматривается актуальная проблема для города Казани – это оценка результатов масштабной реконструкции, которая началась в 2000-е годы, в центральной его части.

Результаты. Не всё, что было осуществлено, сегодня однозначно положительно сказалось на городской среде. Главная задача любой реконструкции улучшить качество улицы, площади и др. объектов города, при этом сохраняя градостроительные традиции. Особое место занимают примеры изменения городской среды, в результате которых необоснованно меняются параметры улиц, застройка площадей, масштаб зданий и комплексов. Таким примером можно считать территорию в центре Казани – площадь им. Тукая и примыкающие к ней улицы Пушкина, Бутлерова, Петербургская. Принятие решений по размещению таких крупных объектов как здание ПФР по республике Татарстан, торгово-развлекательного комплекса «Кольцо» было поспешным, без должной оценки последствий, без учёта перспективы развития и сохранения исторической среды.

Выводы. В результате город утратил архитектурно-градостроительный облик центральной площади, утратил существовавшее во все времена кольцевое автомобильное движение, благодаря чему эта площадь в народе получила название «Кольцо».

Ключевые слова: превентивная реконструкция, городская среда, пространственная реальность, площадь им. Тукая, торгово-развлекательный центр.

«…Современность и история воспринимаются большинством наших соотечественников как принципиально разные, несовместимые временные стихии. Мало кому приходит в голову мысль, что прошлое в свое время тоже было современностью. И как это ни парадоксально, именно современность мнима, а история – реальна»
Гумилёв Л.Н. [1]

У каждого города рано или поздно наступает момент, когда становится очевидным, что надо что-то менять для того, чтобы стало лучше, чем было. Такое состояние характерно почти для всех городов России – малых, средних, крупных, но не всем повезёт, так как инфраструктурная реконструкция требует значительных финансовых затрат. Такие затраты может позволить только один город – это Москва, который постоянно развивается и является финансовым центром России. В других случаях осуществить масштабную реконструкцию можно только за счёт федерального бюджета и в особом порядке. Это, в первую очередь, относится к крупным городам, которым «грозит» организация и проведение крупных мероприятий федерального или международного уровня. Мощный финансовый ресурс позволяет решить основные транспортные и функциональные проблемы города – это строительство новых дорог и расширение старых, новых транспортных развязок, обновление транспортных сооружений, а также строительство новых крупных общественных объектов – гостиницы, спортивные и зрелищные сооружения, выставочные и другие. Кроме нового строительства появляется возможность реставрации и реконструкции старых зданий городского значения. За достаточно короткий промежуток времени город приобретает значительный объём изменений, который может существенно повлиять на прежний облик города, вплоть до принципиальных изменений отдельных его территорий. Этот факт не может пройти бесследно для горожан, которым в первую очередь предстоит осознать и принять степень этих изменений. Единовременные масштабные изменения более значимо, в силу своего эффекта, оказывают влияние на традиционный облик

города. Он становится не просто другим, он становится неузнаваемым. В чём это выражается? Прежде всего, в изменении масштаба застройки, которая становится не только выше и шире, но и крупнее в деталях – дверей, витрин, окон, стен и т.д. Традиционные улицы становятся крупными городскими магистралями за счёт ликвидации газонов или трамвайных путей, а также за счёт сноса, прежде всего деревянных построек или наоборот закрываются для автотранспорта, становясь полностью пешеходными. Не остаются без изменения и городские площади, в структуре которых появляются крупные общественные сооружения, масштабом своих форм нарушая существующее архитектурно-композиционное и стилистическое единство [2].

Масштабные реконструкции городов не являются привилегией только нашего времени. История градостроительства знает массу примеров, когда многие города Европы пережили свой период реконструкции, только он был в 19 веке, под влиянием парижской «хирургической планировки», которую применял барон Оссман вместе с главным городским архитектором А. Альфаном. Будучи префектом департамента Сены Оссман руководил парижскими работами, которые по сравнению с тем, что делалось в Европе, кажутся колоссальными по размаху. Одна только реконструкция уличной сети дала дополнительно 165 км, застроенными шестиэтажными домами, было построено 48 км городских бульваров и т.д. В гораздо меньших объёмах тогда изменился облик Лондона и Вены, которые расставались со своим средневековым прошлым. Поэтому широко применяя «хирургические» методы в реконструкции городов (т.е. пробивку улиц, не считаясь со сложившейся планировочной тканью) оссманисты совершали открытое насилие над городом. Трудно сейчас сказать, как на эти процессы реагировали горожане и врядли они всё это воспринимали положительно. Но пройдя проверку временем эти изменения сегодня стали неотъемлемым обликом этих городов, более того историческими достопримечательностями, которыми гордятся современные жители этих городов. Но есть и другие примеры, которые по-прошествии времени по-прежнему отрицательно воспринимаются горожанами. Это Рим, который помнит доказательства фашистского вандализма «творчества» Муссолини, который стремился осуществить мечту о возвращении стране прежнего величия древнеримской Империи. Он «подарил» городу ряд объектов, в том числе и улицу виа дела Кончиллиационе, при прокладке которой был осуществлён снос старых римских особняков и церквей, и улицу виа дель Империо, которая пролегла по сердцевине античного Рима, при этом был частично срезан Велийский холм (один из семи римских холмов) (1936-1950 гг.). Всё это сопровождалось бурными протестами итальянской общественности и иностранной печати. Но и это ещё не всё. В послевоенные годы примерами неудачной реконструкции отметился Лондон – реконструкция площади св. Петра, признанная художественной неудачей, многоэтажный конторский столб, построенный на недопустимо близком расстоянии от Парламента. В Стокгольме при реконструкции центра на месте снесённых старых зданий были построены громадные высотные пластины коммерческого центра, которые вошли в конфликт с живописными башнями старого города – архитекторами была реализована идея реконструкции, которую предложил Корбюзье ещё в 1934 г., являющийся известным противником исторического наследия. Подобную ошибку повторили и в Москве, когда пробивали проспект Калинина и воздвигали аналогичные высотные пластины, копируя шведский пример, при этом также разрушая историческое архитектурное наследие. Все вышеприведённые примеры объединяет одно начало – это желание и возможность доминирующей власти, за время своего существования, изменить облик города или отдельных его частей исключительно исходя из политических задач, которые должны продемонстрировать достижения этой власти, а городское население, в свою очередь, должно этому быть «благодарна».

Эта, так называемая, *превентивная*[1] реконструкция, решая с одной стороны стратегические задачи для города – обновление и создание новой транспортной инфраструктуры, функциональной структуры, с другой – неизбежно «разрушает» территорию города, которая не соответствует современным требованиям. А это, как правило, историческая часть города. Историческая среда города ценна своей визуальной

[1]Превентивный (фр. «Preventif») – опережающий действия противной стороны.

цельностью, которая складывалась на протяжении длительного времени, в течение которого происходил своеобразный отбор – лучшее оставалось, а худшее исчезало, точнее, застраивалось или перестраивалась. Горожане объективнее многих специалистов порой оценивают свой комфорт, который является показателем качества городской среды. Поэтому необходимо время, чтобы изменённая городская среда стала неотъемлемой частью города. Но это бывает не всегда. С течением некоторого времени становится очевидным, что новая застройка стала раздражать не только горожан своей архитектурой, формами, но и специалисты также настаивают на изменении облика или полной перестройки, в результате которой возможно будет найден некий компромисс для дальнейшего сосуществования нового и старого.

В качестве примера можно привести этапную реконструкцию в последние годы значительной территории в Казани: от площади им. Тукая до улицы Тихомирного и Бутлерова, а также и улицу Петербургскую. За несколько лет кардинально изменилась градостроительная ситуация. Появились новые градостроительные акценты – это здание Пенсионного фонда РТ, которое завершает перспективу улицы Татарстан, торгово-развлекательный комплекс «Кольцо», гостиница «Грандотель Казань». А строительство станции метро «площадь им. Тукая» изменило статус улицы Петербургская (бывшая улица Свердлова) с городской магистрали на пешеходную улицу. В результате современная крупномасштабная застройка в дополнение к уже существующей застройке советского периода внесло существенный диссонанс в это историческое пространство, заложенное в 18 веке регулярным планом города (рис. 1).

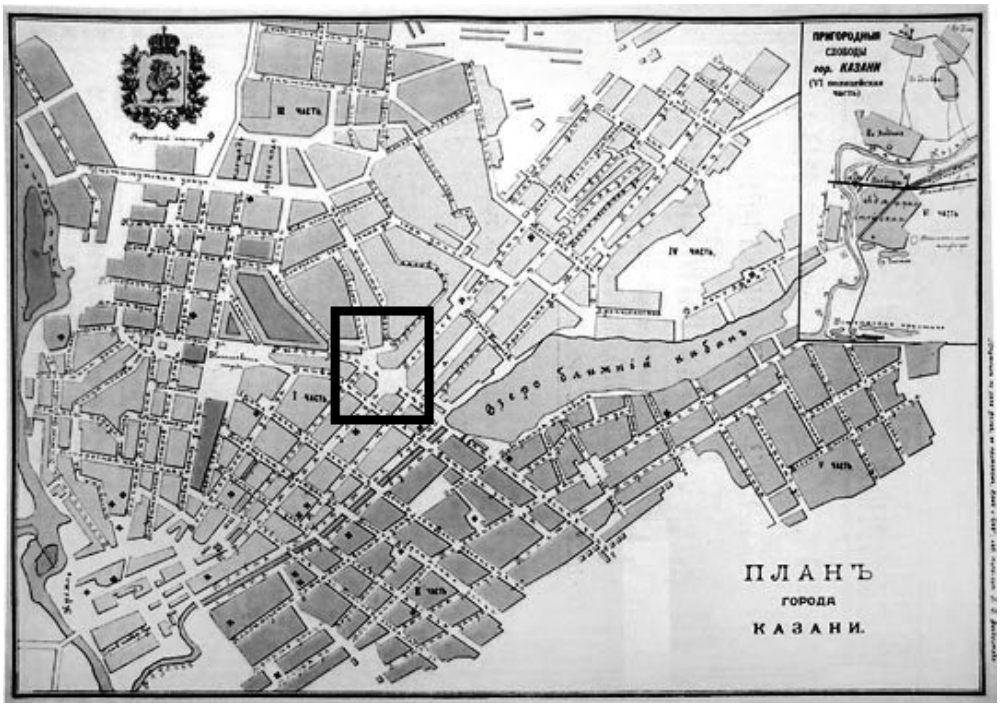


Рис. 1. На регулярном плане Казани выделена территория,
которая во все времена была главной площадью города,
а сегодня, из-за изменений очертаний, утратила своё значение

Нынешняя площадь им. Тукая в своём историческом прошлом, называлась Рыбнорядской, так как была местом рыбной торговли – городским рыбным базаром, где торговали сначала прямо с подвод, а затем в деревянных лавках, которые были построены по периметру этого места. С течением времени деревянные лавки были заменены на каменные с устройством в подвалах ледяных камер для хранения рыбы. Большинство ледяных камер располагалось даже не под зданием, а под тротуарами (это вскрылось при реконструкции улицы Баумана). Таким образом, на территории сформировались торговые здания, которые организовали одно- двухэтажное окружение

площади. Безусловно, при реализации регулярного плана Кафтырева В.И. – первого губернского архитектора Казани, эти торговые здания, а также и гостевые дома были расположены в определённом порядке – это был правильный квадрат, к вершинам которого примыкали городские улицы, а центральное пространство было заполнено городским сквером. Вокруг этого сквера было организовано кольцевое движение транспорта, к которому впоследствии добавился трамвай, за что в народе получила название «кольцо». В этот исторический период подводы уже не заполняли площадь, да и сама площадь перестала быть исключительно торговой. Эта площадь стала подлинным городским пространством, композиционно завершённым именно как городская площадь с выраженным центром (после революции этот композиционный центр завершал постамент с памятником Н. Бауману). За долгие годы своего существования, пережила революцию и войну, площадь сохраняла свой архитектурно-планировочный облик, хотя несколько раз меняла своё название – Кооперативная, Куйбышева. Следует признать, что это была единственная площадь в городе, имеющая планировочную завершённость, масштаб и народную популярность [3] (рис. 2).

Рис. 2. Исторический образ площади. На заднем плане расположено здание, на месте, которого сегодня построен торгово-развлекательный комплекс [10]

Первый «звоночек», означающий начало разрушения ансамбля площади, прозвучал даже не тогда, когда был ликвидирован сквер, а когда стали строить в 1970 году новую городскую гостиницу «Татарстан» (арх. М.Х. Агишев и М.Г. Хайруллин) [4]. Выбор был не случаен, так как площадь им. Куйбышева (ныне пл. им. Тукая) занимала центральное расположение в городе, а потому столь престижное здание должно было украсить город и прежде всего его центр. А так как старая застройка в советские годы, а это были 70-е годы прошлого столетия, особо не ценилась в силу своего большого физического износа и плохого обслуживания, то поэтому было предложено одну сторону площади освободить под новую постройку. Планировочное размещение здания гостиницы было ориентировано на улицу Пушкина – главным фасадом, а боковым – на ул. Свердлова (ныне ул. Петербургская). Здание гостиницы с одной стороны продолжало новую застройку улицы Пушкина – это в первую очередь здание Центрального универмага, построенное в 1961 г. (арх. В.А. Петров), но при этом значительно отступая от старой

линии застройки, таким образом, формируя уступчатость застройки [4]. Это расположение изначально противоречило композиции площади, так как нарушалась геометрия территории, а высотный объем гостиницы формировал новую градостроительную ситуацию, изменяя прежнюю силуэтность и визуальную акцентировку. Площадь утратила исходную композиционную симметричность и стала своеобразным дополнением к новому высотному акценту. Затем, в последующие годы, центральное пространство площади было отдано полностью под транспорт, точнее под размещение остановок трамвая с торговыми павильонами, подземными выходами и переходами. В плане благоустройства площадь существенно обеднела (рис. 3).

Рис. 3. В советский период площадь утратила сквер,
но сохранила круговое автомобильное движение

В 2000-е годы, когда не стало СССР с его распределительной экономикой и советских автономных республик, появилась потребность реализовать новый политический и экономический потенциал, соответствующий новому официальному статусу республики. Появление свободного капитала привело к строительному буму, который в первую очередь охватил центральную часть города, как самую престижную и рентабельную. Данный этап нашей современной истории ознаменовался появлением новых типов общественных зданий – торгово-развлекательных комплексов, офисов, банков, парковок, без которых сегодня невозможно представить любой город. Ну а способ их размещения в сложившейся структуре города больше напоминал своеобразную революцию, когда можно было расчистить для своего детища любое городское место, лишь бы были связи и деньги. Мораль у этих «инвесторов» была всегда одна – это только финансовая выгода, а не социальная ответственность, поэтому на первом месте не стояла задача сохранить исторический облик улиц и площадей. Но с другой стороны, политическая власть

республики также стремилась изменить облик города – сделать его более помпезным, более столичным. Поэтому при поддержке власти в этот относительно недавний временной период начали происходить события, которые претендуют на то, чтобы называться своеобразным «феноменом» – это так называемая *превентивная* реконструкция. Это когда Вас ставят перед фактом того, что уже свершилось, а потому уже не обсуждается что сделано, а принимается таким, каким оно есть. Поэтому появление многих новых крупных зданий со спорной функцией в центре города, на месте снесённых строений и не всегда по причине ветхости, как раз и является этим самым феноменом.

В качестве такого примера в современном периоде истории центра города можно привести несколько знаковых объектов, прежде всего, – это появление нового здания, главного офиса Пенсионного фонда РТ (арх. В.П. Логинов, Е.И. Прокофьев), который занял место одноэтажного магазина и кинотеатра «Вузовец», любимого всеми студентами в прошлом. Именно появлением, которое было обусловлено желанием федеральной организации ПФР разместить в лучшем месте города свой офис, объясняется строительство этого здания. Центральный офис ПФР по республике Татарстан нуждался в больших площадях для сотрудников, и было бы естественно его располагать на свободных территориях, но руководство ПФР сумело «продавить» именно нынешнее место, тем самым игнорируя мнение общественности. Крупный объем здания, как по высоте, так и по ширине фасада, даже с учётом его большого отступа от красной линии застройки, является доминирующим среди относительно малоэтажной городской застройки. В результате здание фонда стала не только новым градостроительным акцентом, замыкающим перспективу улицы Татарстан, но и соперником уже существующего высотного акцента – здания гостиницы «Татарстан». Но в отличие от архитектуры здания гостиницы, объем здания фонда выглядит более массивным, может быть даже более грубым, особенно из-за непропорционально большого навеса главного входа. Здание Пенсионного фонда заняло место здания, которое никогда не являлось акцентным даже в силу своего углового расположения (пересечение улиц Пушкина и Некрасова). Вместо того чтобы поддержать существующую планировочную ситуацию – угловую застройку улиц Пушкина и Некрасова (примыкание второстепенной улицы к главной), здание из-за значительного отступа от красной линии изменило угловое завершение в сторону формирования открытого пространства, характерного больше для площади. А какая в этом была необходимость менять существующую градостроительную ситуацию? Получается, ради изначально выбранного архитектурного объёма пришлось изменить существующую историческую среду, а не скорректировать его с целью сохранения градостроительных традиций. В результате рядом с существующей площадью им. Куйбышева (ныне пл. им. Тукая) возникла как бы ещё одна площадь, но с непонятным периметром застройки, который характерен для улиц с её разностилевой и разномасштабной архитектурой.

В последующие годы, а точнее к празднованию тысячелетия Казани произошли ещё более масштабные градостроительные изменения, которые затронули площадь Куйбышева, а также по этому поводу переименованную в честь татарского поэта Г. Тукая. Глобальными изменениями явилось строительство первой очереди торгово-развлекательного комплекса «Кольцо» (арх. Сафин Р.) и станции метро «площадь Г. Тукая». В результате этого строительства улица Свердлова стала новой пешеходной улицей Петербургской, а существующая историческая застройка, формировавшая часть площади, улицу Бутлерова и улицу Петербургская, была снесена в пользу торгового комплекса, который по своим размерам занял целый квартал. В число снесённых зданий вошли и памятники истории и архитектуры, для чего был подготовлен соответствующий правительственный указ. Беспрецедентный случай, когда в угоду коммерческому интересу была принесена архитектурная история города. С этим можно было бы согласиться, если бы при реконструкции территории было предложено действительно новаторское архитектурно-планировочное решение, которое отвечало бы, в первую очередь задачам формирования ансамбля площади, как это было ранее и, во-вторых, качественной новой застройки примыкающих к ней улиц Пушкина, Петербургской и Бутлерова. Для объективности общей картины надо отметить, что проект торгового комплекса неоднократно выносился на обсуждение градостроительного совета, который ставил под сомнение его архитектуру и предлагал провести проектную клаузуру в

помощь авторам проекта, учитывая молодой возраст проектировщиков. Но, по требованию властей, которых не устраивал срок рассмотрения проекта, комплекс был построен и приобрёл дополнительно оригинальный знак в форме гигантского кольца, размещённого в сторону здания Пенсионного фонда, акцентируя главный вход со стороны улицы Бутлерова, в который можно попасть, только если пересечь открытую автопарковку, расположенную перед зданием торгового комплекса (рис. 4).

Рис. 4. Неудачная архитектура торгового комплекса «разрушила» пространство площади, создав новую *пространственную реальность* [11]

Ближе ко времени проведения Универсиады в Казани на ряде улиц были ликвидированы трамвайные пути для увеличения пропускной способности дорог, в том числе и на улице Пушкина. Если раньше площадь им. Тукая, по традиции, называли «кольцом», из-за существовавшего все эти годы кольцевого движения, то теперь это ушло в небытиё, так как с исчезновением этого движения исчезла и сама площадь. К тому же площадь утратила половину своей периметральной застройки, от чего стала напоминать в большей степени улицу. А вот улица Бутлерова, наоборот, перестала напоминать улицу, так как утратила традиционную уличную застройку и превратилась в подобие транспортного узла из-за примыкающей новой городской магистрали и образования сложного перекрёстка. В этом новом качестве участок улицы Бутлерова мог бы стать площадью, если бы была создана ансамблевость в застройке и композиционность в планировке, но этого как раз сделано и не было. Поэтому непонятная композиционная структура здания торгового центра от того, что не знает, как реагировать в новой градостроительной ситуации. С одной стороны главный вход ориентирован в сторону Пенсионного фонда и перед ним имеется такое же свободное место (в обоих случаях – это треугольные по очертанию площадки) как и перед фондом, но в обоих случаях они или пустуют, или используются под автопарковку. С другой стороны здание пытается сохранить старые планировочные границы площади и также имеет вход, но не акцентный. Так как перед ним располагается памятник Л. Н. Гумилёву, который начинает формирование пешеходной улицы (место расположения памятника соответствует тому месту, где раньше ещё была часть площади). Высота здания торгового центра со стороны площади и улицы Пушкина соответствует одному этажу. Это чрезвычайно мало для такого пространства и более того, не масштабно к существующему окружению. Заниженная высота входной части создаёт прецедент, когда пространство площади начинает визуально соединяться с новым пространством улицы

Бутлерова. Создаётся новая *пространственная реальность*, в которую стали попадать памятник Н. Вахитову и здание КФУ (бывший институт КФЭИ) на бутлеровском холме. К этим высотным акцентам надо добавить ещё и здание гостиницы «Грандотель Казань», построенная вместе с паркингом во второй очереди торгового центра. Что касается памятника, то он изначально проектировался в ситуации к улице, а не нового открытого пространства. Здание КФУ было построено в рамках реализации генплана 50-х годов и, благодаря своему расположению на верхней террасе холма, вообще планировочно не привязано к улице Бутлерова, скорее оно завершает геометрию самого холма, а потому градостроительно независимо [5]. Все высотные доминанты являются разнохарактерными, лишёнными общего композиционного замысла. Поэтому ожидать появление нового планировочного элемента города не приходится, тем более полноценной городской площади, как законченного архитектурного ансамбля. Складывается ощущение, что вся новая застройка должна была спасти положение только одного здания – это здание Пенсионного фонда, которое и спровоцировало данную ситуацию.

Если подвести предварительные выводы по данной ситуации, то следует признать, что, несмотря на масштабное строительство, город не приобрёл интересного архитектурного пространства в дополнение к уже существующим площадям. Более того, не решилась транспортная проблема (сквозной проезд по улице Тихомирова в сторону Профсоюзная – новая транспортная ось север-юг), а также не решилась проблема безопасного и комфортного пешеходного движения по всей этой территории. Утрата существовавшей ценной исторической застройки оказалось неоправданной, так как исчезла историческая преемственность в городской среде – в топонимике, в масштабности, в традициях. Городская среда потеряла ощущение эмоциональной комфортности, душевной привлекательности, а самое главное – преданности горожан своему городу. Другими словами исчез «дух места»[2]. Данный термин наилучшим способом характеризует отношение горожан к своему городу, роль и влияние городской застройки, ее состояние во времени и что приближает нас к пониманию значения исторической городской застройки и ее сохранению [6].

Большинство существующих городов стремится сохранить свое подлинное архитектурное своеобразие, исторические традиции, этнографическую принадлежность. Это естественно для исторических городов, и пример этому – города Европы, ставшие мировыми центрами туризма. Любое новое строительство в таких городах регламентируется, а именно: существуют ограничения по размерам, назначению, архитектурной стилистике. Новые сооружения должны дополнять и обогащать городскую среду, не нарушая привычного образа города, сохраняя комфортность жизни своих горожан [7].

Город уже имеет опыт исправления неудачных архитектурных проектов в историческом центре, особенно реализованных в советские годы, в частности на площади Свободы, застройка вдоль протоки Булак и другие. Массовым явлением была реконструкция фасадов типовых жилых домов (хрущёвок), находящихся в центральных районах города и явно выбивающихся из ансамбля старой застройки. Как правило, такому «исправлению» подлежат сооружения, не зависимо от своего функционального назначения, обладающие неубедительной архитектурной стилистикой, что потом подтверждается по истечении некоторого времени негативной оценкой, как специалистов, так и обычных горожан. При этом существует мнение, что «большинство крупных городов обладает уникальным свойством – «всеядностью». Со временем они «пожирают» и «переваривают» любые объекты. Отторжения довольно редки. При этом новые здания не всегда подчиняются окружению. В городской среде они могут как «лидировать», так и «диссонировать» [8]. Время является лучшим критерием оценки качества нового объекта, которое проверяет его на устойчивость в городской среде, адаптацию к менталитету горожан.

Новая городская администрация поставила перед архитекторами задачу разработать концепцию реконструкции торгового комплекса, в частности той части,

[2]«Дух места» представляет совокупность личностных ощущений и восприятий коллективного сообщества, проживающего, работающего и общающегося в данном месте, а не частичные знания или восприятие временных посетителей» (Бандарин Ф. 2013 г.) [6].

которая примыкает к площади Тукая. Концепция предполагает в какой-то степени восстановить статус-кво, а именно вернуться к историческому облику этой стороны площади Тукая. Хочется надеяться, что новое архитектурное решение будет более удачным, чем существующее. Чтобы площадь стала снова «старой» площадью необходимо дополнительно восстановить круговое автомобильное движение и зеленый сад в центре, тем более, что трамвайного движения больше нет. Тогда это ново-старое городское пространство станет снова «кольцом» и будет по прежнему носить статус центральной площади. Возможно, можно было бы избежать подобных градостроительных ошибок, если бы в городе существовали чёткие границы исторического наследия и буферных зон, которые регламентировали архитектурно-планировочные работы при реконструкции центра города [9].

В заключении следует отметить, что превентивная реконструкция – это явление не столь историческое, а более социально-политическое, во многом зависимое от состояния общества, от менталитета горожан. Во все времена у власти был соблазн увековечить своё присутствие, свою значимость – будь это античный Рим или современная Москва. Разные возможности диктуют и различный масштаб таких преобразований – от пробивки новых улиц до перестройки значительных территорий. А в результате в нашей истории остаются такие понятия как «сталинский классицизм», «хрущёвский практицизм», «лужковская Москва» [8]. Но говорить, что такая реконструкция явление отрицательное нельзя. При масштабных преобразованиях всегда могут быть ошибки. Главное эти ошибки вовремя исправить и при этом не забывать, что социальная активность горожан и развитость общественных институтов являются лучшим гарантом оценки качества изменений города.

Список библиографических ссылок

1. Гумилев Л. Н. От Руси до России: очерки этнической истории. М. : Айрис-пресс, 2007. 320 с.
2. Krier Leon. The Architecture of Community. Washington : Island Press, 2009. 243 p.
3. Надырова Д. А. Роль многофункциональных комплексов конца XIX-начала XX вв. в сохранении исторического облика улиц центра Казани : сб. научных трудов IV Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в 21 веке: сохранение, использование, популяризация» / КГАСУ. Казань, 2016. С. 135–139.
4. Саначин С. Экскурс в архитектурную жизнь советской Казани. Казань : Фолиант, 2014. 240 с.
5. Закирова Т. Р. Развитие градостроительной структуры города Казани с середины 1930-х до середины 1950-х годов // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31). С. 6–10.
6. Bandarin Francesco, Taylor K., Lennon J. From Paradox to Paradigm? Historic Urban Landscape as an urban conservation approach. Managing Cultural Landscapes. Charter 11. London. New York : Routledge, 2012. 56 p.
7. Мухитов Р. К. К проблеме сохранения исторического наследия города : сб. научных трудов III Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в 21 веке: сохранение, использование, популяризация» / КГАСУ. Казань, 2015. С. 91–95.
8. Лежава И. Г. От парадигмы современной архитектуры к приоритетам городской среды // Вестник архитектуры и урбанистики. 2012. № 2 (4). С. 76–82.
9. Martin O., Piatti G. World Heritage and Buffer zone. Paris: UNESCO, 2009. 47 p.
10. Фотографии из коллекции Степанова С. www. Sergei – 1956. livejournal.com.
11. 100 фотографий Казани, часть вторая. www. gelio.complexdoc.ru.

Muhitov R.K. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: mukhitov@list.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

«Preventive» reconstruction in Kazan

Abstract

Problem statement. The article reveals an actual problem for Kazan which is an assessment of the results of the extensive renovation that began in 2000-ies, in the central part of it.

Results. Not everything that was done today clearly had a positive impact on the city environment. The main task of any reconstruction is to improve the quality of streets, squares, etc. sites of the city. A special place is given to examples of changing city environment, resulting in unnecessarily changing parameters of streets, squares, scale buildings and complexes. We can consider such examples as the Central Square of Kazan (Tukaya Square) and adjoining streets, Butlerov, Petersburg. Decision-making on placing such large objects as RPF for the Republic of Tatarstan, trade and entertainment complex «Ring» was hasty, without a proper impact assessment, without taking into account the prospects of development and preservation of the historic environment.

Conclusions. As a result, the city has lost its architectural and town-planning appearance of Central Square, lost at all times the annular car traffic due to the building of the mall «Ring», allowing this area is popularly called «Ring».

Keywords: preventive reconstruction, the City environment, the spatial reality, square them. Tukaya, shopping and entertainment center.

References

1. Gumilev L. N. From RUS to Russia: Essays on ethnic history. M. : Airis press, 2007. 320 p.
2. Krier Leon. The Architecture of Community. Washington : Island Press, 2009. 243 p.
3. Nadirova D. A. The role of multifunctional complexes of the late 19th-early 20th centuries in preserving the historic appearance of the streets in the center of Kazan : proceedings of the IV international scientific-practical conference «Cultural heritage in the 21 century: the preservation, use and popularization» / KGASU. Kazan, 2016. P. 135–139.
4. Sanachin S. P. An excursion into the architectural life of the Soviet Kazan. Kazan : Folio, 2014. 240 p.
5. Zakirova T. R. Development of town-planning structure of the city of Kazan from the middle of 1930s to the middle of 1950s // Izvestiya KGASU, 2015. № 1 (31). P. 6–10.
6. Bandarin Francesco, Taylor K., Lennon J. From Paradox to Paradigm? Historic Urban Landscape as an urban conservation approach. Managing Cultural Landscapes. London. New York : Routledge. Charter 11, 2012. 56 p.
7. Muhitov R. K. To the problem of preserving the historic heritage of the city : proceedings of III international scientific and practical conference «Cultural heritage in the 21 century: the preservation, use and popularization» / KGASU. Kazan, 2015. P. 91–95.
8. Lezhava I. G. From the paradigm of modern architecture to the priorities of the urban area // Herald of architecture and urbanism. 2012. № 2 (4). P. 76–82.
9. Martin O., Piatti G. World Heritage and Buffer zone. Paris : UNESCO, 2009. 47 p.
10. Photographs from the collection of Stepanova. www. Sergei 1956. livejournal.com.
11. 100 photos of Kazan, part II. www. gelio.complexdoc.ru.

УДК 72.781; 94.47
Назарова И.В. – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: Nazarova7772@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К вопросу сооружения Тетюшского града XVI столетия

Аннотация

Постановка задачи. Целью статьи является проведение конструктивного анализа построения града Тетюш в Казанском крае XVI столетия.

Результаты. На основе историографических, археологических и архивных источников по Тетюшам исследовано древнее местоположение града, основные габариты крепостных стен и башен в древнерусской единице измерения – в саженях. Рассмотрены аналоги построения стен и башен городов-крепостей Московского государства XVI-XVII столетий. Для исследования привлечены следующие документы: Разрядные приказы и переписные книги XVII столетия по строительству русских городов (фонды РГАДА, ЦГАДА), Роспись по городам Среднего и Нижнего Поволжья 1704 г., Топографическое описание Симбирского наместничества XVIII века, Атлас городов наместничества Казанского 1789 года.

Выводы. Комплексный анализ имеющихся источников позволил определить наличие трёхчастной структуры Тетюшского града (крепость – посад – слободы). Гипотетически установлено: полигональная планировочная конфигурация крепости, обусловленная топографическим положением; конструктивная структура «стоячего острога» городских укреплений; конструктивная структура рубленых упрочений посада; «венцовая» – ряжевая структура четырёхгранных башен.

Ключевые слова: Тетюши, Тетюшская черта, конструктивный анализ, деревянные стены, деревянные башни, ряжевая конструкция, сажень.

Град Тетюши возник на территории Казанского края в 60-80 годах XVI столетия (1558-1578 гг.) в качестве одного из сторожевых городов Русского государства на присоединённых территориях. Согласно статистическим сведениям о городах и селениях Казанской губернии конца XIX века, ранее здесь находился булгарский город Темтюзи [1-2]. Тетюши входили в систему первой оборонительной Карлинской черты, возведённой Русским государством в 60-80 годах XVI века на землях бывшего Казанского ханства для защиты от вторжения ногайцев, калмыков и крымских татар. Оборонительная линия начиналась от Тетюш, проходила вдоль южного берега реки Карлы к городам-крепостям Алатырь, затем к Арзамасу и Темникову [3]. О древнем происхождении Карлинской черты имеются различные сведения. По одной из версий линия предохраняла владения булгарского князя, по иной – ногайского [4]. В «Топографическом описании Симбирского наместничества» 80-х годов XVIII века указываются земляные укрепления Карлинкого вала, сооружённые намного ранее взятия Казани ввиду «отделённого от Золотой Орды одного владельца, который в сих местах особое свое от казанских царей имел владение…». Здесь располагались ногайские могилы, поэтому «вся сия сторона Ногайскою прозывается и поныне…» [5]. Впоследствии, во второй половине XVI столетия части вала были упрочены русскими переселенцами и объединились в единую Карлинскую засеку от Тетюш до Темникова [6].

Археологические данные также сообщают о древнем происхождении града Тетюш и его предместий. Здесь располагались укреплённые городища и поселения именьковского и булгарского периодов [7].

Тетюшский град русского периода по описанию Адама Олеария располагался в 120 верстах от Казани на возвышенном месте и «по склону его». Состоял «из разбросанных домов и церквей, весь построен из дерева и вместо стены окружён частоколом» (рис. 1), [8]. Согласно росписи 1704 г. по городам Среднего и Нижнего Поволжья, Тетюшский град был «мерою в круг 380 сажень, в вышину от земли две сажени без четверти. На нем

две башни. Башня в круг двенатцать сажень с аршином, в вышину пять сажень. Башня к Волге реке в круг двенатцать же сажень с аршином же, в вышину трех сажень…» (РГАДА, ф. 396, оп. 3, д. 3, л. 28-38) [9]. В годы построения Тетюш (1558-1578 гг.) возле города было возведено сторожевое укрепление, части которого сохранялись и в конце XIX века [10] (рис. 1).

Рис. 1. Тетюши с гравюры Адама Олеария 1636 г.

Переводя указанные в росписи общие размеры Тетюш в нынешнюю систему мер, мы обладаем данными в 809,4 м, так как с 1643 года для составления чертежей и сметных росписей Московским государством была установлена единая «государева сажень» в три аршина, т.е. 2,13 м (380×2,13 = 809,4) [11, с. 15]. Поэтому, есть основание полагать о применении именно такой сажени, несмотря на то, что в древнерусской системе мер использовались и другие сажени, например мерная маховая сажень (176,4 см) или великая косая сажень (249,5 см). По всей видимости, в документе указан периметр городских укреплений, что было свойственно для «росписных» свидетельств того времени, перечислявших «длинник» стен. Крупные города Московского государства XVI-XVII столетий имели периметр укреплённой части от 1000 до 1500 саженей и более (Тула, Свияжск, Троицк, Острогожск, Тобольск, Тюмень и др.). Грады среднего размера имели «длинники» стен от 500 до 700 саженей (Цивильск, Красный Яр, Красноуфимск и др.) [11, с. 20-21, 41]. Тетюши также имели немалую протяжённость укреплений, высота которых, судя по имеющимся данным, составляла около четырёх метров. Такой высоты (от двух до трёх саженей) сооружались тыновые укрепления в русских городах-крепостях. Упрочения частоколом (тыном) в большинстве применялись для оберегания посадских территорий. Однако нередко подобные укрепления применялись и для ограждений городов XVI-XVII веков (Курмыш, Самара, Царицын, Тальск, Братск и прочие) [12]. Тыновая конструкция городских стен могла сочетаться с элементами срубной конструкции. Например, с внутренней стороны крепости, к тыну примыкали поперечные рубленые стены, поверх которых размещался настил. Или к частоколу примыкали срубные клети, заполненные землёй и камнями с подобным верхним расположением настила. Данный тип городских стен назывался в XVII веке «стоячим острогом» или «косым острогом», если тыновые стены имели уклон в сторону ограждаемого пространства [13, с. 14; с. 100] (рис. 2). Так, разрядные документы XVII века по строительству города Козлова сообщают: «… городские укрепления рубили стоячи тыном, то есть по острожному, но кровля и мосты у острога были по городовому с обламами…» [15]. Картограф Семён Ремезов, составивший в 1701 г. «Чертёжную книгу Сибири» с изображениями укреплённых русских городов, также называл крепости ограждённые тыном – острогами. При этом количество башен тыновых острогов не превышало четырёх вежей [14, с. 96-99]. Опираясь на письменные и графические источники по Тетюшам, вероятно именно такие стены из частокола имел и Тетюшский град (острог) с двумя башнями. Периметр каждой из башен составлял чуть более 26 м (12×2,13 = 25,56 + аршин 0,72 м), тогда как высотные параметры вежей разнились. Высота башни «к Волге реке» составляла 6,39 м (2,13×3), величина другой была 10,65 м. (2,13×5). Тем самым можно предположить наличие не менее двух ярусов в башне у Волги и не менее трёх ярусов в конструктивном построении другой башни (с учётом высоты

традиционного шатрового покрытия башен). Подобные двухъярусные башни обычно возводились при невысоких крепостных стенах городов или при тыновых укреплениях [14, с. 114] (рис. 3).

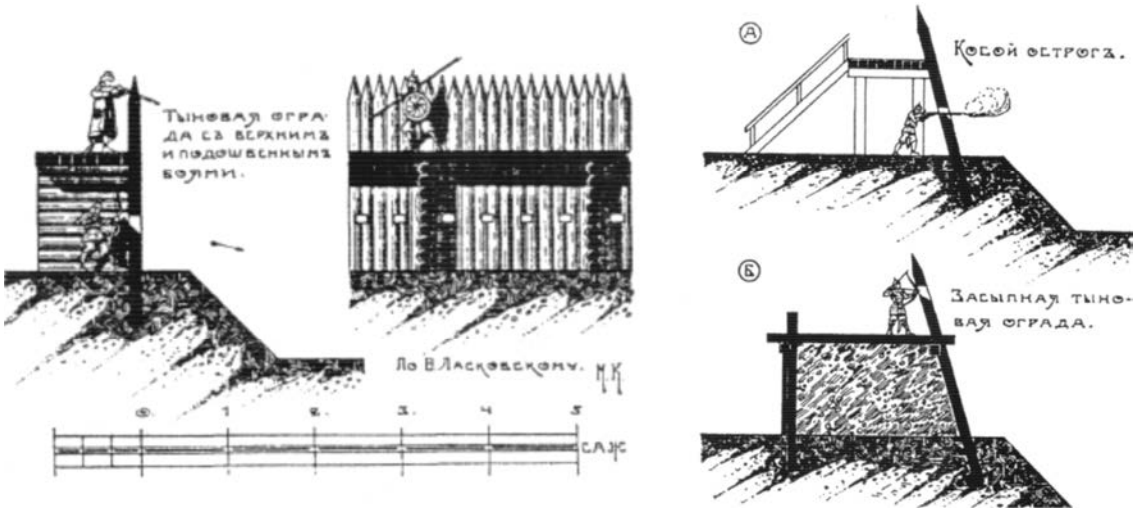


Рис. 2. Тыновая конструкция городских стен с элементами срубной конструкции (из книги М. Красовского «Энциклопедия русской архитектуры»)

Высота рубленых стен в русских городах-крепостях XVI-XVII вв., как правило, составляла около или чуть более трёх саженей, высота тыновых стен в основном не превышала двух саженей. Деревянные вежи возводились различной высоты от 3 до 14 саженей (башни крепостей Олонца, Илимска, Мангазеи, Братска, Красноярска и др.) Высотные габариты вежей обуславливались их функциональным назначением. Закономерна наибольшая величина проездных башен с дозорными вышками. Порой, вместе с оборонительной функцией башни сочетали хозяйственное и культовое назначение (расположение амбаров и часовен) [13, с. 16, 19, 21, 85, 121].

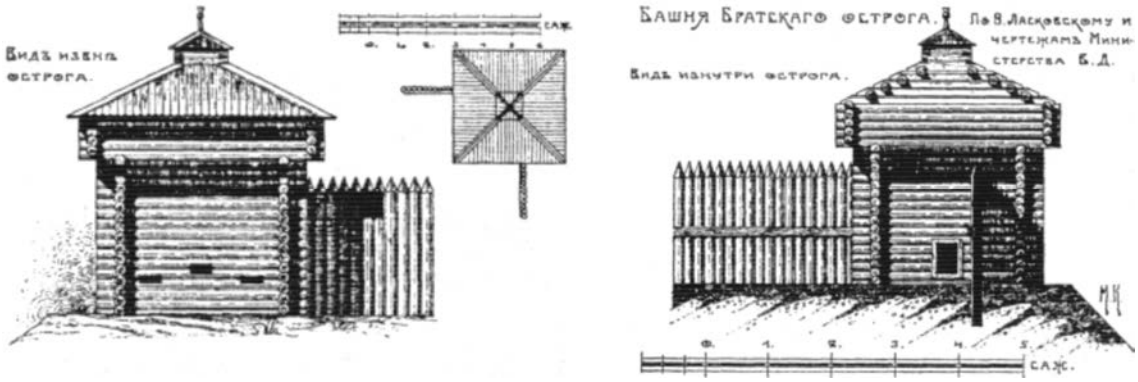


Рис. 3. Башня с примыкающими тыновыми стенами (г. Братск 1631 г.) (из книги М. Красовского)

О Тетюшских вежах источники не дают подробных сведений, но, по всей видимости, либо обе башни, либо одна из них являлись проездными, так как переписная книга 1656-1657 гг. по городу Тетюши упоминает двое ворот, соединённых улицей: «От Троицких ворот по большой улице к вотским воротам дворы всяких людей». Вместе с тем, в книге указывается: «В стороне ж Большом от Троицких ворот направо острожные стены и подле рву…дворы» [16]. Возможно, речь идёт о сторожевом посадском укреплении возле города, которое изображено на гравюре Олеария 1636 г. [17-18]. Согласно царским наказам XVI-XVII вв. градостроителям поручалось возводить дополнительные упрочения вблизи градов. При смене воевод в городах отмечалось сколько «около острогу рвов и иных каких крепостей…» [13, с. 35]. В наказе о

строительстве Царёва-Борисова конца XVI в. предписано: «…Меж нового города и меж лесов и рек крепости учинить…» [11, с. 43]. Тетюшские сторожевые укрепления около города, как видно на изображении, имели рубленые стены, вероятно устроенные «городнями[1]». Четырёхгранные башни «венцовой» структуры, перекрытые колпаком, занимали выступающее положение относительно стен. Вежи четвериковой конструкции с «кубоватым» покрытием нередко возводились в деревянных крепостях рассматриваемого периода. «Кубоватые» деревянные покрытия – это четырёхгранные завершения, венчающие квадратный в плане сруб. Аналогичное построение имела башня города Торжка, изображённая Э. Пальмквистом во второй половине XVII века и башня города Братска этого же периода [19-20]. Конструкции таких завершений могли быть либо стропильными, либо «венчатыми» – рубленными (ряжевыми), характерные не только для оборонительной архитектуры, но и для домовых и культовых построек русских городов [21-25]. Вполне вероятно, что указанные в росписи, две башни Тетюшского города имели типичную четырёхгранную структуру, аналогичную вежам в сторожевом укреплении около Тетюш. Типизация городского строительства Московского государства определялась применением установленных планировочных типов крепостей, «образцов» башен, стен и рвов. Так, наиболее оптимальной планировочной формой крепостей являлась прямоугольная конфигурация. Но в силу влияния конкретной топографической ситуации многие крепости приобретали переходные планировочные формы от правильных планов ближе к полигональным очертаниям. Опираясь на более поздний сохранившийся план Тетюш 1789 г, надо полагать, что Тетюшский город XVI-XVII столетий имел либо полигональные формы, либо близкие к неправильным очертания укреплений (рис. 4).

Рис. 4. План города Тетюши. «Атлас городов наместничества Казанского» 1789 г.
(из книги А.Н. Зорина «Города и посады дореволюционного Поволжья»)

Итак, используя немногочисленные сведения *о сооружении укреплений Тетюшского града XVI столетия, можно гипотетически предположить* о наличии трёхчастной структуры города, состоящей из крепости, посада и слобод. Топографическая ситуация определила расположение крепости на возвышенном месте недалеко от реки Волги. По мере уклона разместились посад и слободы. Сложение полигональной конфигурации крепости было также обусловлено характером местности. Городские укрепления имели конструкцию «стоячего острога», вероятно с примыкающей срубной конструкцией. Посадские упрочения обладали рублеными стенами. Стены

[1]Венец – горизонтальный ряд из четырёх брёвен, соединённых в углах врубками. Городни – стена из нескольких плотно присоединяющихся срубов, засыпанных землёй и камнями.

города и посада сочетались с четырёхгранными башнями «венцовой» структуры, перекрытых «кубоватым» завершением.

Список библиографических ссылок

1. Приволжские города и селения в Казанской губернии. Казань: Издание Казанского губернского статистического комитета, 1892. 197 с.
2. Неволин К. А. Полное собрание сочинений. Т. 6. СПб. : Типография Э. Праца, 1859. 86 с.
3. Ахмадуллин Ш. А. Буинск: Страницы истории. Казань : Татарское книжное издательство, 1991. 7 с.
4. Поливанов В. Н. Археологическая карта Симбирской губернии. Симбирск : Типолитография А. Т. Токарева, 1900. 40 с.
5. Топографическое описание Симбирского наместничества // ГАУО, Ф. 69. Оп. 1. Д. 12. Л. 225.
6. Ахметзянов И. Буинские просторы. Казань : Татарское книжное издательство, 2000. С. 39-41.
7. Калинин Н. Ф., Халиков А. Х. Итоги археологических работ за 1945-1952 гг. Казань : Таткнигоиздат, 1954. 68 с.
8. Назарова И. В. Архитектура Волго-Камских крепостей XVI-XVII веков. Основные принципы построения, типология. Саарбрюккен : Международное издательство LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 50 с.
9. Мустафина Д. А. Крепостные сооружения в городах Казанского края в конце XVII века // Эхо веков. 2006. № 2. С. 41.
10. Энциклопедия – Уездный город Тетюши. Энциклопедия Брокгауза Ф. А. и Ефрона И. А. // TETUSHI.RU : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: http://www.tetushi.ru/encyclopedia.html (дата обращения: 11.01.2017).
11. Гуляницкий Н. Ф. Градостроительство Московского государства XVI-XVII веков. М. : Стройиздат, 1994. 316 с.
12. Nossov K. Russian Fortresses 1480-1682. New York : Bloomsbury Publishing, 2012. 5 p.
13. Крадин Н. П. Русское деревянное оборонное зодчество. М. : Искусство, 1988. 192 с.
14. Красовский М. Энциклопедия русской архитектуры. Деревянное зодчество. СПб. : Сатись, 2005. 384 с.
15. Разрядные документы по строительству города Козлова. Разрядный приказ, Белгородский стол // ЦГАДА, Ф. 210. Стлб. 201. Л. 190.
16. Поместный Приказ // РГАДА, Ф. 1209. Опись 1. Ед. хр. 6479. Л. 1, 7.
17. Elio Brancaforte. Visions of Persia: mapping the travels of Adam Olearius. Cambridge Mass : Harvard University Press, 2003. 336 p.
18. Adam Oleary. Travels of the Ambassadors sent by Frederic, Duke of Holstein, to the Great Duke of Muscovy and the King of Persia. London, 1662.
19. Ополовников А. В. Русское деревянное зодчество. М. : Искусство, 1986. С. 9, 254-255.
20. Eric Palmkvist. Several remarks on Russia, her roads, strengthening and borders. Stockholm, 1674.
21. Brumfield W. C. Architecture at the end of the earth. London: Duce university press, 2015. 190 p.
22. William Craft Brumfield. New directions in Russian Orthodox Church architecture at the beginning of the twentieth century // Humanities Social Sciences. 2016. № 1 (9). P. 25, 27.
23. William Craft Brumfield. A History of Russian Architecture. London : University of Washington Press, 2010. 80 p.
24. Richard Davies. Wooden Churches – Travelling in the Russian North. London : White Sea Publishing, 2011. 256 c.
25. Khodakovsky E. Wooden church architecture of the Russian north. Regional schools and traditions (14^{th}-19^{th} centuries). New York: First published, 2016. 192 p.

Nazarova I.V. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: Nazarova7772@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the question of the construction of the Tetyushi city of the XVIth century

Abstract

Problem statement. The purpose of the article to make the constructive analysis of the creation of the city of Tetyushi in the Kazan region in the 16th century.

Results. Historical, archaeological and archival sources about Tetyushi are used, the main sizes of fortifications and towers in old Russian measurement – in fathom are studied. The analogs of creation of walls and towers of the Moscow cities of the 16-17th centuries are studied. Documents are used: ancient books of the 17th century about the construction of the Russian cities (funds of the Russian State Archive of Ancient Documents, the funds of the Central State Archive of Ancient Documents), List of cities of the Middle and Lower Volga in 1704 year, the Topographical description of the Simbirsk region of the 18th century, the Atlas of the cities of Kazan governoship of 1789.

Conclusions. The complex analysis of sources has allowed to define three parts of the Tetyushi city (fortress – small fortress – the village). It is established: polygonal plan of the fortress, conditioned by topographical position; constructive structure of «standing prison» of the city fortifications; constructive structure of chopped suburb fortifications; «crowened» – timber blocking structure of the tetrahedral towers.

Keywords: Tetyushi, Tetyush line, constructive analysis, wooden walls, wooden towers, timber blocking construction, fathom.

References

1. The Volga cities and settlements in the Kazan province. Kazan : Publisher Kazanskogo gubernskogo statisticheskogo komiteta, 1892. 197 p.
2. Nevolin K. A. Complete works. T. 6. SPb : Tipografija Je. Praca, 1859. 86 p.
3. Ahmadullin Sh. A. Buinsk: Pages of history. Kazan : Tatarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1991. 7 p.
4. Polivanov V. N. Archaeological map of the Simbirsk province. Simbirsk : Tipolitografija A. T. Tokareva, 1900. 40 p.
5. Topographical description of the Simbirsk namestnichestvo // GAUO, F. 69. Op. 1. D. 12. L. 225.
6. Ahmetzjanov I. Buinsky places. Kazan : Tatarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 2000. P. 39-41.
7. Kalinin N. F., Halikov A. H. Results of archaeological works of 1945-1952. Kazan : Tatknigoizdat, 1954. 68 p.
8. Nazarova I. V. Architecture of the Volga-Kama fortresses of the 16-17th centuries. Basic principles of construction, typology. Saarbrucken : Mezhdunarodnoe izdatelstvo LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 50 p.
9. Mustafina D. A. Fortifications in the cities of the Kazan region at the end of the 17th century // Jeho vekov. 2006. № 2. 41 p.
10. Encyclopedia – District city of Tetyushi. Brockhaus F. A. encyclopedia. and Efron I. A. // TETUSHI.RU : daily. internet-edit. 2010. URL: http://www.tetushi.ru/encyclopedia.html (reference date: 11.01.2017).
11. Guljanickij N. F. Town planning of the Moscow state of the 16-17th centuries. M. : Strojizdat, 1994. 316 p.
12. Nossov K. Russian Fortresses 1480-1682. New York : Bloomsbury Publishing, 2012. 5 p.
13. Kradin N. P. Russian wooden defensive architecture. M. : Iskusstvo, 1988. 192 p.
14. Krasovskij M. Encyclopedia of the Russian architecture. Wooden architecture. SPb. : Satis, 2005. 384 p.

15. Bit documents on city building of Kozlov. Bit order, Belgorod desktop // CGADA, F. 210. Stlb. 201. L. 190.
16. Local Order // RGADA, F. 1209. Op. 1. Ed. hr. 6479. L. 1, 7.
17. Elio Brancaforte. Visions of Persia: mapping the travels of Adam Olearius. Cambridge Mass : Harvard University Press, 2003. 336 p.
18. Adam Oleary. Travels of the Ambassadors sent by Frederic, Duke of Holstein, to the Great Duke of Muscovy and the King of Persia. London, 1662.
19. Opolovnikov A. V. Russian wooden architecture. M. : Iskusstvo, 1986. P. 9, 254, 255.
20. Eric Palmkvist. Several remarks on Russia, her roads, strengthening and borders. Stockholm, 1674.
21. Brumfield W. C. Architecture at the end of the earth. London: Duce university press, 2015. 190 p.
22. William Craft Brumfield. New directions in Russian Orthodox Church architecture at the beginning of the twentieth century // Humanities Social Sciences. 2016. № 1 (9). P. 25, 27.
23. William Craft Brumfield. A History of Russian Architecture. London : University of Washington Press, 2010. 80 p.
24. Richard Davies. Wooden Churches – Travelling in the Russian North. London : White Sea Publishing, 2011. 256 p.
25. Khodakovsky E. Wooden church architecture of the Russian north. Regional schools and traditions (14^{th}-19^{th} centuries). New York : First published, 2016. 192 p.

УДК 726:72.007
Новиков С.В. – ассистент
E-mail: to-stepa@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Особенности творческого метода гражданского инженера, епархиального архитектора Ф.Н. Малиновского

Аннотация

Постановка задачи. Данная статья является первой попыткой системного анализа творческого метода гражданского инженера, епархиального архитектора Казанской губернии Ф.Н. Малиновского. Актуальность работы обусловлена продуктивностью творческой деятельности и высоким качеством проектов данного архитектора. Теоретико-методологические знания о творческом методе архитектора Ф.Н. Малиновского могут дать уникальную возможность применения их в современной проектной и реставрационной практиках, а также открыть новые горизонты в научной и просветительской деятельности.

Результаты. В ходе исследования выявлено, что на становление творческого метода гражданского инженера Ф.Н. Малиновского повлиял ряд различных историко-архитектурных факторов: активное формирование новых тенденций в развитии российской архитектуры рубежа XIX-XX вв.; становление проектных подходов в инженерно-архитектурном образовании данного периода; социально-экономические особенности проектирования в провинциальных условиях;

Данным исследованием установлено, что основной чертой творческого метода Ф.Н. Малиновского являются проектные приёмы, свойственные периоду эклектики и основанные на взаимодействии подробного изучения исторической архитектуры в сочетании её с современными технологическими и инженерными новшествами.

Выводы. Полученные данные исследования дают полноценную картину об особенностях творческого метода гражданского инженера Ф.Н. Малиновского, позволяют подробно изучить и проанализировать его творческое наследие и оценить вклад архитектора в развитие отечественной и региональной архитектуры.

Ключевые слова: Ф.Н. Малиновский, творческий метод, епархиальный архитектор, гражданский инженер, «национальное направление» в русской архитектуре эклектики, архитектурная практика на рубеже XIX-XX вв.

Архитектурное творчество и творческий метод архитектора в любую эпоху остается основополагающим в развитии архитектурной мысли. На творческий метод архитектора в первую очередь влияют факторы, связанные с историко-архитектурным контекстом эпохи, к которой принадлежит его творчество, а также личные предпочтения мастера. Понимание творческого метода архитектора, подробное изучение его объектов позволяет понять особенности проектного дела и уровень развития архитектуры на период его работы.

Актуальность исследования творческого метода Ф.Н. Малиновского, работавшего на рубеже XIX-XX вв. важна по ряду причин: во-первых, для осмысления архитектуры периода эклектики России в целом и особенностей «национального направления» в рамках эклектики; во-вторых, для выявления вклада Ф.Н. Малиновского в становлении Казанской архитектурной школы. Наконец, теоретико-методологические знания могут дать уникальную возможность их применения в современной проектной и реставрационной практиках. Завершённое и оформленное данное исследование может стать настольной книгой для архитекторов, работающих с обширным наследием мастера, проектирующих культовую архитектуру или продвигающих вновь набирающее обороты «национальное направление» в архитектуре. Полученные знания о творческом методе архитектора Ф.Н. Малиновского открывают новые горизонты в научной, просветительской и экскурсионной сферах деятельности.

В данной статье разобраны творческий метод Ф.Н. Малиновского, сформированные на фоне **историко-архитектурного контекста эпохи эклектики**. Для начала определим, какие историко-архитектурные факторы повлияли на становление творческого метода гражданского инженера, из них можно выделить следующие:

– Развитие архитектуры России рубежа XIX-XX вв. Архитектурные тенденции данного периода заключались в развитие «национального русского направления», завершающего период эклектики в архитектуре. В это же время происходит возрождение романтического мировоззрения, в результате которого в культуре России возник символизм. В области архитектуры наблюдается попытка ухода от эклектики и создание нового стилевого направления, которое в России теперь именуется модерном. Переход от эклектики к модерну характеризуется богатством стилевых и идеологических вариаций, творческим поиском в создании «новой архитектуры» и, в связи с этим, особенно в провинции, сложно прослеживается так называемый «чистый стиль». Также на рубеже веков своего максимального развития достигает культовое строительство, что влечет к возникновению во многих губерниях должности епархиального архитектора. В 1894 году Ф.Н. Малиновского назначают на должность первого епархиального архитектора Казанской губернии (официально должность введена в Казанской губернии с 10 января 1895 г.), в которой он работает вплоть до 1911 года [4]. В это время под его началом ведется строительство множества культовых построек по всей обширной территории Казанской епархии. По многим объектам работы ведутся параллельно по подобным проектам. В результате Ф.Н. Малиновский разрабатывает типовые проекты культовых, жилых и общественных зданий, которые в большом количестве реализует по всей территории епархии с незначительными изменениями в формообразовании и деталировки архитектуры.

– Развитие архитектурно-строительной науки и образования в России рубежа XIX-XX вв. Большое влияние на становление творческого метода мастера оказало инженерно-архитектурное образование, которое Ф.Н. Малиновский получил в стенах Петербургского института гражданских инженеров (1881-1887 гг.). Институт гражданских инженеров после Академии художеств был вторым по значимости среди высших учебных заведений по подготовке архитекторских кадров Российской империи. В отличие от Академии художеств, Институт давал не только архитектурно-художественное образование, но, в первую очередь, инженерно-техническое, что делало выпускников уникальными и незаменимыми специалистами в период бурно развивающейся строительной и промышленной индустрии в Российской империи. Инженерное образование отвечало требованиям научно-технического прогресса начала XX века и достойно приняло новые вызовы в сфере строительства крупных сооружений и новых типов зданий. Инженерные знания позволяли зодчим новаторски подходить к инженерно-техническому оснащению своих объектов, как и с точки зрения конструкций, так и использованию современных материалов.

– Экономическое и территориальное развитие России рубежа XIX-XX вв. Важным фактором, повлиявшим на становление творческого метода и особенностей авторского почерка гражданского инженера, являются региональные особенности губерний, в которых работал Ф.Н. Малиновский. Они связаны как с социально-экономическими условиями работы в провинции и запросами местного населения, так и с особенностями регионов разных по своей культуре, этнографии, морфологии и других культурологических аспектов, влияющих на местную архитектуру. Работа в конкретных регионах несла стилевые особенности, связанные с «национальным направлением» в эклектике – так во многих проектах Ф.Н. Малиновского мы видим отражение региональной культуры в формообразовании архитектуры здания. Технические знания гражданского инженера были востребованы в расширении и реконструкции исторических объектов, примером может послужить большое количество старинных храмов Казанской епархии, реконструируемых по проектам Ф.Н. Малиновского.

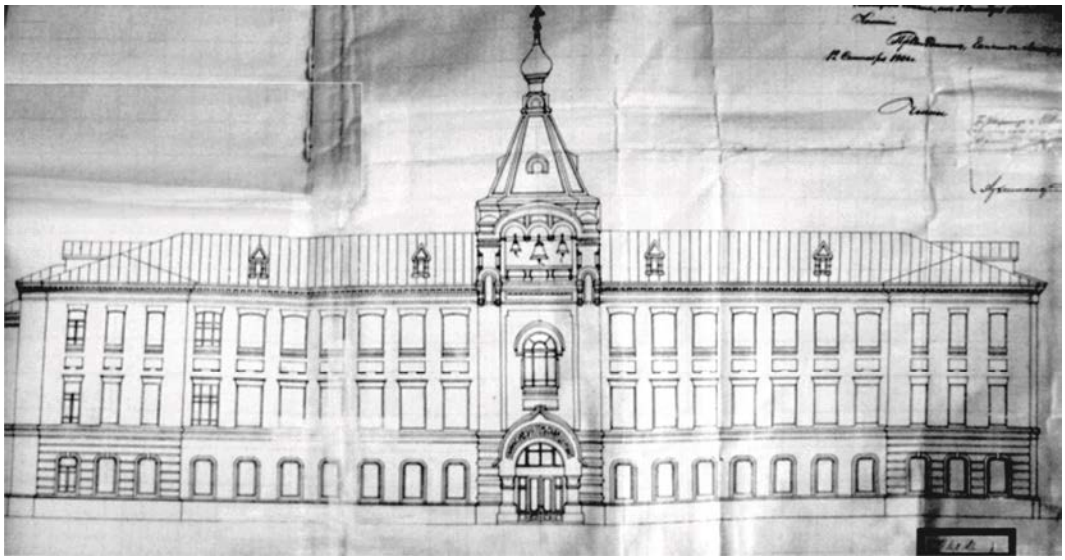
На основе вышеперечисленных факторов и проведённом анализе архитектурного и проектного наследия архитектора Ф.Н. Малиновского автором впервые выявлены особенности творческого метода мастера, которые представлены в следующем тезисе:

Творческий метод – это совокупность внешних историко-культурных обстоятельств и шагов архитектора, направленных на достижение определённых

творческих целей и поставленных задач, с помощью приобретенных навыков, знаний и умений. Основной чертой творческого метода гражданского инженера Ф.Н. Малиновского являются проектные приёмы, характерные для периода эклектики, которые основаны на взаимодействии подробного изучения исторической архитектуры и сочетания её с современными технологическими и инженерными новшествами.

В результате исследования можно выделить **ряд архитектурных подходов и приёмов, характеризующие метод проектирования** Ф.Н. Малиновского:

– Использование принципа проектирования ***«снаружи внутрь» и «изнутри наружу»*** в культовых и крупных общественных сооружениях. Принцип «снаружи внутрь» проявляется в постройках Ф.Н. Малиновского, где архитектор стремится достичь грандиозности в своих объектах через симметрию фасадов, что отражается и планировке здания, например: Троицкий собор в Лаишево (1901-1906 гг.), церковно-учительская школа в Казани (1906 г.), ныне здание находиться в заброшенном состоянии (рис. 1).



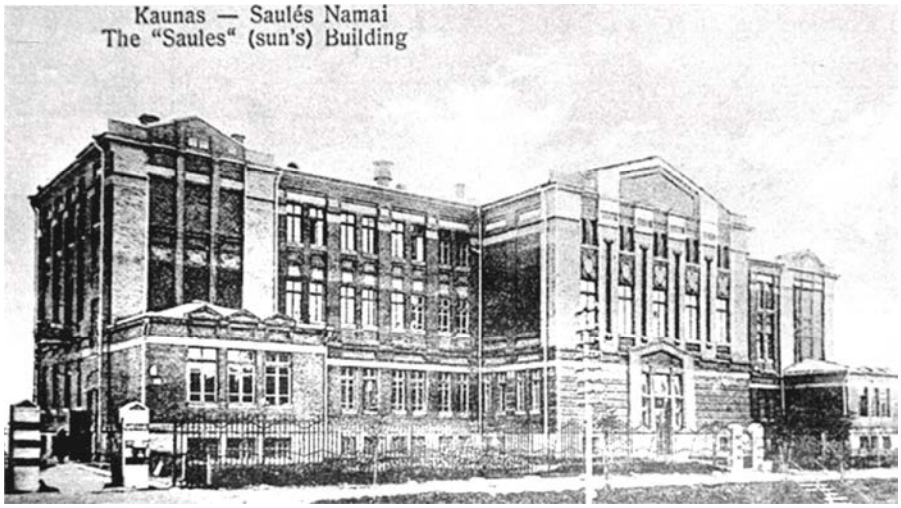
а)

б)

Рис. 1. Главный фасад здания церковно-учительской школы:
а) Проект главного фасада, выполненный арх. Ф.Н. Малиновским в 1905 г. [9];
б) На сегодняшний день, здание школы находиться в удовлетворительном состоянии, утрачено завершение колокольни, фото 2016 г.

Принцип «изнутри наружу» у Ф.Н. Малиновского проявляется в приоритете функции здания, которая отражается в композиции и пластике фасадов. Этот принцип в творчестве Ф.Н. Малиновского прослеживается реже. Как правило, асимметричность в постройках мастера проявляется лишь в нюансных отхождениях в планировочной структуре, иногда в фасадах, например, главный корпус обсерватории Энгельгардта (1899-1901 гг.);

– **Приём *«крупномасштабность и парадность»*** в объектах Ф.Н. Малиновского прослеживается практически во всех основных работах мастера, особенно в храмовой архитектуре – например, церковь во имя Казанских святителей Гурия, Варсанофия и Германа (1909 г.) в г. Казани; храм Александра Невского в с. Тогаево (1911-1915 гг.). К парадности Ф.Н. Малиновский стремится и в проектировании общественных учреждениях – например, здание гимназии Саулес в г. Каунасе (1912 г.) (рис. 2.) и здание церковно-учительской семинарии в г. Казани (1906 г.)[1].



а)

б)

Рис. 2. Гимназия Саулес, г. Каунас Литва, арх. Ф.Н. Малиновский:
а) Историческое фото нач. XX в.; б) Перестроенное здание гимназии, фото 2012 г. [11]

Столичный масштаб и грандиозность архитектуры, доминирование помпезного «русского стиля» в оформлении фасадов позволяли постройкам Ф.Н. Малиновского выглядеть более выразительно и впечатляюще, чем окружающая средовая застройка, что, безусловно, выделяло архитектуру мастера, а также придавало архитектурной среде поселений новое звучание. Так, в Казани, здания, построенные по проектам Ф.Н. Малиновского, своим укрупнённым масштабом и строго выверенной декоративной пластикой фасадов до сих пор воспринимаются как образец высококачественной столичной архитектуры – например, женское епархиальное училище, ныне средняя общеобразовательная школа № 18 (реконструкция 1899-1900 гг.).

[1]Сегодня бывшее здание церковно-учительской школы никак не эксплуатируется и находится в глубине дворов по ул. Декабристов, д. 172, здание является выявленным объектом культурного наследия.

– **Приём *«периметральности застройки»*** отведённого участка под строительство – Ф.Н. Малиновский рационально использует отведённый под строительство участок, максимально фиксируя квартал возводимым объектом, например: студенческое общежитие Казанского императорского университета (1900-1903 гг.). Также располагает объекты по красной линии, фиксируя территорию вспомогательными хозяйственными постройками или оградой;

– **Приём *«градостроительная доминанта и силуэтность»***. Большинство культовых объектов построенных Ф.Н. Малиновским формируют или формировали панорамы и силуэты населённых пунктов, в которых они были построены. Расположение зданий-доминант в сельских поселениях имеет важное, и даже основополагающее градостроительное значение, но и в крупных городах объекты Ф.Н. Малиновского являются локальными доминантами и пространственными ориентирами – например, храм Александра Невского в Твери (воссоздан в 2015 г.) (рис. 3.), Варваринская церковь в Казани (реконструкция 1908 г.).

а) б)

Рис. 3. Храм Александра Невского в г. Тверь:
а) Историческая фотография рубежа XIX-XX вв.;
б) Храм был утрачен в советское период и сегодня воссоздан полностью, фото август 2015 г.

– Приём *«стилевая доминанта»*. Постройки Ф.Н. Малиновского выделяются в архитектурной среде поселений не только объёмно-пространственной композицией, но и декоративным решением фасадов, в котором он в основном использовал соединение разных стилей. Примером может послужить собор «Всех Скорбящих Радость» в Иоанно-Предтеченском монастыре Свияжска (1898-1906 гг.): краснокирпичный, богатый по пластике собор выполнен в неовизантийском стиле на контрасте с деревянной Троицкой церковью и белокаменным храмом Сергия Радонежского.

– *«Инженерно-технологический подход»* в проектировании и строительстве**.** Инженерно-технологические знания, которыми обладал гражданский инженер, позволяли ему виртуозно сочетать стилевые особенности с современными объёмно-конструктивными решениями. В частности, реконструкция Троицкого собора в Раифском монастыре Казанской епархии поражает своим конструктивным решением освобождения внутреннего пространства от опор (рис. 4 а, б) [7]. Инженерный подход и знания современных материалов позволяли мастеру создавать грандиозные, помпезные здания с большим запасом конструктивной прочности. При создании высокопрочных крупнопролётных конструкций Ф.Н. Малиновский использует такие материалы как железобетон, цемент, металл и красный кирпич, что ещё раз подтверждает владение мастера современными знаниями и технологиями своей эпохи. Интересный факт технической просвещённости Ф.Н. Малиновского открылся при реставрации собора «Всех Скорбящих Радость» в Свияжске в 2012-2013 гг. – выяснилось, что живопись для

куполов храма была выполнена на линолеуме (изобретён в начале XX века), который считался дорогим «модным» материалом для строительства[2] (рис. 4. в, г) [1].

Рис. 4. Троицкий собор в Раифском монастыре под Казанью, фото январь 2017 г.:
а) внешний вид собора; б) Интерьер собора.
Собор «Всех Скорбящих Радость» в Иоанно-Предтеченском монастыре в Свияжске фото 2016 г.:
в) внешний вид собора; г) Интерьер собора».

– ***«Стилистический и историко-художественный подходы»*** в реконструкции памятников древности. По роду своей службы Ф.Н. Малиновский реконструировал ряд объектов, в которых проявил себя высококлассным инженером и архитектором. В некоторых объектах при реконструкции и расширении Ф.Н. Малиновский использовал стилизаторский подход и полностью менял внешний вид исходного здания – например, Троицкий собор в Раифском монастыре под Казанью (1894-1895 гг.). В ряде других объектов мы видим, как Ф.Н. Малиновский использует историко-художественный метод, где стилистически выделяет только достроенные объёмы к существующему зданию – например, паперть и церковный комплекс объектов Успенского храма в Чебоксарах (выстроены 1895 г., на сегодняшний день полностью утрачены) [8]. Есть единичные

[2]В ходе реставрации собора в 2012 году использование линолеума получил множество нареканий от художников-реставраторов, так как живопись на нём практические не подвергается реставрации и сложно сохраняема. Сегодня нам интересен сам факт использования линолеума в качестве холста под живопись. Предполагается, что живописные работы выполнялись не в самом храме, а в мастерских, а уже потом линолеумы привозились и крепились на своды храма. Сейчас три линолеума с живописью Скорбященского собора хранятся в музее-заповеднике «Остров-град Свияжск».

примеры, где реконструкция здания проводится в стилистике эпохи постройки – например, церковь в селе Кокрять Ульяновской области (реконструкция 1896 г.).

Заключение

Вышеперечисленные подходы и приёмы творческого метода Ф.Н. Малиновского, выраженные в формообразовании и стилистических особенностях его построек, сделали архитектуру мастера узнаваемой. По выявленным характерным стилевым и объёмно-планировочным приёмам можно определить творческий почерк Ф.Н. Малиновского, который не только показывает индивидуальную манеру творчества, но и является своего рода квинтэссенцией метода архитектора в контексте развития архитектуры России.

В данной статье подробно не рассматриваются стилевые направления эклектики, в рамках которых работал Ф.Н. Малиновский – это требует более детального и подробного исследования творческого почерка архитектора. Однако, характеризуя творческий метод Ф.Н. Малиновского, можно сделать следующие выводы:

– на становление творческого метода гражданского инженера Ф.Н. Малиновского оказал влияние ряд различных историко-архитектурных факторов: активное формирование новых тенденций в развитии российской архитектуры рубежа XIX-XX вв.; становление проектных подходов в инженерно-архитектурном образовании данного периода; социально-экономические особенности проектирования в провинциальных условиях;

– творческий метод Ф.Н. Малиновского характеризуется такими проектными подходами и приёмами как: инженерно-технологический подход; приёмы «периметральности застройки» и «крупномасштабность и парадность»; принципы проектирования «снаружи внутрь», «изнутри наружу», «стилевой и градостроительной доминанты»; стилистический и историко-художественный подходы;

– творческий метод Ф.Н. Малиновского характерен для периода эклектики, он основан на взаимодействии подробного изучения исторической архитектуры и сочетания её с современными инженерно-технологическими новшествами.

Теоретико-методологические знания, приведённые в данной статье, дают полноценную картину особенностей творческого метода гражданского инженера Ф.Н. Малиновского, что позволяет подробно изучить и проанализировать его творческое наследие и оценить вклад архитектора в развитие отечественной и региональной архитектуры.

Список библиографических ссылок

1. Кузьмина И. Р., Раимова Р. Р., Лурье Б.Д., Косушкин В. Ф., Мамлеева С. А., Ситдиков А. Г., Старков А. С. История реставрации объектов культурного наследия острова-града Свияжск. Казань : ИП Гарипова Г.Г., 2013. С. 165–183.
2. Франческо Бандарин и Рон Ван Урс. Исторический городской ландшафт. Управление наследием в век урбанизации. Чичестер : Wiley Blackwell, 2012. 236 с.
3. Гречнева Н. В. Становление эклектики, как архитектурного стиля в храмовом зодчестве России // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 3 (28). С. 222–224.
4. Известия по Казанской епархии, 1895. № 3. С. 69–71.
5. Попова А. А. Стилевые предпочтения А.Н. Померанцева на примере работ по частным заказам и нереализованных проектов // Научно-теоретический и аналитический журнал «Управление мегаполисом». 2015. № 1 (43). С. 132–138.
6. Попова А. А. Храмовое зодчество А.Н. Померанцева : нереализованные проекты : сб. научных трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности» / РГСУ. Тамбов, 31 января 2015. С. 109–110.
7. План пристройки к церкви в Раифской пустыне женского монастыря // НА РТ, Ф 2, Оп 14. Д. 141. Л. 1–4.
8. Проект лестницы к паперти Успенской церкви 1895 г. // НА РТ, Ф. 2. Оп. 14. Д. 541. Л. 1–2.
9. Переписка о постройке в Кизической слободе г. Казани Церковно-приходской школы // НА РТ, Ф. 117. Оп. 1. Д. 9. Л. 1–2, 13, 14 а, 16, 29–31, 33, 81, 82, 85.
10. Варсаките Раса. Обзор истории Каунаса // Каунас, 2014. URL: http://p-w-w.org/index.php?topic=14139.0 (дата обращения: 30.10.2017).
11. Гремлино Палепе. // Яндекс-блог. URL: http://www.grumlinas.lt/?p=31866 (дата обращения: 30.10.2017).

Novikov S.V. – assistant
E-mail: to-stepa@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The features of the creative method of the civil engineer, the diocesan architect F.N. Malinovski

Abstract

Problem statement. This study represents the first attempt of the system analysis of the creative method of civil engineer, the diocesan architect of the Kazan province F.N. Malinovski. Theoretical and methodological knowledge about the creative method of the architect F.N. Malinovski provide a unique opportunity of their application in modern design and restoration practices, as well as open new horizons in the scientific and educational activities.

Results. The study revealed that the formation of the creative method of civil engineer F.N. Malinovski has been affected by a number of different historical and architectural factors: architectural trends at the turn of the XIX and XX centuries in Russia; modern engineering and architectural education; socio-economic features of the design in the provincial conditions.

The main features of the creative method of F.N. Malinovski were typical design techniques for the period of eclecticism which are based on the interaction between a detailed study of historical architecture and its combination with modern technological and engineering innovations.

Conclusions. The obtained data provide a complete picture of the characteristics of the creative method and the stylistic features of civil engineer F.N. Malinovski's objects, which allow to study and analyze his artistic heritage and to evaluate his contribution in the development of national and regional architecture.

Keywords: F.N. Malinovski, creative method, the diocesan architect, the civil engineer, «national direction» in Russian architecture of eclecticism, architectural practice at the turn of XIX-XX centuries.

References

1. Kuzmina I. R., Raimov R. R., Lurie, B. D., Kosushkin V. F., Mamleeva S. A., Sitdikov A. G., Starkov A. S. History of the restoration of objects of cultural heritage of the island-town Sviyazhsk. Kazan : IP Garipova G.G., 2013. P. 165–183.
2. Francesco Bandarin and Ron van Oers. The historic urban landscape. Managing a heritage in an urban age. Chichester : Wiley Blackwell, 2012. 236 p.
3. Grechneva N. V. The emergence of eclecticism as an architectural style in ecclesiastical architecture of Russia // World of science, culture, education. 2011. № 3 (28). P. 222–224.
4. Izvestiya by Kazan eparchy, 1895. № 3. P. 69–71.
5. Popova A. A. Style preferences A. N. Pomerantsev, for example, works on private orders and unsold projects // Scientific-theoretical and analytical journal «megapolis Management». 2015. № 1 (43). P. 132–138.
6. Popova A. A. Church architecture A.N. Pomerantsev : unrealized projects : proceedings of the International scientific-practical conference «Topical issues in research and educational activities» / RSSU. Tambov, January 31, 2015. P. 109–110.
7. Plan of additions to the Church in the desert Raifa convent // NA RT, F. 2. Op. 14. D. 141. L. 1–4.
8. The design of the staircase to the front of the Dormition Church of 1895. // NA RT, F. 2. Op. 14. D. 541. L. 1–2.
9. Correspondence about the construction in Kizicheskaya Sloboda of Kazan parish-school NA RT, F. 117. Op. 1. D. 9. L. 1–2, 13, 14, 16, 29–31, 33, 81, 82, 85.
10. Varsakite Rasa. Review of the history of Kaunas // Kaunas, 2014 URL: http://p-w-w.org/index.php?topic=14139.0 (reference date: 30.10.2017).
11. Grumlino Palėpė. WP Mobile Edition // Blog Index. URL: http://www.grumlinas.lt/?p=31866 (reference date: 30.10.2017).

УДК 72.036
Покка Е.В. – кандидат архитектуры, старший преподаватель
E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru
Агишева И.Н. – кандидат архитектуры, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Творчество архитектора Ивана Леонидова

Аннотация

Постановка задачи. В ситуации возникновения нового социалистического строя архитектурная школа делится на различные творческие коллективы, где совместно разрабатываются концептуальные творческие платформы, теории и методы проектирования, методики обучения профессии. В результате поиска в сфере интеллектуальной составляющей архитектуры возникают научно разработанный метод функционального проектирования и теория архитектурной композиции. С середины 20-х годов авангард советской архитектуры получает нового лидера, творчество которого не ограничено рамками групповой принадлежности. Это – Иван Леонидов. В статье ставится задача изучения творчества этого архитектора.

Результаты. В 1927 году на «Первой выставке современной архитектуры» в числе многочисленных отечественных и зарубежных проектов контрастно выделяется проект Института библиотековедения имени Ленина. Это – дипломный проект И. Леонидова. Проект Дома промышленности, конкурсный проект, выполненный в 1929 году. Это новаторская разработка офисного здания, объемно-планировочное решение и художественный строй которого опередили на несколько десятилетий его образно-типологические характеристики. Второй проект – это ответ на задачу, поставленную перед архитекторами правительственным постановлением формирования в стране «Социалистического расселения». Первой реализацией этого постановления становится конкурс, проведенный в 1930 году, на создание города для Магнитогорского металлургического комбината. В 1934 году И. Леонидов создает еще один шедевр. Это – конкурсный проект Дома Наркомтяжпрома (Министерства тяжелой промышленности).

Выводы. Всем своим творчеством И. Леонидов был провидцем современной архитектуры. Великие архитекторы, такие, как Ле Корбюзье, Оскар Нимейер следуют И. Леонидову и претворяют в жизнь то, что он предвосхитил. Великолепны творения таких современных архитекторов, как З. Хадид, Д. Фуксас, архитекторов группы Кооп Химмельблау и др., использующих текучую пластику поверхностей второго порядка, у истоков видения которой стоял И. Леонидов.

Ключевые слова: авангард, творческие группировки, современная архитектура, пространственно-планировочная организация.

С революционным переворотом 1917 года наступают годы борьбы за власть в стране и годы утверждения новой власти, бесплодные годы в строительстве и в том числе в архитектурной деятельности. Но на лозунг разрушить до основания старый мир и на его обломках построить новый мгновенно откликается архитектурная школа. Поскольку обучение архитектурной деятельности это процесс творческий, то именно в стенах учебных заведений забурлила творческая жизнь архитектурного поиска. В этом творческом процессе и зарождается советский авангард.

В поиске нового содержания и нового художественного языка творцы новой архитектуры консолидируются в различные коллективы, где совместно разрабатываются концептуальные творческие платформы, теории и методы проектирования, методики обучения профессии. В результате поиска в сфере интеллектуальной составляющей архитектуры возникают научно разработанный метод функционального проектирования и теория архитектурной композиции [1-12].

С середины 20-х годов авангард советской архитектуры получает нового лидера, творчество которого не ограничено рамками групповой принадлежности. Это – Иван Леонидов. Воспитываясь в мастерской А. Веснина, И. Леонидов принимает участие и

завоевывает призовые награды в профессиональных конкурсах. После окончания учебы он, получив рекомендации своего учителя и Н. Ладовского, остается работать в ВХУТЕМАСе [2, 4].

В 1927 году на «Первой выставке современной архитектуры» в числе многочисленных отечественных и зарубежных проектов контрастно выделяется проект Института библиотековедения имени Ленина (рис. 1). Это – дипломный проект И. Леонидова. Его отличает от всех представленных проектов тонкая графика чертежей и высококачественно выполненный макет. Так и впредь будет представлять И. Леонидов все свои работы.

Целью проектного решения Института является создание центра культурно-просветительской и научно-познавательной жизни города. Он предназначается для удовлетворения, как индивидуальных запросов горожан, так и проведения общественно-социальных мероприятий и действ разных уровней массовости и активности. Центр – часть городского организма, его важный орган.

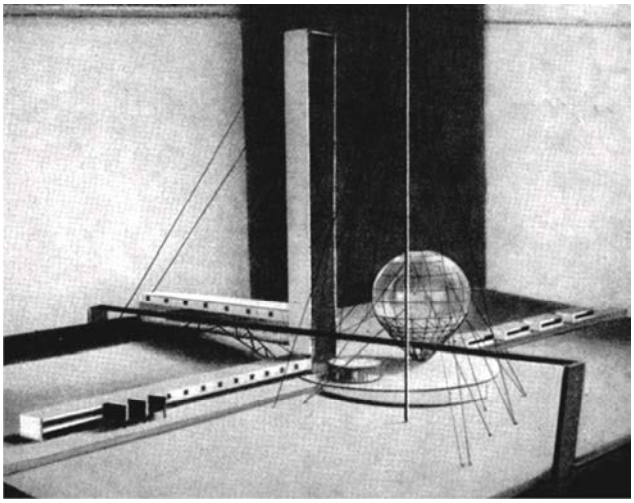


Рис. 1. Институт библиотековедения им. Ленина

И. Леонидов добивается этой цели следующим образом. Он решает Институт в качестве комплекса четко дифференцированных объемов с помещениями общего назначения и каталогов (объем плоского круга), помещениями книгохранилища (объем высотного параллелепипеда), помещениями конференц-залов (объем шара), читальных помещений, научных лабораторий, кабинетов, аудиторий (объемы одноэтажных параллелепипедов). За исключением помещений каталогов все остальные в границах своих объемов функционально и планировочно гибки, подвижны.

И. Леонидов располагает комплекс на свободной от застройки городской территории и выполняет архитектурное решение в условиях ее пространственно-планировочной организации. Через эту пространственно-формирующую роль выражается и его градостроительная значимость. Роль выполняют слитые воедино функциональная и художественная структуры комплекса. Обе составляющие ясно выражены взаиморасположением предельно лаконичных архитектурных форм различной конфигурации и различного функционального назначения.

Функционально и художественно-композиционно главными являются три объема: объем плоского круга, служащего подиумом для объемов плоского параллелепипеда и шара. Плоский параллелепипед – это высотная доминанта комплекса. Он выступает из круга и устремляется вверх. Шар – это композиционный «противовес» высотной доминанте. Он «зависает» над кругом, «удерживаемый» притянутыми к нему «стропами» – шарнирной фермой. Все три объема сжаты в энергетически мощное пространственно-композиционное ядро комплекса, аккумулирующее знание (функция шара) и хранящее его (функция высотного параллелепипеда). Другие объемы комплекса (один, поднятый на опоры, и другие, линейно стелящиеся по земле, одноэтажные параллелепипеды)

устремлены вовне, перерабатывая и транслируя энергию ядра в окружающее пространство (функции лабораторий, малых аудиторий, читальных залов).

В проекте заложена автоматическая связь каталогов с книгохранилищем и книгохранилища с читальными залами, лабораториями и кабинетами по конвейерной системе. Для различного обмена информацией (проведения конференций, симпозиумов, конгрессов), требующих залы большой вместимости, предусмотрена эксплуатация шара в качестве одного зала (вместимостью 4000 мест) и одновременная эксплуатация залов различной вместимости, получаемых разделением шара на сектора посредством мобильных перегородок. При необходимости объединенное сферическое пространство используется для функции планетария.

Размещая комплекс Института на Ленинских (Воробьевых) горах, И. Леонидов соединяет этот район с центром города трассой общественного скоростного транспорта, решая ее на эстакаде. По отношению к этой трассе комплекс расположен таким образом, что она пронизывает его, акцентируя одну из координатных его осей, и посадочные платформы на ней становятся частью его облика. Этим решением особенно усилена динамика пространственной композиции комплекса.

Необычное планировочное решение Института продемонстрировало новый подход к формированию архитектором городского пространства. И. Леонидов своим проектом совершил прорыв в новое профессиональное мышление, показав, что городское пространство многопланово, расширив представление о том, что оно формируется не только средствами «фасадной» архитектуры.

Новаторским в проекте Института является использование в архитектуре приема упрощения формообразования. Для развития советской архитектуры это имеет особое значение, ибо призыв «рационалистов» к экономичному использованию выразительных средств архитекторами-новаторами не слышится, и архитектура движется по пути канонизации художественно-композиционного усложнения архитектурных форм. И. Леонидов же демонстрирует в проекте выразительный и красивый архитектурный ансамбль, построенный на использовании форм только простых геометрических фигур. Это творческое достижение особенно созвучно кредо теоретиков архитектурной композиции, что и повлияло на получение автором дипломного проекта высокой оценки его способностей и рекомендации работать преподавателем во ВХУТЕМАСе у лидера «рационалистов» Н. Ладовского. На фоне размежевания архитекторов по творческим группам этот факт свидетельствует о том, что в отечественном архитектурном мире появилась личность, совмещающая лучшие достижения различных творческих направлений.

Важной составляющей художественных достоинств проекта Института является талантливо использованные И. Леонидовым эстетические качества одних конструкций и эмоционально-выразительные – других. Для устойчивости высотного объема книгохранилища И. Леонидов усиливает его шпренгельными фермами. Потребность в этих металлических фермах, подтверждается расчетом (причем все конструктивные расчеты своего проекта И. Леонидов выполнял сам с помощью однокурсника Урмаева). А художественно-композиционная необходимость присутствия изящных форм этих ажурных ферм в определенных местах вертикального объема неоспорима.

Объем зала решается в проекте в виде воздушного шара, устремленного вверх и удерживаемого в воздухе стропами, заякоренными на крыше подиума в одной точке. Функцию «удержания» шара в воздухе выполняет пространственная шарнирная ферма, конструктивная форма которой схожа со стропами, собранными в пучёк. Фактически ферма является опорой, не удерживающей, а держащей шар. Работе шпренгельных ферм и шарнирной фермы «помогают» тросы-растяжки, закрепленные в первом случае – к основанию и вершине параллелепипеда, во втором – к поверхности подиума. Вот так используются автором проекта выразительные качества принятых конструктивных решений, что вполне в духе конструктивизма.

Если проект памятника III Интернационалу В. Татлина зарождает прогрессивную концептуальную основу советской архитектуры 20-х годов, проект Дворца Труда А. Веснина становится манифестом конструктивизма, то проект Института И. Леонидова, прорвав все передовые позиции архитекторов-новаторов, утверждает вершину развития молодой советской архитектуры.

И. Леонидов принимает участие в крупнейших конкурсах и все выполненные им проекты составляют сокровищницу не только советской, но и мировой архитектуры. Его проекты публикуются в отечественной и зарубежной печати, активно обсуждаются, формируют горячих сторонников его таланта, единомышленников в видении перспектив развития архитектуры. Однако не все становятся его сторонниками. Находятся и те, кого не устраивает откровенная ориентированность проектов И. Леонидова в будущее, его архитектурный ответ на запрос интеллектуальной, высококультурной личности, какой должен быть и будет по убеждению И. Леонидова человек завтрашнего дня.

Все проекты выполняются им с этой позиции, и все они, как и проект Института библиотековедения имени Ленина, выходят за рамки заданий (заданием на разработку дипломного проекта была Библиотека имени Ленина). Помимо таланта творца этот архитектор обладает и глубоким аналитическим умом. Как правило, все конкурсные задания он переосмысливает и выстраивает для себя собственные программы. В итоге все его творения не только высоко талантливы, но и глубоко содержательны. Все они во флагмане триумфального развития советской архитектуры 20-х годов, и каждое из них достойно детального рассмотрения и изучения. Мы остановимся на тех из них, которые задолго предвосхитили развитие мировой архитектуры.

В конце 20-х годов бурно полемизируются идеи урбанистического и дезурбанистического развития городов. Приверженцы урбанизма в своих моделях города будущего стремятся к сжатию городского пространства, максимально уплотняя городскую ткань, осваивая подземные и воздушные уровни. Концентрированная городская среда этих моделей насыщена объектами, обеспечивающими горожанам реализацию различных видов их деятельности. Среда сплавляет и интегрирует эту деятельность, стимулируя и обеспечивая общественное развитие. Среда предельно техногенна. В ней не остается места для природного компонента (ни естественно сформированного, ни искусственно созданного).

Дезурбанисты же, наоборот, в своих моделях превращают город будущего в город-сад. Разуплотняя городскую ткань, максимально насыщая ее благоустроенными озелененными территориями, они стремятся создать среду для физически и психологически здорового образа жизни. Ориентированная на индивидуума, эта среда лишена побудительной силы к концентрации. Дезурбанистические модели города не интегрируют человеческие усилия и действа и, как следствие, не обеспечивают прогресса в общественном развитии.

И. Леонидов и в жизни, и в творчестве активный созидатель нового, и платформа урбанистов ему близка по духу. Но издержки урбанизма для него неприемлемы. Наличие открытых пространств, насыщенных зеленью, для И. Леонидова непременное условие формирования урбанизированной городской среды. Это – принципиальная позиция. Она демонстрируется им в следующих двух проектах.

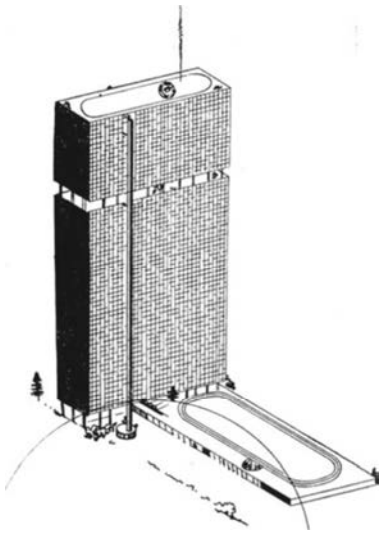


Рис. 2. Проект Дома промышленности

Проект Дома промышленности (рис. 2), конкурсный проект, выполненный в 1929 году. Это новаторская разработка офисного здания, объемно-планировочное решение и художественный строй которого опередили на несколько десятилетий его образно-типологические характеристики. В проекте предложена социальная структура организации труда работников, обеспечивающая высокую продуктивность с сохранением и приумножением их здоровья. Эта структура настолько прогрессивна, что только в настоящее время делаются робкие попытки ее реализации.

Здание состоит из трех объемов: главного высотного корпуса с рабочими этажами, одноэтажного корпуса с общими обслуживающими помещениями, такими, как вестибюль, спортивный и актовый залы, кружковые комнаты и др., вертикальной шахты с лифтами и лестницами. Гаражи и склады решаются на подземных уровнях.

Высотный корпус представляет собой стеклянный параллелепипед с глухими торцами, стоящий на опорах. Планировочное решение его типового этажа предельно целесообразно. Этаж представляет собой свободное пространство, в котором отсутствуют стены и перегородки. Рабочая зона занимает 2/3 его площади. Эта территория посредством рабочего оборудования и переносных зеленых насаждений делится на рабочие ячейки с проходами к каждой из них. 1/3 площади этажа занимает зона отдыха. Как написано в пояснительной записке к проекту, эта зона предназначена для «отдыха и физкультурной зарядки с кушетками для лежания, библиотекой, местами принятия пищи, которая подается снизу, душами, бассейном, дорожками для прогулок и бега, площадками для приема посетителей. Полная возможность регулярного получасового и десятиминутного отдыха...». Поскольку вертикальные коммуникации выведены в самостоятельный объем, приставленный к высотному корпусу, то на рабочих этажах нет ни лестниц, ни коридоров.

Высотный корпус ставится на опоры, а освобожденная от застройки земля, поверхности плоских крыш и открытый этаж высотного корпуса озеленяются и предназначаются для коллективного отдыха и спорта.

И. Леонидов разрабатывает такой принцип функциональной организации свободного плана, который предоставляет свободу его пользователю в формировании различных по величине и конфигурации рабочих зон. Он обосновывает целесообразность панорамного остекления помещений с таким планом и необходимость использования в их отделке звукопоглощающих материалов. Этот принцип будет талантливо развит архитектором Мис ван де Роэ в середине XX века.

Предельно простая форма вертикального параллелепипеда и введение в его объемно-планировочное и художественно-композиционное решение открытого этажа-террасы, формирование на уровне земли зоны активного общения во внерабочее время, превращение плоских крыш в благоустроенные искусственные уровни земли, использование подземного пространства для обслуживающих функций и паркинга – вот те черты прогрессивной архитектуры современных урбанизированных пространств, которые предвосхищает И. Леонидов в этом проекте.

Второй проект – это ответ на задачу, поставленную перед архитекторами правительственным постановлением формирования в стране «Социалистического расселения». Первой реализацией этого постановления становится конкурс, проведенный в 1930 году, на создание города для Магнитогорского металлургического комбината (рис. 3). В конкурсном проекте, выполненным от объединения ОСА, И. Леонидов располагает новый город между металлургическим комбинатом и совхозом-гигантом (рассматриваемым в качестве высокомеханизированного производственного комплекса). Он создает градостроительный объект на равенстве градоформирующей роли крупных промышленного и сельскохозяйственного предприятий.

В его проекте город расположен между транспортными коммуникациями, которые соединяют оба предприятия, удаленные на расстояние в 25 км, и сформирован в виде трех планировочных полос, из которых две крайние общественно-рекреационного назначения, а центральная – жилого.

В этой линейной планировочной структуре функционально и художественно-композиционно выделена жилая зона. Она образована метрическим рядом чередующихся одинаковых по площади групп жилых домов на 259 человек и участков с яслями, детскими садами, спортивными и игровыми площадками. Жилые группы двух

планировочных типов. Один планировочный тип представляет собой восемь утопающих в зелени двухэтажных жилых домов, выстроенных в шахматном порядке, другой – два многоэтажных башенных жилых дома, расположенных на озелененной территории. Расположенные параллельно жилой зоне и примыкающие к ней с двух сторон, продольные общественно-рекреационные зоны предназначены для коллективного отдыха и общественного взаимодействия. Размещенные в них объекты спорта и культурного досуга сопутствуют каждой паре планировочно по-разному решенных жилых участков. Для удобной связи городских рекреационных зон с пригородом через транспортные магистрали переброшены пешеходные мосты.

Поскольку у города в представленном на конкурс проекте есть конечный предел линейного развития, И. Леонидов дополняет проект схемами, иллюстрирующими разнообразие развития линейных городов.

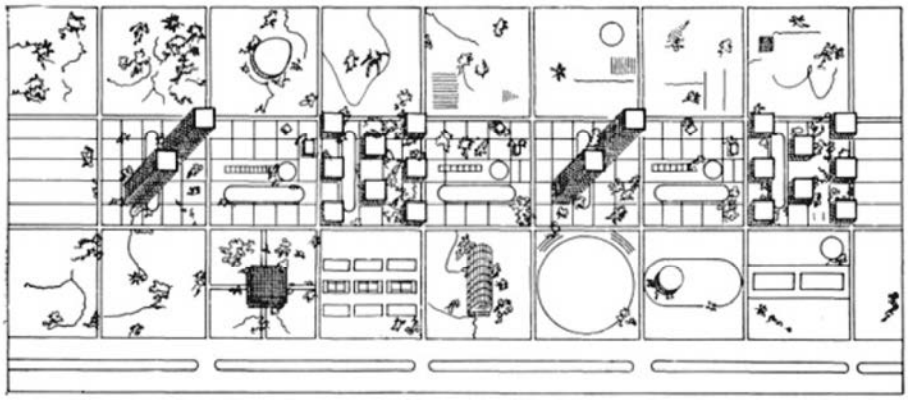


Рис. 3. Проект социалистического расселения при Магнитогорском металлургическом комбинате

В этом градостроительном проекте И. Леонидов поднимается над принципиальными позициями урбанистов и дезурбанистов и создает городской организм исходя из собственных убеждений. В первую очередь свои убеждения он демонстрирует в формировании жилой среды.

И. Леонидов ведет физически активный образ жизни, участвует и сам организует пешие загородные походы, спортивные игры и состязания на открытом воздухе. Дополнительные физические нагрузки в повседневной жизни для него являются нормой. Однако в определении этажности жилых домов, принимаемой в проекте, И. Леонидов поступает иначе. Он не принуждает потенциальных жителей города подниматься выше второго этажа. Исходя из этого, в проекте принимается вид смешанной этажности застройки, где сочетаются 2-х этажные жилые дома, стоящие на земле, с высотными жилыми домами, поднятыми над землей, снабженными лифтами. В формальном плане это является достижением, которое обеспечивает типологическое разнообразие городского жилья, пространственно-композиционное разнообразие жилой застройки. Но предложенное проектом сочетание этажности будет превращено градостроителями в планировочный прием «смешанной этажности жилой застройки». Позднее такой вид жилой застройки обогатится введением в него жилых домов средней этажности.

Важным фактором формирования городской среды И. Леонидов считает создание условий для гармоничного сочетания индивидуальной и общественной жизни горожан. При этом организуемая архитектурными средствами форма проживания индивидуума по убеждению И. Леонидова, может быть только коллективистской. Он проектирует двухуровневую объемно-планировочную единицу, в которой могут проживать 32 человека в 16 жилых комнатах на 2 человека, каждая с туалетом и душем, расположенных на двух уровнях. Общение происходит в большом двухсветном холле во время утренней зарядки, принятия пищи, вечернего отдыха, на эксплуатируемой крыше (в тех случаях, когда эта объемно-панировочная единица представляет собой отдельно стоящий двухэтажный дом). Проживание в небольшом коллективе – это первая ступень общественного взаимодействия личности в городском сообществе.

Городское сообщество многопланово, считает И. Леонидов, и дает возможность выбора каждому проживать в отдельных двухэтажных жилых домах, или приобщиться к более массовым контактам в повседневной жизни, живя в высотном доме, состоящем из тех же объемно-планировочных единиц, выстроенных вертикально.

Ценность прогулок на свежем воздухе, пребывания в естественной природой среде для И. Леонидова настолько велика, что он вводит их в норму повседневной жизни приемом размещения объектов бытового обслуживания вне жилых домов, но рядом с ними, решая их в природном окружении. Размещая тут же площадки для активного отдыха, детские дошкольные учреждения, он расширяет возможности контакта на природе жителей жилой группы. Такой планировочный прием формирования жилой среды в целом создает все предпосылки для здорового и социально полноценного образа повседневной жизни.

Такие объекты, как клубы, спортивные залы, бассейны, размещенные в рекреационных зонах с учетом обслуживания каждой пары жилых групп, удовлетворяют не только потребности в отдыхе, совершенствовании, самореализации каждой личности, но и формируют самые верхние уровни ее общественного взаимодействия в городском сообществе.

И. Леонидов считает, что искусственная и естественная среда неотделимы друг от друга, и задачей архитектора является создание искусственной среды в гармонии с естественной. Гармонию он видит не в уподоблении одних форм другим, а в сочетании контрастно противоположных форм. Живописной красоте трепетно и нежно прорисованных овражков, ручейков, растительности нетронутых фрагментов живого ландшафта в его проекте противопоставляется торжественная красота предельно простых форм параллелепипедов жилой застройки, пирамид, полусфер, параболических куполов общественных зданий, пространственных ферм мостов.

В этом проекте, как и в проекте Дома Промышленности, и в дипломном проекте, И. Леонидов выразил свое отношение к позициям урбанистов и дезурбанистов. Поднявшись над всеми «измами», он показал свое принципиальное отношение к формированию искусственной среды обитания в таких крупных объектах, как жилой или общественный комплекс, или даже целый город.

Главное, что следует отметить в этих объектах, это их функционально-пространственная емкость (используются такие средства, как полифункциональность, функциональная гибкость, трансформируемость, взаимозаменяемость). И. Леонидов в полной мере «рационалист», ибо в объемных частях его проектов нет ни одного лишнего квадратного метра. Он выработал свой планировочный метод по возможности обходиться без коммуникаций.

Все три его проекта наносят минимальный урон земле. Потери возмещаются искусственными озелененными уровнями, которые формируются на разной высоте от ее естественных отметок (проработано в последних двух проектах). Озелененные территории включены и в интерьеры. Даже средством перепланировки служит мобильная живая растительность (зеленые перегородки).

Перечисленные качества пространственно-планировочных решений в его проектах создают все предпосылки для формирования высокоплотной застройки, что и делает И. Леонидов, но только на отдельных участках, или в отдельных зонах, характеризуемых высокими затратами на их освоение (инженерная и коммуникационная инфраструктуры). В своих планировочных решениях И. Леонидов экономит городскую территорию от застройки, высвобождая ее для сохранения ценных природных качеств.

В 1934 году И. Леонидов создает еще один шедевр. Это – конкурсный проект Дома Наркомтяжпрома (Министерства тяжелой промышленности) (рис. 4).

Конкурс проводится в такое время, когда страна с утвердившимися формами частной и общественной жизни перешла к плановому развитию. Утвердилось и централизованное управление всеми сторонами общественной жизни.

Наступила эпоха, когда управляемым развитием отечественной архитектуры занимаются два органа: теорией – Академия архитектуры, и практикой – Союз архитекторов. Развитие архитектуры направляется идеологическим заказом на возвеличивание общественного строя страны, и в архитектуре возрождается классицизм.

Дабы этот художественный язык был понятен широким массам населения, архитектура кооперируется с изобразительным искусством. В итоге, в целях эстетической выразительности даже такие архитектурные сооружения, как жилые дома украшаются художественно-прикладными средствами, элементами монументального искусства.

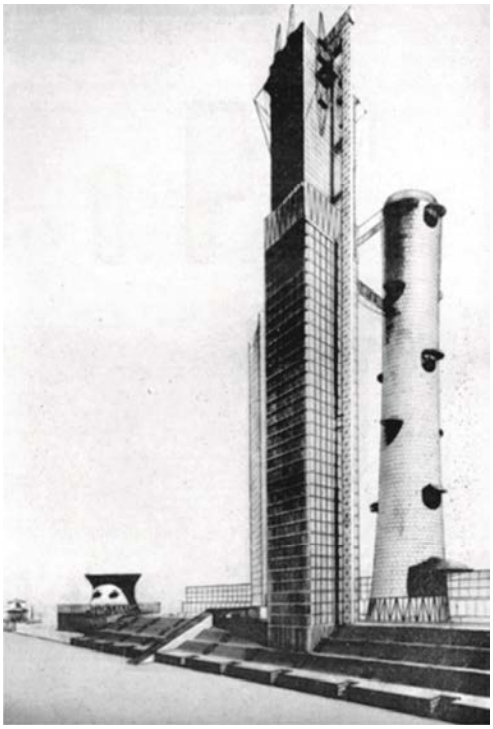


Рис. 4. Конкурсный проект Дома Наркомтяжпрома на Красной площади в г. Москве

Все конкурсанты в своих проектах обращаются к возрождаемому классицизму. Все, даже А. Веснин, но не К. Мельников и И. Леонидов. И во всех конкурсных проектах в качестве средства художественной выразительности использованы элементы монументального изобразительного искусства. Во всех, даже в проекте К. Мельникова, но не в проекте И. Леонидова. В этом и во всех остальных проектах И. Леонидов до конца жизни остается верен своим творческим принципам.

Условиями конкурса ставится задача, в которой и объект, и место его проектирования чрезвычайной государственной важности. Министерство тяжелой промышленности, вобравшее в себя множество отраслей, является главным локомотивом оборонного комплекса государства, и его главное здание позиционируется как одно из самых главных зданий страны. В облике этого здания должно отобразиться самоутверждение государства победившего социализма, его величие и мощь. Масштаб его уже определен величиной утвержденного к строительству и разрабатываемого в рабочих чертежах здания Дворца Советов.

Место для строительства Дома Наркомтяжпрома отводится на Красной площади, напротив Кремля, на месте Верхних торговых рядов (здания ГУМа). «Перед проектировщиками было поставлено задание исключительно ответственное как по характеру и масштабам самого объекта проектирования, так, в особенности, по той ансамблевой задаче, которая должна была быть одновременно разрешена. Красная площадь – этот «форум социалистической Москвы» – явилась по условиям данного задания непосредственной темой творческой работы участников конкурса. Архитектору пришлось иметь здесь дело – в отличие от многочисленных других случаев перепланировки и реконструкции старых московских ансамблей – с архитектурным наследством исключительно высокого художественного и исторического значения», пишется в журнале «Архитектура СССР» в 1934 году.

В соответствии конкурсному заданию на Красной площади должен возникнуть новый грандиозный комплекс, значительно превосходящий по габаритам и высоте всю существующую застройку не только самой площади, но и примыкающих к ней площади Свердлова (Театральной пл.), территорий Китай-города, Зарядья. В этих условиях здание Дома Наркомтяжпрома, включившись в существующий ансамбль застройки площади, перераспределит пространственно-композиционные связи исторических высотных доминант башен кремлевской стены и башни Ивана Великого. А художественный облик этого нового здания войдет в художественно-композиционную связь с такими уникальными художественными доминантами, как главное здание на Красной площади – Покровский храм (хр. Василия Блаженного) и главное здание на площади Свердлова – Большой театр.

«До сих пор архитектура Кремля и храм Василия Блаженного служили архитектурным центром Москвы. Естественно, что с возведением нового грандиознейшего сооружения на Красной площади изменяется и роль отдельных памятников в ансамбле этого центрального комплекса», пишет И. Леонидов (Архитектура СССР. 1934. № 10. С. 14–15).

И. Леонидов отвечает конкурсному заданию следующим образом. Дом Наркомтяжпрома – пространственно-планировочный комплекс, структуру которого составляют следующие элементы. Высотная доминанта. Она выполняется композиционным пучком из трех башен, и в них сосредоточены основные рабочие помещения. Застройка Красной площади. Ее формирует протяженный стилобат башен, обращенный к площади террасами трибун. В стилобате размещены такие обслуживающие помещения, как гостиница и поликлиника, фабрика-кухня и библиотека, детский сад и ясли. Застройку площади Свердлова формирует объем конференц-зала, расположенный на продольной оси стилобата башен и связанный с ним переходами. Эта продольная ось совмещена с осью здания Большого театра (тем самым комплекс смещен в сторону Зарядья, и Красная площадь несколько расширена).

Высотная доминанта. Все три башни, формирующие ее, совершенно разные по форме. Одна из них, параллелепипед, вторая – круглая в плане, с вогнутой формой, третья – шестигранная в плане, с тремя протяженными вогнутыми и с тремя короткими плоскими гранями.

Башня параллелепипед. Это композиционно главная башня. Она выполнена в две ступени, выше остальных и выдвинута вперед. Верхнюю ступень, меньшую по площади, отделяет этаж-терраса (расположенная, как и в проекте Дома Промышленности, на 3/4 части общей высоты). В художественном облике этой башни И. Леонидов использует эстетику конструкций. Башня стеклянная. На ее грани, обращенной к площади, на всю высоту первой ступени выделена сетка конструктивного каркаса. Она доходит до открытого этажа и венчается его оголенной несущей системой. Каждая грань верхней ступени башни завершается парой ажурных шпренгельных ферм. Башня вырастает из стилобата в той его части, где он террасами трибун спускается к площади. Эта ступенчатость подиума ускоряет динамику устремленности башни вверх.

Круглая башня вогнутой формы. Ее форма представляет собой поверхность второго порядка. Геометрически сложная форма построена на нюансных соотношениях пропорций: пологая кривизна гиперболоида и радиус окружности на вершине незначительно меньше, чем в основании. Эти особенности формы придают башне изысканную элегантность. Выполненная из стеклоблоков, она подчеркнуто аскетична. Из объема этой башни в шахматном порядке выступают небольшие трибуны, поддерживаемые кронштейнами из металлических конструкций. Они композиционно увязаны с мостовыми переходами (выполненными также по металлическим фермам), соединяющими круглую башню с двумя другими на уровне этажа-террасы прямоугольной башни и дополнительно еще таким же мостом – с шестигранной башней. С шестигранной башней круглую башню также соединяет крытый двухуровневый переход, расположенный на кровле этих башен.

Шестигранная башня. Эта башня самая живописная по форме и самая лаконичная по пластике. Ее вогнутые поверхности стеклянные, а плоские решены в качестве глухих торцов. Ее композиция основана на сочетании строго лаконичных вертикальных остекленных и глухих поверхностей. Благодаря живописности формы это сочетание различно для любой точки восприятия башни, что лишает ее облик статичности. Если по

облику прямоугольная и круглая башни контрастно противопоставлены друг другу, то изменчивость облика шестигранной башни призвана их уравновесить.

Все башни в уровне первого этажа подняты на конструктивно одинаково решенные опоры. И все башни взаимосвязаны крытыми переходами, что обеспечивает их функциональную связанность.

Конференц-зал, обращенный в сторону площади Свердлова, включен в пространственно-художественную композицию, где главную роль играет здание Большого театра. И. Леонидов решает эту часть комплекса самостоятельным объемом, связанным арочными переходами со стилобатом высотных башен. Здесь И. Леонидов вновь обращается к формообразующим возможностям поверхностей второго порядка. Форма зала, выступающая из объема здания, так же, как и у круглой башни, вогнута, и ее геометрия также образована гиперболоидом, и арочный переход решен в форме параболы.

Разнообразие форм башен – это прямая аналогия с разнообразием главок и шатров храма Василия Блаженного. И. Леонидов новым художественным языком, основанным на современных конструктивных системах и материалах, предвосхищая появление в архитектуре новейших форм, развивает художественный строй сказочного облика, возникшего в середине XVI века. Великолепны эскизные наброски, выполненные И. Леонидовым, изображающие его прогрессивное понимание преемственности в пространственно-художественном развитии ансамбля застройки центральных площадей Москвы.

Создавая проект Дома Наркомтяжпрома в период, когда от архитектуры ожидается не столько формирование, сколько украшение среды обитания, И. Леонидов, воспевший своим творчеством красоту простой архитектурной формы, обращается не к украшению формы и не к усложнению ее, а к поиску новых форм, красивых по своей природе. Им вводятся в большую архитектуру формы, основанные на поверхностях второго порядка, использовавшиеся лишь в утилитарных целях (в промышленных сооружениях), открывается их красота. Великие архитекторы, такие, как Ле Корбюзье, Оскар Нимейер следуют И. Леонидову и претворяют в жизнь то, что он предвосхитил. Великолепны творения таких современных архитекторов, как З. Хадид, Д. Фуксас, архитекторов группы Кооп Химмельблау и др., использующих текучую пластику поверхностей второго порядка, у истоков видения которой стоял И. Леонидов.

Всем своим творчеством И. Леонидов был провидцем современной архитектуры. Мы восхищаемся его проектами, изучаем их, удивляемся их концептуальности. Они и сегодня заряжают нас творческой энергией, влекут нас вперед, в будущее.

Список библиографических ссылок

1. Азизян И. А., Бондаренко И. А. Архитектура изменяющейся России: состояние и перспективы. М. : КомКнига, 2011. 463 с.
2. Александров П. А., Хан-Магомедов С. О. Архитектор Иван Леонидов. М. : Стройиздат, 1971. 128 с.
3. Бочаров Ю., Гуляницкий Н. Архитектура СССР 1917-1987. М. : Стройиздат, 1987.
4. Гозак А. П. Иван Леонидов. М. : Жираф, 2002. 240 с.
5. Гутнов А. Э. Эволюция градостроительства. М. : Стройиздат, 1984. 256 с.
6. Иконников А. В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. В 2-х т. М. : Прогресс-Традиция, 2002.
7. Кириллова Л. И. Советская архитектура за 50 лет. М. : Изд-во лит-ры по стр-ву, 1968.
8. Маклакова Т. Г. Архитектура двадцатого века: современная архитектура. М. : Издательство АСВ, 2002.
9. Хан-Магомедов С. О. Александр Веснин и конструктивизм. М. : Архитектура-С, 2007.
10. Хан-Магомедов С. О. Конструктивизм – концепция формообразования. М. : Стройиздат, 2003.
11. Ivan Leonidov and the Russian utopias // https://dprbcn.wordpress.com/2009/11/09/ivan-leonidov-and-the-russian-utopias/ (дата обращения 10.01.2017).
12. Ivan Leonidov’s Competition Proposal for the Town of Magnitogorsk (1930) // http://socks-studio.com/2016/04/12/ivan-leonidovs-competition-proposal-for-the-town-of-magnitogorsk-1930/ (дата обращения 10.01.2017).

Pokka E.V. – candidate of architecture, senior lecturer
E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru
Agisheva I.N. – candidate of architecture, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Works of the architect Ivan Leonidov

Abstract

Problem statement. In a situation of a new socialist system emergence the architecture school is divided into various onstage creative groups where conceptual creative platforms, theories and methods of designing, profession teaching methods are jointly developed. As a result of research in the field of intellectual component of architecture appear scientifically developed method of functional design and the theory of architectural composition. Since the mid-twenties the avant-garde of the Soviet architecture gets new leader, whose creativity is not limited by the boundaries of group membership. It is Ivan Leonidov. The article seeks to explore the work of this architect.

Results. In 1927 at «The first exhibition of modern architecture» among numerous domestic and foreign projects the project of the Institute of Library Science named after Lenin is contrasty selected. It is the degree project of I. Leonidov. The project of the House of the industry, the competitive project executed in 1929. It is an innovative development of the office building which space-planning solution and an art system outstripped its figurative and typological characteristics by several decades. The second project is an answer to the task set for architects by the governmental decree of forming the «Socialist resettlement» in the country. The first implementation of this resolution becomes a competition held in 1930, to create the city of Magnitogorsk Metallurgical Combine. In 1934 I. Leonidov creates one more masterpiece. It is the competitive project of the House of People's Committee of heavy industry (The ministries of the heavy industry).

Conclusions. All his creativity I. Leonidov was a visionary of modern architecture. Great architects such as Le Corbusier, Oscar Niemeyer and is followed by I. Leonidov put into practice what he had anticipated. Magnificent creations of modern architects as Z. Hadid, E. Fuksas, architects Coop Himmelblau group et al., using flowable plastic surfaces of the second order, at the origin of the vision that was Ivan Leonidov.

Keywords: vanguard, creative groups, modern architecture, spatial and planning organization.

References

1. Azizyan I. A., Bondarenko I. A. Architecture of the changing Russia: state and prospects. M. : Komkniga, 2011. 463 p.
2. Alexandrov P. A., Khan-Magomedov S. O. Architector Ivan Leonidov. M. : Stroyizdat, 1971. 128 p.
3. Bocharov Y., Gulyanitsky N. Architecture of the USSR 1917-1987. M. : Stroyizdat, 1987.
4. Gozak A. P. Ivan Leonidov. M. : Giraffe, 2002. 240 p.
5. Gutnov A. E. Evolution of town planning. M. : Stroyizdat, 1984. 256 p.
6. Ikonnikov A. V. Architecture of the 20th century. Utopias and reality. In 2 t. M. : Progress-Tradition, 2002.
7. Kirillova L. I. The Soviet architecture in 50 years. M. : Publishing house of literature on construction, 1968.
8. Maklakova T. G. Architecture of the twentieth century: modern architecture. M. : ACB publishing house, 2002.
9. Khan-Magomedov S. O. Alexander Vesnin and constructivism. M. : Arkhitektura-S, 2007.
10. Khan-Magomedov S. O. Constructivism – the concept of a shaping. M. : Stroyizdat, 2003.
11. Ivan Leonidov and the Russian utopias // https://dprbcn.wordpress.com/2009/11/09/ivan-leonidov-and-the-russian-utopias/ (reference date: 10.01.2017).
12. Ivan Leonidov's Competition Proposal for the Town of Magnitogorsk (1930) // http://socks-studio.com/2016/04/12/ivan-leonidovs-competition-proposal-for-the-town-of-magnitogorsk-1930/ (reference date: 10.01.2017).

УДК 712
Мхитарян К.О. – аспирант
E-mail: mk92@inbox.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Типология форм вертикального озеленения в городской среде

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось расширение понятия вертикального озеленения и выявление его типологии на основе изученного международного опыта зарубежных коллег в области ландшафтной архитектуры, устойчивого развития территорий и озеленения.

Результаты. В ходе исследования было выявлено, что к вертикальному озеленению относятся только зеленые стены, а помимо них существует еще много вариантов вертикального озеленения. Оно служит не только для украшения фасадов, изгородей или стен, но и является уникальной самостоятельной единицей в городской среде.

Выводы. В работе раскрыто понятие вертикального озеленения, дополнено новыми составляющими, до этого, не относящимися к нему. К основным типам вертикального озеленения можно отнести – зеленые стены/вертикальные фасады, самостоятельные зеленые стены, эко-граффити, вертикальные клумбы, зеленые крыши и террасы, и составляющие ближайшего будущего – кинетические элементы городского благоустройства, вертикальная зеленая инфраструктура, вертикальные фермы.

Ключевые слова: зеленая стена, вертикальный сад, вертикальное озеленение, зеленые фасады, живые стены, категории зеленых стен, дизайн городской среды, эко-граффити, вертикальная зеленая инфраструктура, вертикальные фермы, зеленые стены/вертикальные фасады, самостоятельные зеленые стены, зеленые крыши, кинетические элементы городского благоустройства.

История вертикального озеленения насчитывает уже тысячи лет, начиная с 6 века до нашей эры и первых, известных нам, организованных садов Семирамиды[1]. Оно встречается в природе и древних цивилизациях, вертикальные сады процветают на протяжении веков на стенах по всему миру. Но, к сожалению, сегодня мы столкнулись с недопониманием понятия вертикального озеленения. Под ним понимают выращивание различных растений на вертикальных поверхностях при помощи различных конструкций, служащих для украшения стен, изгородей, фасадов зданий. И при всем этом относят к нему только же зеленые стены, причем, не выделяя их классификации или же путая их. Зарубежные эксперты тоже относят к вертикальному озеленению только зеленые стены, которые в свою очередь, подразделяют на две основные категории: зеленые фасады и живые стены. Зеленые фасады делятся на типы по принципу поддержания растений – при помощи цветочных горшков, при помощи наложения на стены (модульной решеткой, подвесной системой, сеткой из металлических тросов). А живые стены на ландшафтные, овощные и модульные [1]. А помимо зеленых фасадов и живых стен существует еще много вариантов вертикального озеленения, некоторые из них мы встречаем на улицах наших городов, а о других даже не слышали или не можем себе представить, какие еще варианты появятся в ближайшем будущем.

[1]В висячих садах Семирамиды в 605 г. до н.э. была заложена, по тем временам, сложная инженерно-техническая система для создания идеального микроклимата в искусственно созданном многоярусном озеленении. Висячие сады были устроены в виде пирамиды, состоящей из четырех озелененных ярусов. Четыре яруса-платформы поддерживались колоннами, высота которых достигала порой более двадцати трех метров. В толщах колонн были скрыты трубы, по которым вода поднималась до верхней террасы. Ежедневно тысячи рабов качали воду из глубоких колодцев наверх в каналы, чтобы обеспечить полив растений, сверху вода стекала на нижние террасы.

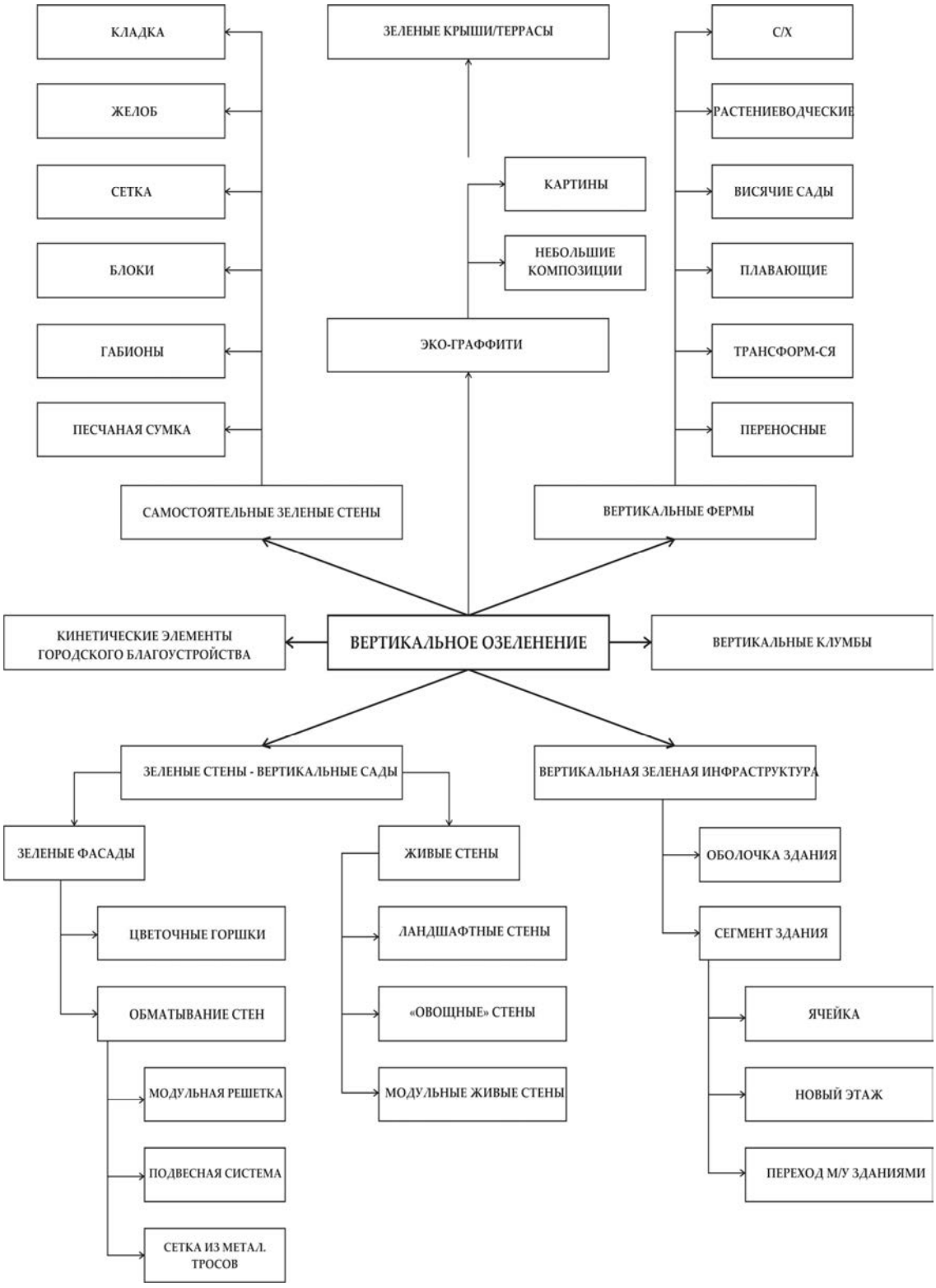


Рис. 1. Типология вертикального озеленения

Раз уж мы говорим, что вертикальное озеленение – это выращивание различных растений на вертикальных поверхностях при помощи различных конструкций, то стоило бы расширить это понятие и дать его подробную классификацию. Стоит отметить, что выращивание растений может происходить не только на вертикальных поверхностях, но и в горизонтальных плоскостях, а вид вертикали будет создаваться за счет выстраивания

друг над другом этих горизонтальных поверхностей (например, «Bosco Verticale[2]» в Милане). Также необходимо добавить, что вертикальное озеленение служит не только для украшения фасадов, изгородей или стен, а является уникальной самостоятельной единицей в дизайне городской среды, способной брать на себя функцию малой архитектурной формы или же создавать новое рекреационное пространство для отдыха горожан и проведения мероприятий (например, «MFO» парк[3] [2]).

Вертикальное озеленение – это выращивание различных растений при помощи всевозможных конструкций в вертикальном направлении, вне зависимости от плоскости произрастания растений с целью создания благоприятной для человека городской среды и формирования новых направлений в дизайне городской среды. Вертикальное озеленение включает в себя: зеленые стены/вертикальные фасады, самостоятельные зеленые стены, эко-граффити, вертикальные клумбы, зеленые крыши и террасы, вертикальную зеленую инфраструктуру, вертикальные фермы. При всем при этом, данная классификация тоже содержит в себе определенные виды (рис. 1).

Зеленые стены

Первая и самая главная часть вертикального озеленения – это зеленые стены. Ранее, мы уже раскрыли понятие зеленых фасадов и его составляющих на основе изучения мирового опыта [1]. Зеленая стена (Вертикальный сад) является термином, используемым для обозначения всех форм заросших стеновых поверхностей. В свою же очередь зеленые стены делятся на живые стены и зеленые фасады. Зеленые фасады представляют собой тип системы зеленой стены, в которой растения вьются или растут каскадом. Зеленые фасады могут быть привязаны к существующим стенам или построены как отдельно стоящие конструкции, такие как заборы, колонны или арки. Они состоят из вьющихся растений, либо растут непосредственно на стене или в специально предназначенных для этого несущих конструкциях. Растение растет вверх по склону здания, будучи привязанным к земле. Живые стены, также называемые био-стены или вертикальные сады, состоят из панелей, вертикальных модулей или посаженных «одеял» с предварительно выращенными растениями. Эти панели могут быть изготовлены из пластика, вспененного полистирола, синтетической ткани, глины, металла и бетона, и поддерживают большое разнообразие и плотность растительных видов. Живые стены нуждаются в большей защите, чем зеленые фасады из-за разнообразия и плотности растительности. Живые стены выполнены из трех частей: металлический каркас, слой ПВХ и воздушный слой (почва не нужна). Эта система поддерживает множество видов растений, таких как смесь растительности, многолетних цветов, низких кустарников и папоротников и т.д. Она хорошо работает в различных климатических условиях [3].

Самостоятельные зеленые стены

В 2008 году У. Томпсон и К. Сорвиг – авторы серии работ по устойчивому ландшафтному строительству, выпустили книгу «A guide to green building outdoor». Здесь, в главе о создании пригодных условий для жизни за счет вертикального озеленения, они выделили возможные структурные концепции самостоятельных зеленых стен в дизайне городской среды. Эти системы зеленых стен предлагают привлекательные альтернативы в использовании конструкций из бетона, металла или дерева, а также являются важным аспектом в использовании гибких, живых материалов для функциональных целей. Самостоятельные зеленые стены были основаны на многих концепциях. Не все из них являются коммерчески доступными, некоторые из видов могут быть построены

[2]«Bosco Verticale» или «Вертикальный лес» – жилой комплекс в районе Порта Нуова в Милане, состоящий из двух высоток в 110 и 76 метров. На террасах каждого этажа высажены зеленые насаждения. Данный комплекс является наглядным примером того, что за счет высаживания растений в горизонтальных поверхностях создается впечатление вертикального озеленения.

[3]«MFO» парк в Цюрихе является особо ярким примером зеленых стен, который вводит новое понятие в ландшафтную архитектуру и формирует термин – «здание, как пейзаж». Основной его целью является создание общественного пространства для города, которое также может служить в качестве площадки для общественных мероприятий.

собственноручно из подручных материалов. *Блок* (округлый, прямоугольный): Спроектированы с зазорами, где растения с корнем растут через стену; *квадратная стена:* в этой системе элементы как плитки бетона или бревна сложены в стиле сруба; *рама:* покрытия соединяющие флору сложены, как каменная кладка; *желоб:* в этой системе используются емкости заполненные почвами; *габионы:* используются проволочные корзины, наполненные камнями, чтобы обеспечить усиление конструкции; *сетка:* как мини-габионы; *соты:* используются гибкие и прочные блоки в виде пчелиных сот, которые заполнены почвой; *песчаная сумка:* сделана из геотекстиля, которая обернута вокруг почвы. Эту систему раньше называли «растительной георешеткой» (рис. 2).

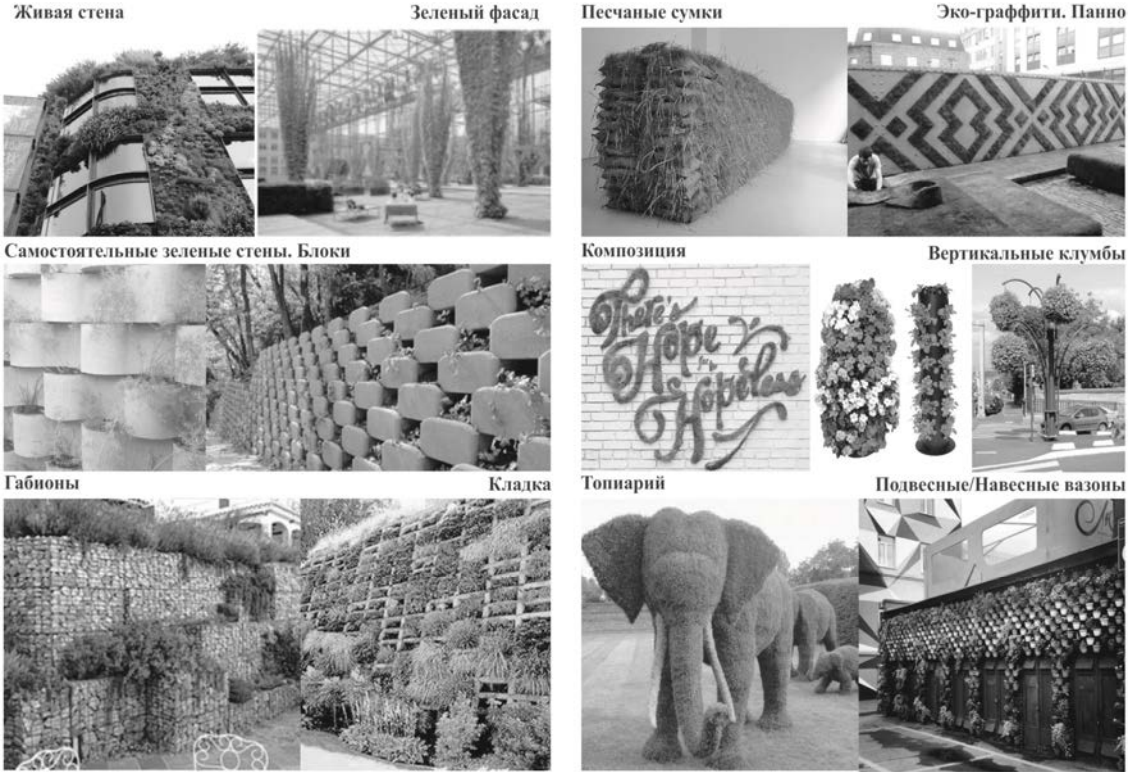


Рис. 2. Зеленые стены; самостоятельные зеленые стены; эко-граффити; вертикальные клумбы

Вертикальные клумбы

Следующая часть вертикального озеленения – это вертикальные клумбы. Данное понятие можно выделить – как самостоятельную, независимую отдельно стоящую систему вертикального озеленения, в которой растения высаживаются в виде какой-либо композиции различной формы. Они могут быть переносными или стационарными, однолетними или многолетними. В состав понятия вертикальные клумбы входят сами вертикальные клумбы, как вид, топиарии[4] и вертикальные клумбы в виде подвесных и навесных вазонов.

Вертикальная клумба – один из элементов зелёной архитектуры, цветник, вытянутый формы по вертикали с выемками или емкостями для посадки однолетних или многолетних растений в несколько ярусов. Высота ее может достигать двух метров. Сегодня, понятие топиария расширилось, это не только искусство подстригания самшитовых кустарников и тиса для придания им причудливой формы, но и создание топиарных фигур различных форм и размеров за счет заполнения металлического каркаса грунтом, а затем высадкой в него растений и поддержанием формы путем подстригания.

[4]Топиарий – от лат. фигурная подрезка. В римской империи топиарием называли раба садовника, который ухаживал за садом господ. Благодаря умениям и стараниям садовника топия состояла из деревьев и кустарников различной формы – конусы, шары, колонны, фигуры животных [9].

Озеленение при помощи вазонов типично для городских улиц и придомовых территория. Подвесные вазоны с цветами крепятся на столбах, или на самостоятельных конструкциях путем подвешивания их за дополнительные крепления (ленты, проволоки, цепи). Навесные вазоны навешиваются на фасады зданий или вертикальные поверхности при помощи кронштейнов или дополнительных систем крепления, причем это могут быть не единичные вазоны, а композиция из них в сочетании с материалами из дерева или декоративного камня (рис. 2).

Эко-граффити

Следом за вертикальными клумбами идет эко-граффити. Эко-граффити также называется зеленым граффити, или же граффити изо мха, мох заменяет аэрозольную краску, краски-маркеры или же другие токсичные распылители и краски с кистью. В данном направлении на первый план выходит «краска» изо мха, которая может расти сама по себе и менять свои цвета в течение года. Основоположником эко-граффити стала Британка Анна Гарфорт. Поскольку люди стали более экологически дружелюбные и стали заботиться об окружающей среде, они обнаружили, что уличное искусство-это не только красиво, но оно также может быть мягким и гладким на ощупь и вызывать у человека не только эмоциональные ощущения, но и тактильные. Направление эко-граффити можно подразделить на две основные категории – это большие вертикальные панно, создающую огромную картину во всю стену, или же небольшие зеленые композиции, встречающиеся мелкими пятнами или же акцентами в городской среде (рис. 2).

Зеленые крыши/террасы

Зеленые крыши/террасы – это крыши или террасы зданий полностью или частично засаженные живыми растениями, они высаживаются прямо в грунт, расположенный на верхней части крыши, для предотвращения разрушения конструкций между ними прокладывается водонепроницаемый мембранный слой. С композиционной точки зрения одну зеленую крышу или террасу невозможно отнести к вертикальному озеленению, они так и остаются в понятии зеленых крыш. Но как только в пространстве появляется несколько таких озелененных крыш или террас, расположенных друг над другом в одном здании или же на разных высотах целого квартала, мы можем смело утверждать, что это вертикальное озеленение. Потому что они начинают создавать композицию, складывающуюся в пространстве по вертикали из зеленых плоскостей. Вернемся все к тому же примеру «Bosco Verticale» в Милане, почему итальянцы назвали его вертикальным лесом!? Именно потому, что две высотки сплошь состоят из зеленых террас, формирующих композицию зеленого фасада по вертикали (рис. 3).

Кинетические элементы городского благоустройства

Кинетические элементы городского благоустройства (рис. 3) – это система модульных элементов, заполненных разными видами уличного оборудования, малых архитектурных форм и озеленения. Они трансформируются во времени и пространстве за счет гидравлического механизма и портативного компьютера, создают динамику пешеходных улиц и площадей и формируют новые пространства и озелененные территории для комфортного пребывания человека в городской среде. Кинетические элементы городского благоустройства являются наглядным примером созданий новых плоскостей формирующих зеленую вертикаль в дизайне городской среды. Здесь идет современная трактовка синтеза ландшафтных стен и зеленых крыш/террас на улицах городов в сомасштабной человеку среде. Помимо этого, за счет них, создаются новые рекреационные пространства, как и на примере парка «MFO», поддерживающие понятие «ландшафт как здание» и расширяющее его. Только создание этих пространств происходит уже не просто за счет примитивного обвивания растениями металлических каркасов, а при помощи новейших передовых конструкций. Возможные трансфигурации: площадь, амфитеатр, рынок, театральная сцена.

Вертикальная зеленая инфраструктура

Вертикальная зеленая инфраструктура – это комплекс взаимосвязанных и обслуживающих современных энергоэффективных и экологичных инженерно-технических систем (вентиляция, подача и отведение воды, инсоляция и т.д.), создающих некою оболочку здания, или являющихся самостоятельным сегментом здания, направленных на создание идеального микроклимата для выращивания сельскохозяйственной продукции в вертикальном направлении и обеспечение комфортных условий для работы и проживания людей. Вертикальная зеленая инфраструктура – это система будущего, продиктованная теорией аграрного урбанизма[5]. Предполагается, что жители мегаполисов будут выращивать сельскохозяйственные культуры в своих мини теплицах, расположенных на фасадах зданий. Тем самым, будет формироваться вертикальный зеленый фасад за счет добавления на него зеленых вертикальных элементов. Составляющими вертикальной зеленой инфраструктуры будут являться: ячейки, оболочки, новые надстраиваемые этажи, соединительные переходы между зданиями (рис. 3).

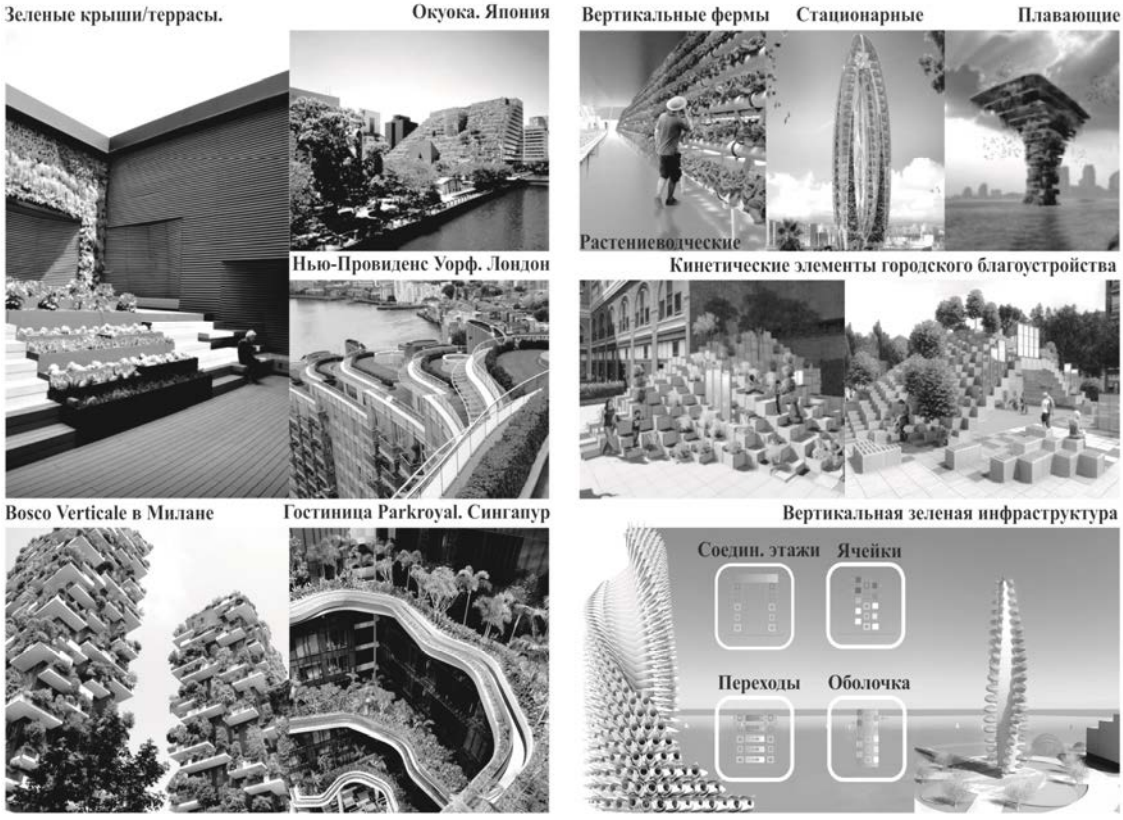


Рис. 3. Зеленые крыши/террасы; вертикальные фермы; вертикальная зеленая инфраструктура

Вертикальные фермы

Вертикальные фермы – это последняя стадия развития вертикального озеленения и теории аграрного урбанизма. По определению вертикальная ферма – это, во-первых, название самого высотного здания различной формы, в котором расположена сложная техническая структура для выращивания сельскохозяйственной продукции, а во-вторых –

[5]Аграрный урбанизм – концепция, которая возникла как ответ на исчерпание потенциала традиционного сельского хозяйства. Предполагается, что процесс урбанизации приведет к необходимости использования городских поверхностей, и фасадов зданий в том числе, в качестве «зеленой» вертикальной инфраструктуры, включающей объекты по производству и переработке сельскохозяйственных продуктов.

это обобщенное название высокоавтоматизированной структуры агропромышленного комплекса, размещенного в специально запроектированной высотке. Главное отличие вертикальных ферм от традиционных тепличных хозяйств и животноводческих ферм – это интенсивный подход к использованию территории, вертикальное многоярусное размещение насаждений [10]. Выделяют два основных типа вертикальных ферм по роду деятельности – сельскохозяйственные и животноводческие, по виду – стационарные, переносные, плавающие, трансформирующиеся, на ножках (рис. 3).

Понятие вертикального озеленения становится популярнее с каждым годом, и это, мы можем проследить на новых его элементах, появляющихся на улицах наших городов. Сегодня, вертикальное озеленение может выступать не только как дополнение в архитектурную среду или же, как элемент ее оформления, а как уникальная самостоятельная единица, способная создавать новые формы или же формировать новые пространства. Ввиду этого, вертикальное озеленение диктует не просто выращивание различных растений на вертикальных поверхностях при помощи различных конструкций, служащих для украшения стен, изгородей, фасадов зданий. А является системой для выращивания различных растений при помощи всевозможных конструкций в вертикальном направлении, вне зависимости от плоскости произрастания растений. Его целью является создания благоприятной для человека городской среды, формирования новых направлений в дизайне городской среды, создающих уникальные самостоятельные единицы в дизайне городской среды, способные брать на себя функцию малой архитектурной формы или же создавать новое рекреационное пространство для отдыха горожан и проведения мероприятий. Вертикальное озеленение включает в себя: зеленые стены/вертикальные фасады, самостоятельные зеленые стены, эко-граффити, вертикальные клумбы, зеленые крыши и террасы, кинетические элементы городского благоустройства, вертикальную зеленую инфраструктуру, вертикальные фермы – все эти элементы являются уникальными самостоятельными единицами в дизайне городской среды.

Список библиографических ссылок

1. Мхитарян К. О., Кожевникова А. Ю. «Зеленые стены» в дизайне городской среды – (зарубежный опыт) // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 41–48.
2. Мхитарян К. О. Многоэтажный вертикальный парк «MFO» // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 104–109.
3. Зеленский В.А. Конструктивные особенности создания вертикальных садов // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75891 (дата обращения: 29.12.2016).
4. Sharp R., Sable J., Bertram F. Introduction to green walls technology, benefits design // Green roofs for healthy cities 2008. Торонто, 2008. 37 с.
5. Thompson J. W., Sorving K. Sustainable Landscape Construction, A Guide to Green Building Outdoors. Вашингтон : Island Press, 2000. С. 105-131.
6. Laurent Aupetit Bjerre. GREEN WALLS // 7 Semester Dissertation Bachelor of Architectural Technology and Construction Management. Дания, 28 ноября, 2011. 38 с. URL: https://www.ucviden.dk/student-portal/files/10402327/Green_Walls.pdf (дата обращения: 16.10.2015).
7. Köhler M. Green Facades-A view back and some visions, Urban Ecosystem. 2008. Vol 11. С. 423–436.
8. Almqvist P. Nature on the wall // GEO. 2012. № 4. С. 92–99.
9. Что такое топиарий? // В-СЛОВАРЕ. РУ: значение слов. 3 марта 2014. URL: http://v-slovare.ru/article/chto_takoe_topiarij/ (дата обращения: 05.12.2016).
10. Вертикальная ферма // ВИКИПЕДИЯ свободная энциклопедия. 28 октября 2016. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертикальная_ферма (дата обращения: 05.12.2016).

Mkhitaryan K.O. – post-graduate student
E-mail: mk92@inbox.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Typology of forms of vertical gardening in the urban environment

Abstract

Problem statement. The aim of the work was an extension of the concept of vertical gardening and identifying its typology based on the study of international experience of foreign colleagues in the field of landscape architecture, sustainable development of territories and gardening.

Results. During the research it was found that the only green walls belong to vertical gardening, and besides them there are many options of vertical gardening. It serves not only to decorate the facades, fences or walls, but it is a unique self-identity in the urban environment.

Conclusions. The concept of vertical gardening is disclosed in the work, supplemented with new components not attributable to it before. The main types of vertical gardening can be attributed – green wall/vertical facades, independent green walls, eco-graffiti, vertical flower beds, green roofs and terraces, and the components of the near future – the kinetic elements of the urban beautification, green vertical infrastructure, the vertical farm.

Keywords: green walls, living walls, vertical garden, vegetable wall, vertical kitchen garden, living wall, bio wall, green façade, design of architectural environment, eco-graffiti, green vertical infrastructure, vertical farms, green wall/vertical facades, independent green walls, green roofs, kinetic elements of the urban beautification.

References

1. Mkhitaryan K. O., Kozhevnikova A. U. «Green walls» in urban environment design – (foreign experience) // Izvestiya KGASU. 2016. № 3 (37). P. 41–48.
2. Mkhitaryan K. O. Multi-storey vertical park «MFO» // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 104–109.
3. Zelenskyi V.A. Features of creation of vertical gardens // Modern scientific research and innovation. 2016. № 12. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75891 (reference date: 29.12.2016).
4. Sharp R., Sable J., Bertram F. Introduction to green walls technology, benefits design // Green roofs for healthy cities 2008. Toronto, 2008. 37 p.
5. Thompson J. W., Sorving K. Sustainable Landscape Construction, A Guide to Green Building Outdoors. Washington D.C. : Island Press, 2000. P. 105–131.
6. Laurent Aupetit Bjerre. 7 Semester Dissertation Bachelor of Architectural Technology and Construction Management GREEN WALLS. Denmark, November 28th, 2011. 38 p. URL: https://www.ucviden.dk/student-portal/files/10402327/Green_Walls.pdf (reference date: 16.10.2015).
7. Köhler M. Green Facades-A view back and some visions, Urban Ecosystem. 2008. Vol 11. P. 423–436.
8. Almqvist P. Nature on the wall // GEO. 2012. № 4. P. 92–99.
9. What is topiary? // V-SLOVARE. RU: meaning of the words. 3d of March 2014. URL: http://v-slovare.ru/article/chto_takoe_topiarij/ (reference date: 05.12.2016).
10. Vertical farming // WIKIPEDIA free encyclopedia. 28th of October 2016. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертикальная_ферма (reference date: 05.12.2016).

УДК 721
Романцов Р.В. – аспирант
E-mail: roman.romancov.91@gmail.com
Краснобаев И.В. – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: tia.kgasu@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Повышение эксплуатационной пригодности концепции крытых поселений с искусственным микроклиматом к сложным геокриологическим условиям Заполярья

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы было выявление и теоретическое совершенствование современных архитектурно-планировочных и инженерно-конструктивных приемов повышения пригодности концепции крытых поселений с изолированными атмосферными условиями к применению в арктической и антарктической криолитозоне.

Результаты. На основе изучения современного опыта возведения капитальных сооружений на сильнольдинистых грунтах, предложено несколько архитектурно-конструктивных приемов повышения геотехнической безопасности крытых поселений. Первый прием заключается в расположении строительного объема крытых поселений на поднятом регулируемом свайном основании. Второй прием состоит в использовании фундаментной платформы с многокамерным вакуумированным объемом. Третий – в применении разветвленной сети термостабилизирующих установок, способных выполнять роль низкопотенциальных источников энергии. Четвертый – в обустройстве на территории застройки солнцеосадкозащитных навесов.

Выводы. Первостепенным направлением дальнейшего развития концепции крытых поселений должно стать постоянное повышение их геотехнической надежности в условиях динамично ухудшающейся геокриологической обстановки в полярных регионах. Совместное использование большепролетных солнцеосадкозащитных навесов из ЭТФЭ и фундаментных пространственных опор на гидравлических подъемниках является наиболее эффективным средством достижения этой цели.

Ключевые слова: жилище для условий Севера, поселения под куполом, криолитозона, геотехническая безопасность.

В условиях современности обширные территории Заполярья приобретают все большее значение для устойчивого развития многих отраслей мирового хозяйства. Актуальность освоения природно-территориальный комплекса этих регионов определяется, прежде всего, их значимой ресурсно-сырьевой базой, выгодным географическим положением, удобным для развития военно-стратегической инфраструктуры и трансконтинентальных транспортно-коммуникационных магистралей, а также их ведущей ролью в формировании глобальных климатических процессов. Наряду с этим, принимая во внимание разрастающуюся проблему исчерпания биологических и минеральных ресурсов в обжитых человеком регионах планеты, а также увеличивающиеся масштабы перенаселения, можно говорить о том, что значимость высокоширотных векторов развития цивилизации в будущем будет только возрастать. Одновременно с этим, дальнейшее увеличение динамики хозяйственного освоения потенциала региона не может быть достигнуто без привлечения интенсивных потоков трудовой миграции. Для полноценного решения этой проблемы на осваиваемых территориях должна быть создана современная и гуманная жилая среда, располагающая всеми необходимыми элементами для обеспечения полноценной и комфортной жизнедеятельности в условиях крайне неблагоприятных климатических воздействий. Одним из наиболее многообещающих средства выполнения этой задачи, может стать строительство крытых поселений с искусственным микроклиматом.

Перспективность применения данного типа жилища в современном процессе хозяйственного освоения полярных регионов, определяется рядом его преимуществ перед открытой застройкой. Изолированный микроклимат крытых поселений уменьшает негативное воздействие на них сурового природного окружения. Достигаемая таким образом тепловая устойчивость застройки поможет снизить расходы на отопление, раскрыв дополнительные возможности к эффективному использованию возобновляемых и низкопотенциальных источников энергии и с другой стороны защитить хрупкую экосистему Заполярья от антропогенного влияния.

Концепция крытых поселений получила наиболее яркое и технически аргументированное воплощение в проектах «Arctic City» (Фрай Отто, Кензо Танге, 1979 г.), «New Town Frobisher-Bay» (Канада, 1959 г.), комплексе «Айхал» (1964 г.), «Экогород 2020» (Архитектурное бюро «Аб-Элис», 2009 г.), «Ковчег» (Александр Ремизов, 2010 г.). Подобное экспериментальное проектирование постепенно повышает реализуемость концепции крытых поселений и ее соответствие современной северной специфике. При этом учитывая постоянно возрастающую геополитическую значимость полярных регионов, можно отметить, что интенсивность подобного рода проектных поисков будет только возрастать [1].

Наряду с этим существующая инженерно-техническая база концепции крытых поселений имеет ряд серьезных недостатков, снижающих возможность их эксплуатации в сложных геокриологических условиях Заполярья.

На сегодняшний день районы вечномерзлых грунтов охватывают около 63 % территории России. Строительство и эксплуатация капитальных зданий и сооружений на этих почвах, даже с современным уровнем развития технологий представляет собой трудную задачу, сопряженную с необходимостью сохранения естественно-мерзлого состояния криогенных почв основания. Несоблюдение этого требования приводит к потере несущей способности грунтов, что сокращает срок службы расположенных на нем строений. Зачастую главной причиной возникновения и развития этих деструктивных криогенных процессов являются неконтролируемые потоки сбросного тепла, исходящие от плохо изолированных отапливаемых зданий. На сегодняшний день подобное явление теплового загрязнения вечномерзлых грунтов получило большое распространение во всех приполярных городах России, вызвав значительное ухудшение эксплуатационной надежности существующего жилищного фонда [2, 3]. На этом фоне концепция возведения на Севере крытых поселений с большими внутренними отапливаемыми пространствами выглядит еще более сложным мероприятием, связанным с вероятностью образования катастрофически мощных потоков тепловых потерь на более глубокие слои криогенной толщи. При этом, учитывая масштабность и большой вес таких сооружений, влияющий на значительную глубину грунтового массива, проблема их оттаивающего основания не сможет быть эффективно решена за счет использования дорогостоящего метода замещения вечномерзлой толщи на более стабильные массы осадочных горных пород. Таким образом, по степени сложности сохранения грунтов основания в мерзлотном виде, такого рода объекты можно отнести к разряду капитальных сооружений требующих применения наиболее сложных и дорогостоящих технических решений. При этом данная проблема осложняется ориентацией многих проектов крытых поселений на круглогодично высокие температуры внутренней среды, достигающие в ряде случаев показателей тропических широт [1]. Также следует упомянуть, что основным направлением проектных разработок в этой области остается именно освоение наиболее сложных участков Заполярья, с круглогодичным экстремально холодным климатом. В данном случае контраст между внутренним температурным режимом и внешней естественной средой станет еще более значительным, что многократно интенсифицирует процесс теплового загрязнения и скорость разрушения вечномерзлых грунтов. К этому следует добавить, что данный тип криптоклиматического жилища обладает наибольшей уязвимостью к последствиям деформации грунтового основания ввиду массивности объемно-пространственного решения большинства проектов крытых поселений. Принимая во внимание значительную величину просадки вечномерзлого грунта, проблема деформации таких сооружений не может быть решена только лишь обустройством осадочные швов. В связи с этим, применение уже отработанных на

практике форм открыто-закрытой криптоклиматической застройки, состоящей из отдельных зданий, соединенных крытыми переходами на шарнирных опорах, продолжает оставаться привлекательной альтернативой для организации жилой среды. Тем не менее, описанную проблему осадочной деформации большепролетных крытых комплексов нельзя назвать принципиально неразрешимой, и для ее предотвращения может быть предложено несколько технических приемов.

Рационализация опорной системы

Наиболее очевидным средством изоляции теплового массива крытых поселений от грунта может стать обустройство под ним высокого вентилируемого подполья на сваях – прием, зарекомендовавший себя при строительстве промышленных и гражданских сооружений на Севере. Напротив, отказ от этого приема, например в случае 50-метрового геодезического купола на антарктической научной станции Амундсен-Скотт (Amundsen–Scott), привел впоследствии к большим издержкам на его очистку от снегозаносов. При этом использование проветриваемого подполья при сооружении новых корпусов станции в 2003 году, почти полностью предотвратило неестественное накопление снега в их основании, сократив расходы на обслуживание всего комплекса [4].

Недостаток применения подобного рода фундаментных систем в данных климатических условиях состоит в высокой металлоемкости и стоимости земляных работ «нулевого цикла». При этом одним из главных направлений сокращения подобных затрат, остается уменьшение количества устанавливаемых в грунт опор посредством увеличения пролетов между ними, например за счет устройства над обвязочными балками свайного фундамента промежуточной пространственной платформы с внутренними взаимосвязанными ферменными конструкциями. Помимо экономических выгод, этот прием позволит минимизировать площадь занимаемой ими поверхности грунта, снижая вероятность его растепления и нарушения теплового баланса почвы. Расширение пролета между опорами снизит образование снежных заносов, неестественное накопление которых также способно серьезно нарушить температурный режим мерзлого основания [5].

Высота проветриваемого подполья для протяженных крытых комплексов должна составлять не менее 4 метров. Для усиления эффекта продувания, нижняя часть высоких стенок платформы может быть скошена на 45 %. Это улучшит аэродинамические качества платформы, позволив увеличить скорость и концентрацию ветровых потоков под ее основанием. Помимо этого большая высота подполья обеспечит свободный проезд уборочной техники и распространенных на Севере грузовиков с массивной колесной базой.

Для повышения материалоотдачи такого инженерного решения и снижения территориального дефицита поселений под куполом внутреннее пространство опорных платформ, пересеченное ферменными конструкциями, и способное достигать высоты в несколько метров, может использоваться в качестве технического этажа для размещения систем жизнеобеспечения расположенной выше застройки, не требующих естественного освещения – склады, автостоянки, системы аккумуляции энергии, установки очистки сточных вод, биореакторы переработки органических отходов, емкости расположенных на поверхности искусственных водоемов и.т.п. Применение распределительной пространственной платформы позволит расположению опорных свай в меньшей степени зависеть от планировочного контура расположенных на ней строений. Это способствует более свободному расположению свай или стоек на разрозненных и наименее рискованных, например скальных участках грунта. Кроме того подобная гибкость опорной системы позволит нивелировать перепады высот на сложном рельефе. Для снижения воздействий на криогенное основание, а также сокращения работ «нулевого цикла», сваи в подобного рода опорных системах могут устанавливаться не в толщу грунта, а на его поверхность, посредством плоских широких башмаков, как, например, в проекте полярного города «Умка» архитектора Валерия Ржевского. При этом оснащение каждой свайной опоры собственным гидравлическим приводом, обеспечивающим возможность регулировки ее высоты вне зависимости от степени выдвижения других опор, повысит упругость и устойчивость опорной системы, позволяя ей избегать образования крена при самых сильных и неравномерных карстовых просадках основания,

достигающих в сильнольдинистых грунтах высоты в несколько метров. Возможность ослабления давления отдельных свай на грунт и перераспределения несомой ими нагрузки на другие опоры позволит корректировать деформационные процессы в верхних слоях грунтового основания, посредством концентрации массы застройки на участках наиболее сильного пучения. Данный прием актуален в условиях континентальной Антарктиды, где часто наблюдается явление постепенного «зарывания» зданий в снежно-фирновой толщу.

После небольших технических усовершенствований гидравлическая система регулирования высоты опор также может выполнять роль демпферного амортизатора (телескопического амортизатора), смягчающего передачу вертикальных сейсмических колебаний грунтового массива на основные несущие конструкции застройки. Потребность в подобного рода амортизационных фундаментных системах отчетливо ощущается на обширных пространствах Заполярья, подверженных высокому сейсмическому риску. На Крайнем Севере к таким территориям, прежде всего, относятся прибрежные зоны Белого и Баренцева Моря, то есть территории, являющиеся одними из наиболее привлекательных для промышленного освоения, и строительства новых населенных пунктов. При этом дальнейшее расширение эксплуатации месторождений Арктики, и интенсификация хозяйственного преобразования ее природных комплексов, приведет только к усилению местной сейсмической активности. Помимо этого данную ситуацию может усугубить и глобальное потепление климата, приводящее к сокращению криолитозоны и образованию многочисленных эрозий [6].

Другим инженерным решением, препятствующим теплообмену застройки крытых поселений с грунтом, может стать их расположение на высокой изоляционной платформе, с двойными стенками и многокамерным вакуумированным по принципу сосуда Дьюарра объемом. Для улучшения теплоизолирующих свойств подобной платформы, под ней могут быть расположены блоки железобетонных лотков, предназначенные для естественной или искусственной вентиляции. Главным недостатком данной конструкции фундамента, по сравнению с описанной системой проветриваемого подполья, можно назвать большую площадь опирания на вечномерзлое основание, что делает его более уязвимым к неравномерным осадкам грунта.

Системы термостабилизации грунта

Еще одним многообещающим инженерным средством сохранения проектной прочности вечномерзлого основания крытых поселений может стать использование трубчатых систем термостабилизации грунта. Их принцип действия основывается на переносе холода наружного воздуха к основанию фундамента, благодаря чему вокруг него создается мерзлотный экран, не позволяющий грунту растепляться, как от верхних тепловых потоков исходящих из расположенной на нем застройки, так и от процессов происходящих в его нижележащих слоях. Конструктивно такие системы представляют собой капсулированные трубчатые, жидкостные либо парожидкостные устройства, размещаемые в специальных скважинах, пробуренных рядом с опорным фундаментом. Надземную часть таких установок венчает ребристое конденсаторное устройство, которое при опасном для вечномерзлого грунта повышении температуры наружной среды, полностью останавливает естественную циркуляцию хладогента, предотвращая таким образом перенос излишнего тепла в грунт.

Немаловажная особенность этих систем состоит в том, что они являются естественно-действующими, то есть не требующими электроэнергии для своей работы. На сегодняшний день подобные системы нашли применение в разных направлениях инженерного освоения криолитозоны: при обустройстве железных дорог и трубопроводов, масштабных промышленных предприятий и дамб. Экономический эффект от применения подобных на первый взгляд нестандартных и относительно сложных в устройстве термостабилизационных установок в купольных городах может быть очень высоким. Так, помимо сокращения риска осадочных деформаций и затрат на их исправление, данные системы позволят снизить материалоемкость конструкций фундаментов, и расходы на их обустройство и эксплуатацию. Как свидетельствует современный строительный опыт в Заполярье, применение термостабилизирующих

систем для укрепления грунта позволяет сократить объем капиталовложений от 20 % до 50 %, площади строительства до 50 %, и при этом почти вдвое сократить продолжительность работ. При этом для упрощения работ нулевого цикла, термостабилизационные системы могут быть предварительно интегрированы в сами фундаментные конструкции. По такому принципу, например, решена конструкция термосвай, в которых тепловой сифон устанавливается внутри ее трубчатого корпуса. Использование таких совмещенных систем, может позволить сократить сроки фундаментостроения крытых поселений в 2-3 раза [7, 8].

После незначительной модификации, описанная технология термостабилизации грунта, может использоваться для геотермального обогрева замкнутой воздушной среды купольных поселений, что позволит повысить экономический эффект от ее применения, и сделает их одним из неотъемлемых конструктивных элементов фундаментной системы крытых поселений. Для этого часть конденсаторных блоков системы должна устанавливаться внутри защищенного покрытием объема поселения, а теплоноситель их испарительной установки должен иметь возможность циркулировать при более высоких температурах наружной среды.

Для повышения безопасности, естественно-действующая система термостабилизации грунтов должна быть дополнена сильнодействующими установками принудительного промораживания, которые будут защищать от интенсивных внешних потоков тепла, возникающих, например, при пожарах или в случае подземных толчков.

Солнцеосадкозащитные навесы

Помимо мероприятий по защите мерзлых пород от теплового влияния застройки следует предусматривать солнцеосадкозащитные навесы в целях сокращения опасного растепляющего влияния прямой солнечной радиации и летних осадков на грунт.

В настоящее время, использование солнцезащиты актуально во всех климатических районах Заполярья, даже на территориях Арктического побережья. При этом в ближайшие десятилетия актуальность может вырасти ещё больше как по причине глобального потепления, так и вследствие интенсификации хозяйственного освоения вечномерзлых массивов. При этом последний фактор следует учитывать в первую очередь, при планировании строительных работ на ранее неосвоенных территориях. В естественном состоянии полярный ледниково-снежный покров обладает высокими характеристиками Альбедо, отражая от 80 до 90 % солнечной радиации в атмосферу, что позволяет снегу не таять при высокой интенсивности солнечного излучения, предохраняя нижележащие слои грунта от размораживания. При повреждении подобного защитного покрова, или его полной расчистке, уровень Альбедо поверхности грунта может упасть до 20-25 %, а тепловой баланс увеличиться почти вдвое. Повреждение его другого естественного теплоизолятора – мохоторфяного покрова, может дополнительно увеличить его тепловой баланс на 10-15 %, вызвав тем самым существенную потерю их несущих способностей [10].

В связи с этим, современная практика использования солнцеосадкозащитных навесов при строительстве инженерных сооружений в криолитозоне, свидетельствует об их высокой эффективности в обеспечении круглогодичной защиты поврежденного грунтового основания от избыточного солнечного тепла. Так, например, обустройство навесов для защиты откосов насыпи Цинхай-Тибетской железной дороги в Китае в 2006 году позволило достичь снижения температуры грунта на 3-5 градусов, обеспечив стабильность земляного полотна пути даже на сильнольдинистых вечномерзлых массивах [11]. При этом, навесы сумели продемонстрировать лучшую результативность чем термосифоны [12]. Аналогичный положительный эффект был достигнут при использовании навесов для охлаждения основания средне и сильно-погруженных земляных плотин на Крайнем Севере. В сфере гражданского строительства в пользу данных систем косвенно свидетельствует многолетний опыт применения вентилируемых подполий, термостабилизационные свойства которых также во многом основываются на сокращении поступления солнечной радиации на грунт.

Для более полной защиты вечномерзлого основания застройки от излишнего солнечного тепла и осадков, теневые навесы могут выполняться в виде единого большепролетного покрытия, обеспечивающего сплошную зону солнечной и дождевой

тени на территории застройки и на прилегающих к ней грунтовых массивах. Подобная масштабность солнцеосадкозащитных навесов, может позволить в полной мере компенсировать нарушения теплового режима основания застройки, вызванного снежными заносами, только за счет круглогодичной защиты ее территории от естественных вертикальных осадков. При этом для охлаждения грунта и более гибкой регуляции параметров микроклимата в не замкнутой воздушной среде большепролетных навесов, в них могут быть применены системы принудительной вентиляции. Для управления естественными ветровыми потоками, проходящими ниже уровня защитной оболочки, по ее контуру могут быть установлены ветровые экраны с регулируемым поворотом вокруг вертикальной оси. Применение подобных установок, поможет, как корректировать направление ветровых потоков, например, концентрируя их движение для удаления снежных заносов, так и позволит создать на территории застройки зону сплошного ветрового затишья. Для обеспечения высокой эксплуатационной пригодности большепролетных солнцеосадкозащитных покрытий в качестве основного ограждающего материала их кровли может быть использована система пневматических мембранных конструкций Texlon, обладающей повышенной прочностью при воздействии экстремально-низких температур. Так, основной полимер системы – ЭТФЭ (этилен-тетра-фтор-этилен), способен, не растрескиваясь, сохранять свои несущие способности при температуре до минус 80°С. К этому следует добавить и низкие адгезионные свойства материала, которые препятствуют накоплению на нем осадков [13]. Пассивная сопротивляемость навесов загрязнению может быть дополнена динамической системой самоочищения, работающей по принципу изменения формы оболочки за счет регулирования давления в отдельных мембранах. Изготовление защитных оболочек навесов из пневматических мембран позволит их конструкции более эффективно амортизировать кратковременные вертикальные и горизонтальные нагрузки, снижая их интенсивность и суммарное влияние на основные несущие элементы. При этом решенные по такому принципу защитные навесы с пониженным сквозным пространством и аэродинамической формой, смогут выполнять роль ветровых экранов, защищающих возвышенные над поверхностью этажи зданий от прямых воздействий сильного ветра. Выполнение оболочки навесов в виде гибко-амортизирующей системы позволит повысить устойчивость таких большепролетных сооружений и от вертикальных сейсмических нагрузок, что сделает возможным расширить территориальные рамки их применения и на районы подверженные сильным землятрясениям.

Для более гибкой регуляции количества солнечной радиации, поступающей во внутреннее пространство навесов в многослойных панелях ЭТФЭ, может быть применена воздухонапорная система изменения их светопропускной способности. Для этого на нескольких слоях панели могут быть нанесены однотипные непрозрачные рисунки, взаимное смещение которых, от изменения давления между слоями, сможет изменять количество проходящего сквозь них света, создавая эффект жалюзи [13]. Кроме того, полимер ЭТФЭ отличается высокой устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, что делает этот материал практически незаменимым для строительства большепролетных солнцезащитных покрытий во внутриконтинентальных районах Антарктиды, где располагается самая крупная озоновая дыра на планете.

Приведенные преимущества большепролетных солнцеосадкозащитных навесов из ЭТФЭ, делают эти сооружения одним из наиболее многообещающих средств обеспечения геотехнической устойчивости крытых поселений. Дальнейшее совершенствование этих систем и их массовое применение для защиты криолитозоны в Заполярье сократит интенсивность ее теплового разрушения, позволив уменьшить количество природных и техногенных катастроф в регионе.

Выводы

Принимая во внимание проблему прогрессирующего ухудшения состояния криолитозоны полярных регионов, а также увеличивающийся уровень ее сейсмической активности, можно сказать, что дальнейшее развитие концепции крытых поселений должно осуществляться с повышением их эксплуатационной пригодности к сложным и изменяющимся инженерно-геокриологическим условиям Заполярья. Совершенствование

геотехнической составляющей концепции должно основываться на более активном заимствовании самых передовых технических решений из других сугубо инженерных направлений освоения криолитозоны.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что совместное использование большепролетных солнцеосадкозащитных навесов из ЭТФЭ и пространственных фундаментных платформ на гидравлических опорах является наиболее эффективным приемом по обеспечению высокой несущей способности мерзлого основания крытых поселений, который может стать в будущем одним из основных в строительстве в северной климатической зоне.

Помимо применения приемов стабилизации мерзлоты на поверхности и в толще грунта, в будущем необходимо рассмотреть и другие пути обеспечения геотехнической безопасности крытых поселений, в частности через улучшение деформационно-прочностных характеристик их большепролетных покрытий, многие варианты которых уязвимы к сейсмическим нагрузкам и неравномерным осадкам основания.

Использование этих и других рассмотренных в работе мероприятий позволит существенно повысить степень практической реализуемости концепции крытых поселений, что сделает данную модель организации жилой среды, одной из основных при высокоширотной урбанизации будущего.

Список библиографических ссылок

1. Калеменева Е. А. Города под куполом: советские архитекторы и освоение Крайнего Севера в 1950-1960-е годы // Bulletin des DHI Moskau. 2013. № 7. С. 93–108.
2. Бикбау М. Я., Высоцкий Д. В. Система «ИМЭТ» – наше решение для строительства на вечной мерзлоте // TIME-INNOV.RU : ежедн. интернет-изд. 2013. URL: http:// time-innov.ru/page/jurnal/2013-6/rubric/2/article/34 (дата обращения: 19.01.2017).
3. Schuur E., Abbott B. Climate change: High risk of permafrost thaw // Nature. 2012. № 480. P. 32–33.
4. Antarctic Bases and Buildings – 3, Building at The South Pole // COOLANTARCTICA.COM : ежедн. интернет-изд. 2013. URL: http://www. coolantarctica.com/ Bases/modern_antarctic_bases3.php (дата обращения: 12.01.2017).
5. Шмакин А. Б., Осокин Н. И., Сосновский А. В., Зазовская Э. П., Борзенкова А. В. Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене // Лед и снег. 2013. № 4 (124). С. 52–59.
6. Антоновская Г. Н., Конечная Я. В., Морозов А. Н. Сейсмическая активность арктической зоны: новые данные по западному сектору // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2 (96). С. 16–25.
7. Галкин М. Л., Рукавишников А. М., Генель Л. С. Термостабилизация вечномерзлых грунтов // Холодильная техника. 2013. № 10. С. 44–47.
8. Rilo I. P., Dolgikh G. M., Vlasov V. F. New soil thermal stabilization systems fundaments in permafrost regions // Sciences in Cold and Arid Regions. 2013. № 4. С. 387–392.
9. Кондратьев В. Г. «Вечная» проблема железных дорог на вечной мерзлоте // Инженерная защита. 2015. № 10. С. 78–82.
10. Policy Implications of Warming Permafrost. United Nations Environment Programme // UNEP.ORG: официальный сайт программы ООН «Окружающая среда». 2013. URL: http://www.unep.org/pdf/permafrost.pdf (дата обращения: 12.01.2017).
11. Кондратьев В. Г., Перекупка А. Г., Примаков С. С., Петрова А. С. Мероприятия по изменению режима теплообмена на поверхности земли и их влияние на распределение температуры в грунте // Нефтяное хозяйство. 2012. № 10. С.122–125.
12. Feng W. J., Ma W., Sun Z. Z., Li G. Y., Yu W. B., Zheng J. F. Radiation effect analysis of the awning measure on the embankment slope field test in cold regions. Proceedings of the IX International Symposium on Permafrost Engineering / Melnikov Permafrost Institute SB RAS. Yakutsk, 2011. P. 319–325.
13. Bessey R. P. Structural Design of Flexible ETFE Atrium Enclosures Using a Cable-Spring Support System. Provo : Brigham Young University, 2012. 107 p.

Romancov R.V. – post-graduate student
E-mail: roman.romancov.91@gmail.com
Krasnobaev I.V. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: tia.kgasu@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Improving operational suitability of the concept of covered settlements with artificial microclimate to complex permafrost conditions of Polar Region

Abstract

Problem statement. Aim of the research is to reveal and theoretically develop current architectural-planning and technical-engineering methods of increase of viability of concept of covered settlements with isolated microclimate in Arctic and Antarctic regions.

Results. Based on the research of current cases of construction of fundamental buildings on permafrost grounds several architectural-constructive methods of increase of geotechnical safety of covered settlements are suggested. First method – usage of erected adjustable polling to sustain settlements. Second method – application of fundamental basement with multi-cell evacuated volume. Third method – adaptation of grid of thermo-stabilizing plants. Fourth method – shedding of the settlement's territory.

Conclusions. Supreme direction of further development of the concept of covered settlements should be a permanent increase of their geotechnical safety in the conditions of the downward geocryologic situation in Polar regions. Joint use of large-span sheds made of ETFE and fundamental hydraulic-adjustable polling is the most effective solution.

Keywords: housing for the polar region, towns under dome, permafrost, geotechnical safety.

References

1. Kalemeneva E. A. Cities under the dome: Soviet architects and the development of the Far North in the 1950-1960's // Bulletin des DHI Moskau. 2013. № 7. P. 93–108.
2. Bikbau M. I., Vysotsky D. V. System «IMET» – our solution for building on permafrost // TIME-INNOV.RU : daily. internet-edit. 2013. URL: http://time-innov.ru/page/jurnal/2013-6/rubric/2/article/34 (reference date: 19.01.2017).
3. Schuur E., Abbott B. Climate change: High risk of permafrost thaw // Nature. 2012. № 480. P. 32–33.
4. Antarctic Bases and Buildings – 3, Building at The South Pole // COOLANTARCTICA.COM : daily. internet-edit. 2013. URL: http://www.coolantarctica.com/Bases/modern_antarctic_bases3.php (reference date: 12.01.2017).
5. Shmakin A. B., Osokin N. I., Sosnovsky A. B., Zazovskaya E. P., Borzenkova A. V. The influence of snow cover on the freezing and thawing of the soil on the Western Svalbard // Led i sneg. 2013. № 4 (124). P. 52–59.
6. Antonovskaia G. N., Konechnaia I. W., Moroznaia A. N. Seismic activity in the Arctic zone: a new data for the Western sector // Problemi Arktiki i Antarktiki. 2013. № 2 (96). P. 16-25.
7. Galkin M. L., Rukavishnikov A. M., Genel L.S. Thermal stabilization of permafrost soils // Kholodilnaia technika. 2013. № 10. P. 44–47.
8. Rilo I. P., Dolgikh G. M., Vlasov V. F. New soil thermal stabilization systems fundaments in permafrost regions // Sciences in cold and arid regions. 2013. № 4. P. 387–392.
9. Kondratiev W. G. «Eternal» problem of the Railways on permafrost // Injenernaia zashita. 2015. № 10. P. 78–82.

10. Policy Implications of Warming Permafrost. United Nations Environment Programme // UNEP.ORG: official site of environmental program of UN. 2013. URL: http://www.unep.org/pdf/permafrost.pdf (reference date: 12.01.2017).
11. Kondratiev W. G., Perekupka A. G., Primakow S. S., Petrova A. S. Measures to change the mode of heat transfer at the Earth's surface and their influence on the temperature distribution in the soil // Neftianoe khoziaistwo. 2012. № 10. P. 122–125.
12. Feng W. J., Ma W., Sun Z. Z., Li G. Y., Yu W. B., Zheng J. F. Radiation effect analysis of the awning measure on the embankment slope field test in cold regions. Proceedings of the IX International Symposium on Permafrost Engineering / Melnikov Permafrost Institute SB RAS. Yakutsk, 2011. P. 319–325.
13. Bessey R. P. Structural Design of Flexible ETFE Atrium Enclosures Using a Cable-Spring Support System. Provo : Brigham Young University, 2012. 107 p.

УДК 7.071.5
Рябов Н.Ф. – старший преподаватель
E-mail: ryabov.kazan@gmail.com
Бурова Т.Ю. – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: tadrik@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Факторы влияния в формировании и работе региональных детских архитектурных школ

Аннотация

Постановка задачи. На примере ведущих детских архитектурно-дизайнерских школ Татарстана («ранних» форм выражения региональной архитектурной культуры) – «ДА-ДА» (Набережные Челны) и «ДАШКА» (Казань) доказать действенность связи «школа – место», выявить культурные прототипы, оригинальные концепты развития школ.

Результаты. Сопоставление фактов истории, объектов школьных акций позволяют выявить как сходства школ – утверждение трехступенчатой программы непрерывного архитектурно-дизайнерского образования детей и подростков; функционирование в рамках действия крупных образовательных центров («ДА-ДА» – часть креативного кластера, объединяющего школу с НИСПТР, «ДАШКА» – структурное подразделение КГАСУ); следование традициям, заложенным еще в XIX веке; так и различия. Последние определяют, прежде всего, смыслопорождающие концепты развития схожих образований в несхожем окружении: деятельного выживания и активного влияния на монотонную среду – в случае школы «ДА-ДА» и деликатного «врастания» в исторический город – в случае школы «ДАШКА»).

Выводы. Различие школьных концепций, культурные ориентиры, масштаб новаций во многом определяются местом возникновения и дислокации школ. Связь «школа – место» определяется через формотворческие и преобразовательные эксперименты в реальных городских пространствах. Участие в них – действенный метод формирования, как творческих навыков, так и поддержания той или иной традиции.

Ключевые слова: школа-среда, региональная архитектурная школа, традиции и новации в архитектуре, детские архитектурные школы «ДА-ДА», «ДАШКА».

Преследуя общую цель – воспитание гармонично развитой личности, ориентированной на созидание, – провинциальные детские архитектурные студии и школы, во многом определяющие исключительность российской архитектуры (такого количества подобных образований не знает ни одна другая страна мира) находятся в постоянном поиске собственного пути, оригинальных методик. Эта особенность – выражение творческой составляющей архитектурного образования всех уровней (то же мы наблюдаем в высшей архитектурной школе). Залог желаемой самобытности – осознание важности регионального компонента в работе. Региональная архитектурная школа – термин, устоявшийся и вполне применимый ко всем этапам подготовки, включая предпрофессиональный (специфика формирования особого типа мышления определяет необходимость раннего «вхождения» в профессиональную архитектурную проблематику).

Британский историк архитектуры К. Фремптон, анализируя стилистические проявления регионализма, говорит об архитектурной школе, решающей задачи отражения и обслуживания именно того региона, где она возникла, как о первопричине рождения оригинальных форм места. Он же настаивает на особом значении архитектурной культуры провинции [1]. В своем интервью 2009 года К. Фремптон ссылаясь на слова португальского архитектора А. Сизе: «Архитекторы ничего не выдумывают. Они трансформируют реальность», подчеркивает важность этической позиции места, традиционно выражаемой через «вписанность» в среду [2].

Разделяя эти убеждения, авторы исследования на примере ведущих татарстанских детских архитектурных школ («ранних» форм выражения региональной архитектурной

культуры) решают задачи перехода от простой констатации своеобразия региональных феноменов к исследованию форм, явлений и тенденций, это своеобразие определяющих.

В материалах международной конференции по архитектурному образованию для детей и юношества, проходившей в Хельсинки 8-9 мая 2014, подчеркивается значимость архитектурных школ для детей, как важных региональных центров на примере финской архитектурной школы для детей и молодежи Arkki, которой в 2014 году исполнилось 20 лет [3]. Координаторы международного проекта «Проектируем с детьми» (Designing with children) дают обзор, особо рассматривая в каждом случае аспект мотивации, работы многочисленных школ: 13-ой начальной школы в Амперия (13th Primary School в Amperia), Школы Фалмута (Falmouth School), образовательного проекта Фонда Соррелла «Маленькие бестии», реализуемый в школе Хинде, Шеффилд (Little Beasties, Hinde School, Sheffield) и других [4]. В каждом из представленных в проекте архитектурных кластеров, осознанно осуществляется взаимосвязь «школа – место».

Сам факт появления и успешной работы на протяжении многих лет школы архитектуры и дизайна «ДА-ДА» (Набережные Челны) и детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» (Казань) можно рассматривать как один из способов пространственной адаптации архитектурной культуры региона к изменяющейся картине мира в рамках глобального международного процесса. Их работа, получившая высокие оценки со стороны профессионального сообщества, нашла отражение в многочисленных публикациях.

Единство целей определило их схожие структурные параметры, в частности, – утверждение трехступенчатой программы непрерывного архитектурно-дизайнерского образования детей и подростков; функционирование в рамках действия крупных образовательных центров («ДА-ДА» – часть креативного кластера, объединяющего школу с институтом социально-педагогических технологий и ресурсов (НИСПТР), «ДАШКА» – структурное подразделение архитектурно-строительного университета (КГАСУ). В рамках нашей темы важно наряду со сходством обнаружить отличия школ, определяемые, прежде всего, местами их расположения. Очевидно, что «духи места» молодого автограда и города с многовековой историей выражают себя по-разному.

Дизайнер В.И. Хайман – один из основателей и идеологов «ДА-ДА» (ныне – заведующий кафедрой инновационного дизайна НИСПТР), вспоминая историю возникновения школы (изначально – одноименной студии при городском Доме Архитектора), рассказывает о детском конструкторе, привезенном им в 1990 году из Будапешта в подарок сыну и дочке: «Детям по 5-6 лет, в типовой челнинской многоэтажке, на ковре, постеленном в зале, началось строительство города» [5, с. 14]. Из всего многообразия форм и цветов конструктора дети, «цитируя» азбуку города, в котором они родились и выросли, выбирали только белые детали простейшей конфигурации, выстраивая из них строго симметричные башни (в связи с этим возникли опасения относительно того, что монотонно-стереотипной среда, определяющая бедность первых детских впечатлений и скудость фантазии, может оказать негативное влияние на всю их дальнейшую жизнь [6, с. 30]).

Родительская или «кровная» заинтересованность в полноценном развитии ребенка с подключением архитектурных источников развития образной и эмоциональной сферы – история не новая. Хрестоматийный пример тому – предпрофессиональное становление классика американской архитектуры Фрэнка Ллойд Райта., получившего в семилетнем возрасте от матери, сельской учительницы, желающей воспитать из сына великого архитектора, игру-конструктор «Детский сад».

Для всякого культурного феномена, каковым «ДА-ДА», безусловно, является, важен изначальный посыл – отправная точка; она его идеологами обозначается предельно ясно (сам город спровоцировал нас на открытие «ДА-ДА» [5, с. 14]). Она же фиксируется названием школы, составленным из начальных букв словесной формулы-девиза «Детская Архитектурная Дизайнерская Альтернатива». Альтернативой принятию реалий молодого градообразования (в 1930 поселению при речной пристани, долгое время выполнявшей роль центра хлебной торговли в Нижнем Прикамье, был присвоен статус города), большую часть застройки которого представляли типовые сооружения, возводимые в 70-е годы XX века, стал поиск единомышленников, внешних культурных ориентиров, эффективных образовательных методик, способных действенно противостоять

негативному влиянию безликого окружения.

Культурный ландшафт города в разное время получал несхожие оценки. Оптимизм по поводу строительства города будущего советского образца (именно такая установка вела его создателей-проектантов в 70-е) в начале 90-х – время рождения «детской альтернативы» и сворачивания грандиозного преобразовательного проекта на территории всей страны – заместило критическое отношение.

«ДА-ДА» – эксперимент, начатый в начале 90-х, – творческий и социальный одновременно, равно определяемый как амбициями его зачинателей, так и требованиями времени-места. В уже расшифровываемом нами названии школы заложен еще один код, отправляющий нас к эксперименту схожему, а создателей школы к желаемому культурному прототипу – художественному течению «ДА-ДА» (или «Кабаре Вольтер»), возникшему в начале 1916 года в Цюрихе.

Цюрих, ставший в годы I мировой войны прибежищем для многих молодых художников и литераторов, один из участников движения – Х. Рихтер характеризует как город «в центре не-войны», в примечательно плотной атмосфере которого смогли сойтись в деятельном единении принципиально разные люди [7, с. 23]. Катализатором движения стал, приехавший сюда творец-универсал (философ, поэт, артист, романист, музыкант) Х. Балль. В феврале 1916 года он открыл «Кабаре Вольтер», о котором местная пресса тех лет писала так: «Принцип кабаре выбран потому, что во время ежедневных встреч происходят музыкальные и декламационные выступления деятелей искусства, пришедших в качестве посетителей. Приглашается сюда и более молодая художественная поросль Цюриха с тем, чтобы тоже проявляли себя со своими произведениями без всякой оглядки на какое-то особое направление» [7, с. 25].

Слово «дада», впоследствии ставшее общепринятым обозначением оппозиционного официальной культуре международного движения, сам Балль характеризовал как универсальное выражение его интернационального характера (по-румынски «да-да» – жизнеутверждающая форма славянского подтверждения, по-французски – это лошадка-качалка, для немцев – знак наивности и связи с детской коляской [7, с. 45]).

Одной из важных персон кабаре стал молодой архитектор Марсель Янко, прибывший в Цюрих из Бухареста. Многомерность архитектурного знания нашла отражение в его разносторонней деятельности (он работал, корпя над плакатами дада, водил экскурсии по галереям, писал сценарии и рокотал со сцены; ни один вечер, ни одно чтение не обходились без него [7, с. 35]). Сам Янко, утверждая «универсальное сознание», настаивал на важности творческого эксперимента, эвристическом характере созидательной деятельности (отметим, что рассматриваемые нами школы столетие спустя утверждают те же универсальные ценности).

Одним из первых опытов выражения новой художественной этики, а именно на этической важности своих экспериментов настаивали участники движения [7, с. 17], в реальном городском пространстве стала роспись входного портала одной из женских школ Цюриха, выполненная участником движения Хансом Арпом и его другом Отто Ван Реесом. По обе стороны от входа в школу возникли две абстрактные фрески, должные стать для граждан Цюриха напоминанием того, как прогрессивен их город [7, с. 38]. Отцы города, равно как и родители девочек встретили фреску с «жестоким непониманием», что не умаляет культурное значение этого пространственного выражения нового для города «универсального сознания».

В рамках нашего исследования приведенный пример обретает особый смысл – культурное объединение со схожим названием и установками (в начале их было шестеро; шестеро неугомонных и вечно молодых магов, которые обожали слово «авангард» и были готовы вести за собой [6, с. 7]) осуществит выход в свой город схожим образом – «выплеснув» на стены жилых домов и школ города всю неуемность своей фантазии, сделав вход в свою школу своеобразным овеществленным манифестом намерений.

При рассмотрении истории становления движения «ДА-ДА» важно понимание, что форма диалога-конфликта (неприятия одной из сторон ценностных установок другой) в утверждении новых идей и институций является эффективной. Изначальная оппозиционность по отношению к окружению, может стимулировать творческий поиск, а

осознание единомышленниками себя отличными от других – базой групповой идентичности. Все эти установки оказались действенными в случае «ДА-ДА», сумевшей из оппозиционной группы стать действенным ядром формирования городской культуры (архитектурной в том числе), находящейся в «подростковой» стадии своего формирования. Не находя приемлемых для себя местных аналогов, традиций, новоявленные «маги» обратились мировому и отечественному опыту формирования особой обучающей среды. В ходе этого поиска формировались как коллектив педагогов, объединивший в себе специалистов разных областей творческой сферы, так и собственная методическая концепция, подчинившая учебный процесс «сквозному» принципу «спиральной» пропедевтики. Следование этому принципу позволило динамично развивающемуся образованию (1990 – образование студии, 1996 – регистрация школы при городском управлении образования) стать – впервые в современной российской истории – базовой основой кафедры инновационного дизайна НИСПТР (2008). Это уникальное событие позволило в рамках единого образовательного кластера перейти на пятиступенчатую систему обучения – к трем школьным этапам добавились среднее профессиональное и высшее дизайнерское образование.

Обозначив свое особое место в городской культуре (школы-среды, где могли бы пройти все детство и юность их воспитанников [6, с. 31]), школа инициирует практики, ориентированные уже не только на своих учеников, но и других жителей города, региона, страны, что позволяет говорить о ее переходе на качественно иной уровень – групповая идентичность обитателей оппозиционной школы-среды распространяет свои свойства на большую общность. В 1997 году «ДА-ДА» дала старт образовательной программе «Город детям – дети городу», в 2008 – инициировала проведение в Набережных Челнах всероссийского фестиваля «Авто Гр.А.Д.», в 2009 – ежегодной республиканской олимпиады архитектурно-дизайнерского творчества имени академика Б.Р. Рубаненко, в 2010 – всероссийской научно-практической конференции «Ступени» с участием специалистов самых разных областей знания и творчества.

В рамках рассматриваемой темы отдельного упоминания заслуживают творческие новации, реализуемые школой непосредственно в городском пространстве. Преподаватель школы Н.М. Григорьева, анализируя опыт подобной экспансии, отмечает эффективность реабилитационных приемов суперграфики как выражение метода конструирования и наполнения смыслами городского пространства [8, с. 187]. В 2008 году по предложению мэра города учениками школы было разработано и представлено на рассмотрение жюри, возглавляемого главным архитектором Набережных Челнов, более 60 вариантов цветовых решений фасадов домов нового микрорайона (для реализации выбрали два проекта; как результат – появление яркого позитивного микрорайона, названного горожанами «Радужный»).

Успешная реализация проектов определила ход дальнейшего взаимодействия города и школы; так в 2009 году руководство города обратилось в школу за помощью в оформлении помещений детского сада «Планета детства» (с использованием образов рисунков учащихся «ДА-ДА» 6-7 лет), затем – детских садов «Бэлэкеч», «Дулкын», «Дюймовочка», «Жар-птица», «Созвездие», «Щелкунчик», гимназии-интерната № 80, СОШ № 19, 29, 35, палат детского отделения городской инфекционной больницы (2011), интерьеров детской поликлиники «Твой доктор» (2012). В дальнейшем школьный опыт был применен в практической работе студентов кафедры дизайна НИСПТР – дизайн-проекте реконструкции интерьеров «Национальной школы для одаренных детей» города Актаныш (2011), реконструкции фасадов зданий Раифского специального профессионального училища закрытого типа (2012).

Успешность подобной деятельности, зримо представляющей местное как выражение глобального (цветовое «внедрение» школы в городскую среду – одновременное выражение традиционной цветовой полихромии региона и актуальных, зародившихся на западе, практик), исторические параллели, указывающие на некие универсальные коды развития (опыт выхода в городское пространство первых участников движения «дада» десятилетия спустя находит отражение в схожем опыте «ДА-ДА»), доказывают – детская школа архитектуры и дизайна может стать базовым центром создания всеобъемлющей среды творческой реализации, формирования важных

для определения культурного своеобразия свойств городской идентичности.

Обращение к истории становления детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА», как к еще одному из элементов архитектурной культуры региона позволяет выявить несколько иные причины возникновения и укоренения подобных образований.

Заложенное в самом названии школы признание принадлежности к определенному месту (имя «ДАШКА» образовано из начальных букв словосочетания – Детская Архитектурная Школа КАзани) сейчас, по прошествии лет, можно рассматривать как, пусть изначально в полной мере и неосознаваемую, концептуальную базу школьных программы и жизни. В отличии от «ДА-ДА», изначально определившей себя как альтернативу неприемлемой среде, «ДАШКА», зародившись в историческом центре многовекового города, воплощающего своим культурным ландшафтом исключительное послание (мало найдется городов, равных Казани по единству своего образа, сохранивших столетние традиции российского и тысячелетние – местного зодчества [9, с. 3]), такого себе позволить не могла. В своем развитии школа пошла по пути «врастания» в город, что, очевидно, и отличает ее от схожего по целям «собрата» (иное отношение к существующему окружению, иной масштаб заявляемых новаций).

Долгосрочное существование в насыщенном многими смыслами пространстве требует выработки особых поведенческих и идентификационных моделей. Это «ограничение» собственно и определило ход становления казанской школы. Ее директор (с 1998 года по настоящее время) – кандидат архитектуры М.Ю. Забрускова в одном из своих интервью рассказывает: «Изначально «ДАШКА» школой не была, она образовалась как студия для занятий с детьми младшего возраста при архитектурном факультете КИСИ». Объясняя это событие (появление подобных студий в вузах разных российских городов было достаточно распространенным явлением конца 80-х годов), она обращает внимание на актуальную проблему профессиональной самоидентификации. Ограниченный жесткими стандартами и узким кругом задач архитектор (практикующий, равно как и педагог) тех лет был отрезан от того, на что ориентировался в момент профессионального выбора – от творческой стороны своего дела. Организация при архитектурных факультетах строительных вузов подобных студий для детей сотрудников можно рассматривать как некую компенсационную форму деятельности, позволяющую ощущать свою принадлежность к творческой сфере [10, с. 18].

Казанскую студию (в 1990 году она была преобразована в школу, куда могли прийти дети от 6 до 17 лет) организовал доцент кафедры основ архитектуры М.Т. Лин. Его помощниками стали его же студенты, что с самого начала определило своеобразие этого педагогического эксперимента двоякого действия – процессы творческого развития первых учеников студии и формирования расширенного представления о возможностях приложения своих сил у их преподавателей – студентов-архитекторов были запущены одновременно. Этот исходный посыл можно рассматривать как основу одной из главных школьных традиций (большая часть школьных преподавателей – это студенты старших курсов института архитектуры и дизайна КГАСУ).

Следование этой традиции обнаруживает в богатой событиями казанской истории культурный прототип школы. В 1897 году при Казанской художественной школе (КХШ) было открыто архитектурное отделение, принимавшее учеников с 12 лет. Рассматривая события и новации КХШ, как исключительного среднего специального образования в Среднем Поволжье, невозможно не заметить сходств с рассматриваемыми нами школами: создание школьной библиотеки, не имеющей аналога среди прочих библиотек города; совмещение педагогами архитектурного отделения проектной практики с преподаванием, что обеспечивало «раннее» подключение их учеников к непосредственно профессиональной деятельности; особые отношения в педагогическом коллективе.

Фигура К.Л. Мюфке – архитектора, сумевшего, связав с КХШ пятнадцать лет жизни (1897-1912), в годы своего директорства создать особую атмосферу «школы-среды», в нашем рассмотрении – знаковая. То, что благодаря ему, школа получила едва ли не лучшее на тот момент здание, предназначенное для специфического обучения, – факт общеизвестный. Выполняя административно-педагогическую работу в школе одновременно с частной проектной практикой, он успевал вести «воскресные чтения» по истории искусств, принимать деятельное участие в благотворительных балах в пользу

нуждающихся учеников, постановках «живых картин», организации лотерей живописных работ, всевозможных конкурсов.

Синтетизм творческих интересов, включение в культурную жизнь города, харизматичный лидер, стремящийся создать особую атмосферу сообщничества, преемственность в преподавании – все это позволяет говорить о некоем «генетическом коде» («Генетический код ДА-ДА», так называлась юбилейная выставка набережночелнинской школы, состоявшаяся в 2015 году), в равной степени обнаруживаемом в установках школ «ДАШКА», «ДА-ДА», и их «предтечи» – КШД.

М.Ю. Забрускова, рассказывая о становлении школьного коллектива, особо подчеркивает важность психологического комфорта, определяемого духом коллективного единения: «В «ДАШКе» изначально была создана такая атмосфера, где ты чувствуешь себя не так, как в школе. Там не было никакой конкурентной системы, туда принимали каждого, кто хотел, и относились к нему как к личности, а не как к ученику. Получилась почти семейная атмосфера – это очень ценная вещь. Когда мы принимаем новых преподавателей, то прокламируем ее как важный программный пункт» [10, с. 21]. Кроме этого в школе обеспечивается процесс взаимосвязи «игра – творчество – проект», что является немаловажным в процессе обучения. Подобный подход зафиксирован английским исследователем П.К. Смит. В своей работе (Smith P.K. Children and Play, 2010) он рассматривает важную роль игры в творческом развитии детей, подробно анализируя появление и развитие игрового подхода на разных континентах, в архитектурных школах разного уровня [11].

Жизнеспособность творчески-проектного подхода, способного обеспечить личностный и профессиональный рост, доказывает пример одного из ведущих преподавателей школы – доцента кафедры дизайна КГАСУ Т.Ю. Буровой. В 1991-1992 годах она – ученица школы «ДАШКА»; далее, став студентом архитектурного факультета, – уже ее преподаватель. Ранний опыт подобной практики предопределил вектор дальнейших профессиональных устремлений – работы на кафедрах Института архитектуры и дизайна КГАСУ, диссертационного исследования, напрямую связанного с одной из важных составляющих городского ландшафта «Архитектурные принципы формирования систем озеленения в центре исторически сложившегося города» (2007). Ныне в школе учится ее дочь. В дополнение к этому примеру, еще и демонстрирующему возможность «встраивания» преподавателя специализированной школы в городской архитектурный процесс, следует сказать, что среди студентов-педагогов последних лет есть как бывшие ученики школы «ДАШКА», так и «ДА-ДА», что указывает на еще одну форму профессионального диалога – межшкольную (форму расширенного представления как о возможностях профессионального выражения, так и «перенастройки» творческой единицы на работу в несколько ином культурном ландшафте).

Если для «ДА-ДА» действенным средством влияния на городскую среду стал цвет, то школой «ДАШКА» выход в городское пространство осуществлялся через запоминающиеся конструктивные формы, ставшие своеобразной визитной карточкой школы на профессиональном российском фестивале «Зодчество».

Один из первых подобных объектов, созданных силами учеников школы и их преподавателей, – «Крылья Дедала» (композиционная идея – ученика школы А. Хакимуллина) – был установлен на территории комплекса КГАСУ. Это определяет его особое значение – знак принадлежности к чему-то большему, равно как и знак средового «вживания». Место расположения комплекса – улица Калинина – одна из старейших улиц Казани. Долгое время, являясь местом расположения школы (1990-2010), она определяла образность и тематику многих летних практик-пленэров, школьных выставок. Одна из них, демонстрирующая фотографии построек старой Казани, была развернута на ее заснеженном пустыре (2011).

Объект, заключающий в своем названии имя легендарного Дедала – первого архитектора, способного как построить лабиринт, так и смастерить крылья, чтобы вырваться из него, стал исходной пространственной точкой реализации долгосрочной школьной программы «Тектор».

Программа «Тектор» – действенная проверка жизнеспособности исторически обусловленной казанской практикой концепции школа-мастерская – город мастеров.

Родившиеся в ходе выполнения учебных заданий школьных дисциплин «Композиция», «Моделирование» идеи учеников в ходе многостадийной работы находят воплощение в реальных городских пространствах.

Создаваемые в разных режимах городского «встраивания» – от зимнего павильона из пластиковых труб, возведенного среди февральских сугробов уличного пустыря, примыкающего к школе (2011), до летних парковых объектов («Беседка», «Скамья уединенная», 2014), созданных в рамках городского фестиваля «КНИГАФЕСТ», – запоминающиеся конструкты становились как объектами притяжения внимания горожан, так и формами выражения принципа творческого самоутверждения «здесь и теперь». Следование ему традиционно важно для архитектора на всех стадиях его существования, включая предпрофессиональную.

Среди указанных объектов особенным знаком «узнавания» традиции в «форме места» выступает конструкт-инсталляция «Скамья уединенная», украсившая собой на несколько дней один из старейших казанских садов – Лядской сад. В нем (композиционная идея – ученика школы Г. Инаишвили) нашли уместное выражение проверенные казанским временем эстетические установки русского конструктивизма (экономия материалов, динамизм форм, инженерное остроумие), один из лидеров которого – А.М. Родченко с 1910 по 1914 год был вольнослушателем КХШ.

Этот мастер-универсал – живой пример действенной продуктивности процесса «бесконечного отражения», характеризующего развитие российской культуры. Начав свое творческое формирование в Казани, далее он перебирается в Москву, откуда, войдя в творческие контакты с корифеями левого искусства (В. Кандинский, В. Маяковский), начинает транслировать свое влияние как на российскую провинцию, так и культуру европейских центров (в 1925 году за интерьер образцово-показательного рабочего клуба и дизайн рекламных плакатов Родченко получил серебряные медали Международной выставки декоративных искусств). В рамках нашей темы оправданный интерес вызывает серия «Пространственные конструкции» (1919) – их он сконструировал из картона, который впоследствии заменил фанерой, соединив геометрические фигуры так, чтобы их можно было легко разобрать. Заявленные мастером приемы перехода из живописи (работы были выполнены в цвете) в скульптуру легко обнаружить в работах курса «Моделирование», во многом предопределяющих будущие средовые объекты.

Возвращаясь к объекту «Скамья уединенная», невозможно не обнаружить в ее формах «отзвуки» еще более давней традиции обозначения казанского места через характерную форму – традиции средневековой тюркской городской культуры, сочетавшей в себе элементы оседлого и кочевого стиля. Казанские историки Н.Х. Халитов, Н.Н. Халитова, описывая виды, кажется, давно забытой кочевой архитектуры, – юрты, шатры, кибитки, палатки, навесы – находят в объектах, возникавших на протяжении всего времени существования оседлой культуры, их черты как выражение устойчивой во времени и сознании традиции [9, с. 377]. Скелетообразная конструкция с яркими тканными вставками «Скамьи уединенной», подобно конструкции юрты или навеса, оформляет место отдыха в старом саду («врастает» в прошлое), вызывая самые разные ассоциации (осознание своего прошлого в специфических образах и формах может идти как по пути прямого цитирования образцов, так и ассоциативного воспроизведения [9, с. 377]).

Подобные «выходы» в город (через формотворческие эксперименты) – один из путей формирования как творческих навыков учеников школы, их педагогов (организация учебного процесса по принципу формирующего эксперимента охватывает всех его участников), так и необходимых для их выражения свойств особой идентичности, включающей осознание важности диалога с местом.

Рассмотрение схожих по своим целям школ «ДА-ДА» и «ДАШКА» в рамках достаточно протяженного культурно-временного процесса позволяет говорить о них как о феноменах региональной архитектурной культуры, определяющих пути возможного решения ее актуальных проблем.

Диалогическая связка «школа – место» позволяет выявить в направленных действиях школ исходные причины их возникновения, только нарождающиеся и уже устоявшиеся традиции (прежде всего – традицию утверждения архитектурного знания на

ранней стадии профессионального становления), смыслопорождающие концепты развития (деятельного выживания и активного влияния на среду – в случае школы «ДА-ДА» и деликатного «врастания» – в случае школы «ДАШКА»).

Эффективность хода творческо-педагогического эксперимента, утверждающего архитектурную проблематику в новых (или временно забытых) возрастных рамках обеспечивают и определяют: частная инициатива (в обоих случаях исходной точкой возникновения новых учебных образований для детей и подростков была именно она); поиск продуктивных культурных ориентиров, прототипов, образов; целенаправленное формирование у будущих создателей «форм места» особых идентификационных качеств; насыщение школьной жизни местной проблематикой.

Список библиографических ссылок

1. Kenneth Frampton. Modern Architecture. Thames and Hudson Limited, 2007. 424 p.
2. Критический взгляд. Интервью с Кеннетом Фремптоном. URL: http://archi.ru/press/world/21973/stadion-san-nikola (дата обращения 04.01.2017);
3. Creating the Future Together with Children and Youth. URL: http://www.finnisharchitecture.fi/2014/06/creating-the-future-together-with-children-and-youth (дата обращения: 04.01.2017).
4. Designing with children. URL: http://www.designingwithchildren.net (дата обращения: 14.12.2016).
5. Сорокин Л. НЕТ-НЕТ // Карл Фукс, 2014, № 9. С. 14–17.
6. Хайман Т. А., Хайман В. И., Яковлева Л. Ш. 20 ЛЕТ. Полет продолжается... Наб. Челны : ОФИС-ТРЕЙД, 2010. 182 с.
7. Рихтер Х. ДАДА – искусство и антиискусство. Вклад дадаистов в искусство XX в. / Пер. с нем. : Книгоиздательство «Гилея», 2014. 357 с.
8. Григорьева Н. М. Альтернативный опыт внедрения колористики в окружающую среду молодого города» : сб. ст. III Всероссийской научно-практической конференции «Ступени-2015». Наб. Челны : НИСПТР, 2015. С. 185–192.
9. Халитов Н. Х., Халитова Н. Н. Стили и формы средневековой архитектуры Казани: историко-архитектурное исследование. Казань : Татар. кн. изд-во, 2013. 351 с.
10. Кириллов А. Архитектурное детство // Энергоразвитие, 2015, № 1-2. С. 18–25.
11. Smith P. K. Children and Play. UK : Wiley-Blackwell, 2010. 268 p.

Ryabov N.F. – senior lecturer
E-mail: ryabov.kazan@gmail.com
Burova T.Y. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: tadrik@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Factors of influence in the formation and work of regional children's architecture schools

Abstract

Problem statement. The leading children's architecture and design schools of the Tatarstan Republic («early» forms of expression of regional architectural culture) – «DA-DA» (Naberezhnye Chelny) and «DASHKA» (Kazan) to prove the effectiveness of «school place», identify the cultural prototypes, the original concepts of school development.

Results. A comparison of the facts of history, school objects stock allows to identify similarities of schools – approval of a three-stage program of continuous architecture and design education for children and adolescents functioning within the large educational centers («DA-DA» – part of a creative cluster uniting the school with NISPTR, «DASHKA», a subdivision of KSUAE); following the traditions established in the nineteenth century; and the differences. This defines the meaning of the concepts of development are similar formations in different

environments: an active survival and active influence on the monotonous environment in the case of the school «DA-DA» and the delicate «growing» in the historic city – in the case of school «DASHKA»).

Conclusions. The difference of school concepts, cultural orientation, scale innovations are largely determined by the place of occurrence and location of schools. The «school place» is defined through a trigger and conversion experiments in a real urban space. Participation in them is an effective method of forming of creative skills and maintain the particular traditions.

Keywords: school-environment, regional architectural school, traditions and innovations in architecture, children's architectural schools «DA-DA», «DASHKA».

References

1. Kenneth Frampton. Modern Architecture : Thames and Hudson Limited, 2007. 424 p.
2. Critical view. Interview with Kenneth Frampton. URL: http://archi.ru/press/world/21973/stadion-san-nikola (reference date: 04.01.2017).
3. Creating the Future Together with Children and Youth. URL: http://www.finnisharchitecture.fi/2014/06/creating-the-future-together-with-children-and-youth (reference date: 04.01.2017).
4. Designing with children. URL: http://www.designingwithchildren.net (reference date: 14.12.2016).
5. Sorokin L. NO-NO // Karl Fuchs, 2014, № 9. P. 14–17.
6. Hyman T. A., Hyman V. I., Yakovleva L. Sh. 20 YEARS. Flight continues... Nab. Chelny : OFIS-TREID, 2010. 182 p.
7. Richter H. DADA – art and anti-art. A contribution of dadaists to art of the 20th century / translation from German : Publishing house of «Giley», 2014. 357 p.
8. Grigorieva N.M. Alternative experience of introduction of coloring in environment of the young city : dig. of art. of the III All-Russian scientific and practical conference «Step-2015». Nab. Chelny : NISPTR, 2015. P. 185–192.
9. Halitov N. H., Halitova N. N. Styles and forms of medieval architecture of Kazan: historical and architectural research. Kazan : Tatar. kn. izd-vo, 2013. 351 p.
10. Kirillov A. Architectural childhood // Energorazvitiye, 2015, № 1-2. P. 18–25.
11. Smith P. K. Children and Play. UK : Wiley-Blackwell, 2010. 268 p.

УДК 624.012.35/45
Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Учет начальных напряжений и деформаций, при оценке несущей способности сталежелезобетонных конструкций на эксплуатационные нагрузки

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась разработка методики оценки напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных конструкций с учетом доэксплуатационных напряжений.

Результаты. Рассматривая начальное напряженно-деформированное состояние перекрытия при образовании нового сечения, усадку бетона в двух направлениях, его ползучесть и напряженное состояние изгибаемого элемента от длительного действия нагрузки получены новые выражения, описывающие напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонной конструкции на стадии эксплуатации.

Выводы. Разработана методика оценки несущей способности сталежелезобетонных конструкций на эксплуатационной стадии с учетом начального напряженного состояния.

Ключевые слова: сталежелезобетонная конструкция, длительные нагружения, эксплуатационная стадия, усадка и ползучесть бетона.

Сталежелезобетонные конструкции у нас в стране достаточно широко применяются в мостовых пролетных строениях. Незначительное их применение в гражданском строительстве, видимо, связано с малой изученностью поведения сталежелезобетонных конструкций на эксплуатационные нагрузки. Труды исследователей [1-3, 7-10] и действующие нормы проектирования (Еврокод [4], СП 35.13330.2011 Мосты и трубы) посвящены оценке несущей способности и выявлению их действительного напряженно-деформированного состояния при кратковременных нагружениях.

В реальных условиях конструкции [5] в том числе, и сталежелезобетонные испытывают длительные нагружения. В бетоне, который является одной из основных частей сталежелезобетонного составного сечения, от длительного воздействия нагрузок возникают деформации ползучести. Кроме того, в начальной период при твердении бетона, интенсивно проявляется эффект усадки бетона [5].

Анализ и учет факторов влияющих на начальное напряженно-деформированное состояние при оценке прочности элемента на эксплуатационные нагрузки позволит получить наиболее надежные и экономичные решения.

Влияние внутренних факторов, в том числе усадки и ползучести бетона, на напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонного сечения и их учет при оценке несущей способности сталежелезобетонных изгибаемых элементов на эксплуатационные нагрузки мало изучено, можно сказать, исследования находятся в начальной стадии. Собственные экспериментальные исследования [11-14] показывают, что после укладки бетона, в период его твердения происходит образование нового сталежелезобетонного сечения, что приводит к обратному выгибу ребер фрагмента плиты [11-12], начинается процесс усадки, затем ползучесть бетона (рис. 3, ист. [2]).

Экспериментальные исследования, проведенные на сталежелезобетонных балках и на плите размерами 3×3 м, позволяют анализировать напряженно-деформированное состояние балок и плит в период твердения бетона (рис. 1).

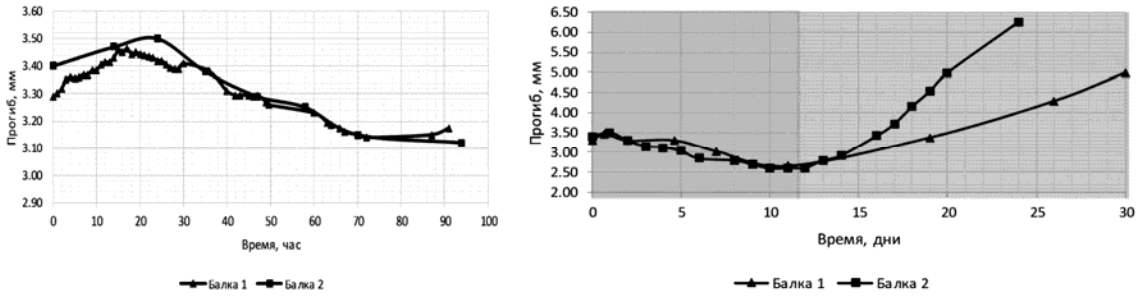
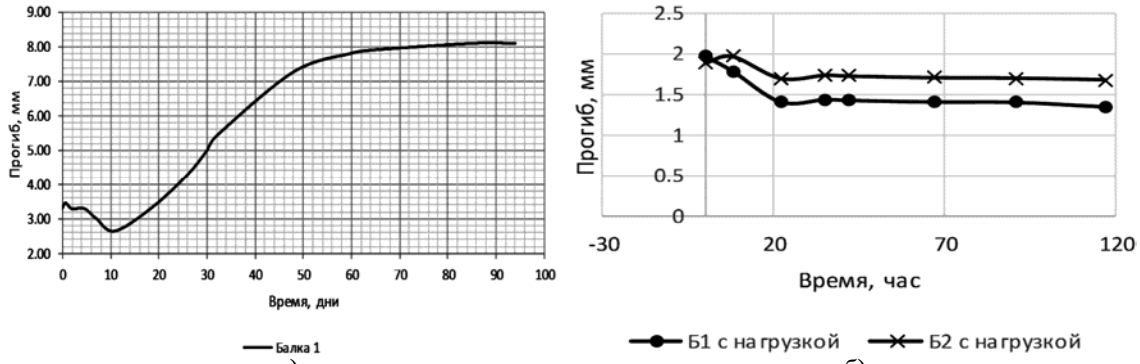


Рис. 1. Прогибы балки пролетом 4 м после укладки бетонной смеси

Прогиб балки под весом свежеуложенного бетона в течение первых суток от 0 до 24 часов после его укладки в опалубку увеличивается (рис. 1а), далее по мере образования нового сечения с бетонным верхним поясом наблюдается обратный выгиб (рис. 1б) вплоть до 13 дней. Затем из-за усадки бетона происходит обратный характер развития прогибов, который идет интенсивно до 50 дней и стабилизируется через три месяца от начала наблюдений (рис. 2а).

Для проверки предположения об образований композиционного сечения с верхним бетонным поясом, плита 3х3м в период твердения бетона была нагружена кратковременный статический нагрузкой опертой на три точки общим весом 250 кг.

Приложение внешней нагрузки с ее опиранием на специальные закладные детали, оставленные в период изготовления сталежелезобетонной плиты 3×3 м, подтвердили образование сталежелезобетонного сечения и характер прогибов оставался прежним, т.е. как и при отсутствии внешней нагрузки [13] (рис. 2б).



а) б)

Рис. 2. Прогибы отдельной балки (а) и ребер плиты 3×3 м (б)

По данным тензодатчиков сталежелезобетонной балки, наклеенных на стальной двутавр, по высоте сечения построены эпюры напряжений для периода 0-11 дней наблюдений.

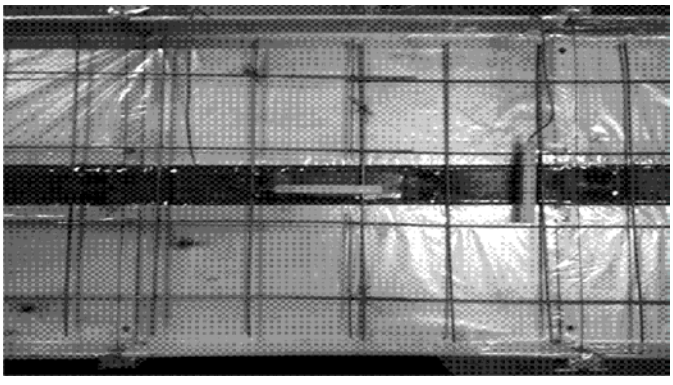


Рис. 3. Датчики деформаций бетона до укладки бетонной смеси

Построение эпюр напряжений на стальных ребрах балки [13] показывают изменение напряжений в них, характерных образованию составного сечения.

Для фиксации начала перехода бетона из жидкообразного в твердое состояние и образования нового сталебетонного сечения была изготовлена балка с верхним бетонным поясом без противоусадочной сетки. В теле бетона в середине сечения размещались специальные датчики деформаций вдоль (два) и поперек (один датчик) балки (рис. 3).

Замеры относительных деформаций бетона датчиками, оставленными в теле бетона сталежелезобетонной балки, показывают рост напряженно-деформированного состояния балки во время твердения бетона с первых часов наблюдений (рис. 4).

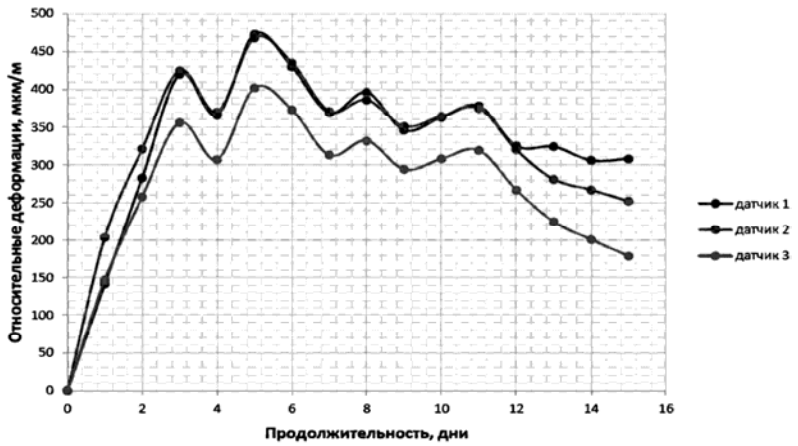


Рис. 4. Относительные деформации бетона вдоль (датчики 1-2) и поперек балки (датчик 3) по дням

В процессе твердения бетона вплоть до 3-5 дней идет образование нового сечения с верхней бетонной полкой. С 5 до 15 день наблюдений происходит интенсивная усадка бетона, причем поперек сечения усадка идет интенсивнее (с 400 усл. ед. до 180 усл. ед., т.е. на 55 %), а вдоль балки – с 450 усл. ед. до 300 усл. ед., т.е. на 33 %. Такую разницу можно объяснить наличием вдоль балки стального профиля, который оказывает большее удерживающее влияние на процесс усадки бетона.

Из анализа результатов экспериментов следует, что в первые сутки (до 6 часов для плиты размерами 6×6 м, 23 часа для балки пролетом 4 м) прогибы увеличиваются, что связано, с набуханием опалубки и набиранием твердеющим бетоном дополнительной влаги из окружающего воздуха. Затем, с продолжением процесса твердения бетона, происходит образование составного сталежелезобетонного сечения и вплоть до 23 ч для ребер плиты 6х6 м и 13 дн. для балки пролетом 4 м происходит обратный выгиб.

Разброс показаний можно объяснить резким отличием температурно-влажностного режима в период испытаний. Плита 6×6 м испытывалась в летнее время, когда t^0 наружного воздуха и в помещении была 24-28 ^{0}С. Плита 3×3 м и балка пролетом 4 м испытывались в зимнее время в условиях лаборатории КГАСУ, когда на улице t^0 была –20-26 ^{0}С, а в помещении +15-17 ^{0}С. Кроме того у отдельной балки в бетонной плите отсутствовала гибкая арматура, как их называют противоусадочной арматурой в источнике [15].

Анализ изменений напряжений в крайних фибрах поясов и в зоне нейтральной оси стального ребра экспериментальной плиты 6х6м [10] тоже подтверждает образование нового сечения со стальным ребром по мере твердения бетона. С момента укладки бетона до 4 часов происходит медленное наращивание напряжений на уровне нейтральной оси (теоретически не должно меняться), затем идет резкое увеличение напряжений (в 3-4 раза) и подъем нейтральной оси, элемента, работавшего как стальная балка на новый уровень соответствующей нейтральной оси нового сталежелезобетонного элемента (рис. 4 ист. [11]).

Изменения напряжений в верхнем поясе стального ребра плиты тоже происходят интенсивно (рис. 5 ист. [10]). За 14 часов с начало твердения бетона плиты напряжения в верхнем поясе уменьшаются в 5 раз, что подтверждает образование нового сечения и включение бетонной части в работу изгибаемого элемента.

Процесс твердения бетона, протекающий в течение длительного времени, сопровождается возникновением и развитием в сталежелезобетонных стержнях собственных напряжений, вызванным образованием составного сечения, усадкой бетона. Свободной усадке бетона препятствует как гибкая арматура в теле бетона, так и стальной профиль с которым его связывают анкерные стержни.

При действии эксплуатационной нагрузки из-за ползучести бетона происходит перераспределение напряжений между бетоном, арматурой и стальным профилем.

Рассматриваем напряженное состояние составных сечений, расположенных на достаточном удалении от концов стержня, где можно полагать как в источнике [5], сечения остаются плоскими в течение всего напряженного состояния, стальная арматура и профиль работают совместно. Считаем также, что эпюры нормальных напряжений изменяются по высоте сечений по линейному закону.

В действительности при высыхании бетона влажность (как следствие усадка и ползучесть) по толщине стержня изменяются неравномерно. При учете этого обстоятельства эпюры напряжений в бетоне приобретают нелинейный характер, особенно ярко усадочные напряжения, однако для немассивных стержней считают, что с достаточным для практики приближением можно принять линейный закон изменения напряжений в сечении [5]. Определяем начальные напряжения, появившиеся при твердении бетона вызванные усадкой бетона, от действующих нагрузок и ползучести бетона.

Основные предпосылки:

- бетон рассматривается как однородный изотропный материал;
- между мгновенными деформациями и напряжениями существуют линейная зависимость;
- для деформаций ползучести принимается принцип наложения, т.е. суммарная деформация ползучести при переменном напряжении может быть найдена как сумма деформаций ползучести вызванных соответствующими приращениями напряжений;
- абсолютные величины деформаций, как упругости, так и ползучести принимаются независящими от знака напряжений.

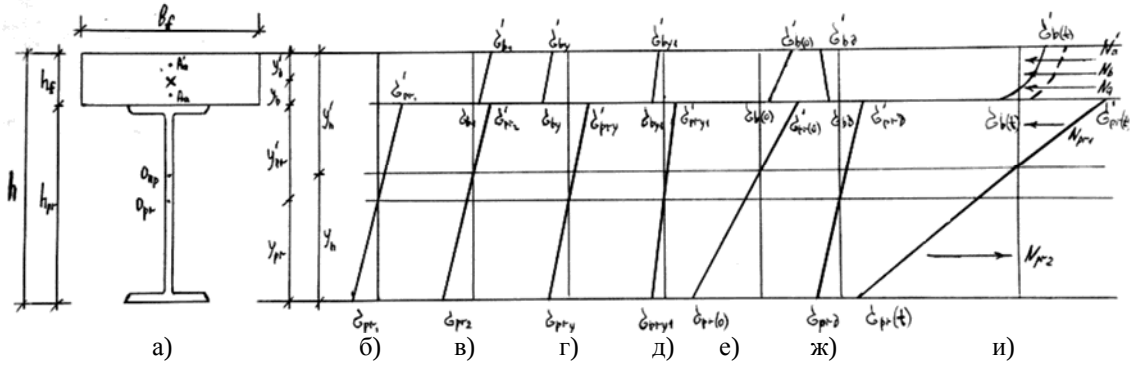
Начальное напряженно-деформированное состояние стального профиля в сечениях максимального изгибающего момента от действия только что уложенной бетонной смеси (рис. 5б) определяются по общеизвестным формулам:

$$s_{pr_1} = s'_{pr_1} = \frac{M}{J_{pr}} y_{pr}. \quad (1)$$

Начальные кривизна и прогиб:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_1}{J_{pr} E_{pr}}; \; f_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{бс} l^4}{J_{pr} E_{pr}}, \quad (2)$$

где M_1 – момент в балке от свежеуложенного бетона и опалубки, $g_{бс}$ – вес бетонной смеси и опалубки.



а) б) в) г) д) е) ж) и)

Рис. 5. Напряженное состояние сечения от эксплуатационных нагрузок, с учетом доэксплуатационных напряжений:
а) поперечное сечение; б) эпюра напряжений в стальном профиле от свежеуложенного бетона; в) эпюра начальных напряжений от образования нового сечения; г) эпюра напряжений от усадки бетона вдоль ребер; д) эпюра напряжения от поперечной усадки; е) эпюра напряжений от действия внешней нагрузки (t=0); ж) эпюра напряжений от ползучести бетона, и) эпюра установившихся напряжений σ (t)

При твердении бетона в сечении изгибаемого элемента возникает напряженное состоянии от появления бетонного верхнего пояса составного сечения и от собственного веса (бетон + стальной профиль) (рис. 5в).

Напряжения и усилия, развивающиеся в новом составном сечении (рис. 7) должны взаимно уравновешиваться. Из-за малости усилий в арматуре плиты в период твердения бетона ими пренебрегаем:

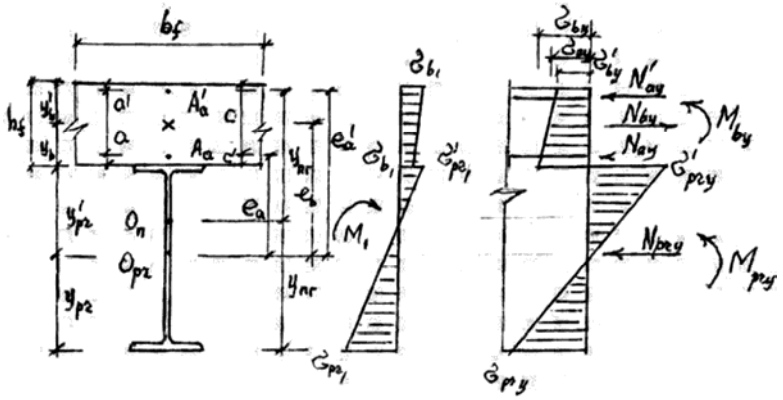
$$N_{b_1} + N_{pr_1} = 0, \tag{3}$$

$$N_{b_1}\left(y_b + y'_{pr}\right) + M_{b_1} + M_{pr_1} = M_1, \tag{4}$$

где M_1 – момент от собственного веса бетона и профиля. Уравнение совместности деформаций плиты и стального профиля на уровне шва «сталь-бетон»:

$$\frac{s'_{pr_1}}{E_{pr}} = \frac{s_{b_1}}{E_{b_1}}, \tag{5}$$

где $E_{b1}=kE_b$, k – коэффициент соответствующий возрасту бетона.



а) б) в)

Рис. 6. Расчетная схема для определения начальных напряжений:
а) поперечное сечение; б) напряжения от образования нового сечения;
в) напряжения от усадки бетона

Уравнение равенства кривизн плиты и стального профиля:

$$\frac{s'_{pr_1} - s_{pr_1}}{E_{pr} h_{pr}} = \frac{s'_{b_1} - s_{b_1}}{E_{b_1} h_f}. \tag{6}$$

В уравнениях (3) и (4):

$$M_{b_1} = \frac{s'_{b_1} - s_b}{h_f} J_f, \tag{7}$$

$$N_{pr_1} = \frac{s'_{pr_1} y_{pr} + s_{pr_1} y'_{pr}}{h_{pr}} A_{pr}, \tag{8}$$

$$M_{pr_1} = \frac{s'_{pr_1} - s_{pr_1}}{h_{pr}} J_{pr}, \tag{9}$$

$$s'_{b_1} = \frac{M_1}{J} y'_{пг}, \tag{10}$$

где $M_1 = \frac{g_{св_1} l^2}{8}$; $J = J_{pr} + hA_f\left(y_b + y_{pr}\right)^2$,

$$s_{b_1} = \frac{M_1}{J} y_{пг}. \tag{11}$$

Подставляя уравнение (5) в (11) находим:

$$s'_{pr_1} = \frac{M_1}{J} y'_{n2} E_{pr}. \quad (12)$$

Подставляя уравнение (6) в (12) получим:

$$s_{pr_1} = \frac{M_1}{J}\left[\frac{y_{n2}}{h_{pr}} - \frac{\left(y'_{n2} - y_{n2}\right)}{E_{b_1} h_f}\right] E'_{pr} h_{pr}. \quad (13)$$

Под влиянием усадки бетона в сечении изгибаемого элемента возникает дополнительное напряженное состояние, что объясняется задерживающим влиянием стального профиля и арматуры на свободную усадку монолитного бетона (рис. 5г).

В связи с тем, что напряжения и усилия, развивающиеся в сечении от усадки, относятся к категории собственных, и они должны взаимно уравновешиваться.

Условия равновесия сил и моментов:

$$N_{by} + N_{pry} + N'_{ay} + N_{ay} = 0, \quad (14)$$

$$N_{by} e_b + N'_{ay} e'_a + N_{ay} e_a + M_{by} + M_{pry} = 0. \quad (15)$$

Условие равенства кривизны изогнутых осей монолитной плиты и стального профиля:

$$\frac{M_{by}}{E_b J_n} g = \frac{M_{pry}}{E_{pr} J_{pr}}, \quad (16)$$

где при не учете обратимости деформаций ползучести [5]:

$$g = 1 + \frac{j_t}{2},$$

где φ_t – характеристика ползучести бетона.

Условия равенства деформаций бетона и арматуры, стального профиля и монолитного бетона плиты на уровне контактной плоскости «сталь-бетон»:

$$\frac{s'_{ay}}{E_a} - \frac{s_{by}}{E_b} g = e_y(t); \frac{s_{ay}}{E_a} - \frac{s_{by}}{E_b} g = e_y(t), \quad (17)$$

$$\frac{s'_{pr}}{E_{pr}} - \frac{s_{by}}{E_b} g = e_y(t). \quad (18)$$

В приведенных уравнениях значения усилий и моментов запишутся:

$$N_{by} = \frac{s'_{by} y_b + s_{by} y'_b}{h_n} A_n, \quad (19)$$

$$M_{by} = \frac{s'_{by} - s_{by}}{h_n} J_n, \quad (20)$$

$$N_{pry} = \frac{s'_{pry} y_{pr} + s_{pry} y'_{pr}}{h_{pr}} A_{pr}, \quad (21)$$

$$M_{pry} = \frac{s'_{pry} - s_{pry}}{h_{pr}} J_{pr}, \quad (22)$$

$$N'_{ay} = s'_{ay} A'_a; N_{ay} = s_{ay} A_a, \quad (23)$$

где $\varepsilon_y(t)$ – относительные деформации усадки бетона плиты к моменту времени (t);
A_n, A_{pr}, A'_a, A_a, J_n, J_{pr} – площади поперечного сечения плиты, стального профиля, арматуры и моменты инерции плиты и профиля.

Из уравнений (3), (4), (7), (8) находим:

$$s'_{pry} = e_y(t) E_{pr} + ng s_{by}, \quad (24)$$

$$s_{pry} = e_y(t) E_{pr} + \left(s_{by} h - s'_{by} h_{pr}\right) \frac{ng}{h_n}. \quad (25)$$

Из уравнений (1)-(2) получим:

$$s'_{by} = \frac{w_2 w_4}{w_3 w_5 - w_1 w_4}, \quad (26)$$

$$s_{by} = \frac{w_2 w_3}{w_3 w_5 - w_1 w_4}, \tag{27}$$

где

$$w_1 = A_n y_6 - ng A_{pr} y'_{pr}, \tag{28}$$

$$w_2 = e_y(t) E_{pr} A_{pr} h_{pr}, \tag{29}$$

$$w_3 = A_n y_b (y'_{pr} + y_b) + J_n + ng J_{pr}, \tag{30}$$

$$w_4 = A_n y'_b (y'_{pr} + y_b) - J_n - ng J_{pr}, \tag{31}$$

$$w_5 = A_n y'_b + ng A_{pr} (y'_{pr} + h_{pr}), \tag{32}$$

$$s'_{ay} = \left(s_{by} a' + s'_{by} a\right) \frac{ng}{h_n} + e_y(t) E_a, \tag{33}$$

$$s'_{ay} = \left(s'_{by} c' + s_{by} c\right) \frac{ng}{h_n} + e_y(t) E_a. \tag{34}$$

Кривизну, вызванную усадкой, можно определить по кривизне стального профиля:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{M_{pry}}{E_{pr} J_{pr}}. \tag{35}$$

Принимая приближенно, что момент распределяется по длине элемента по прямоугольному закону [6], прогиб сталежелезобетонной балки от усадки можно записать:

$$f_y = \frac{1}{8} \frac{M_{pry}}{E_{pr} J_{pr}}. \tag{36}$$

Для учета усадки бетона в поперечном направлении (рис. 5д) введем коэффициент поперечного расширения упругой деформации «ν», который равен для бетона [6] ν=0,13-0,22.

Тогда выражения для учета поперечных напряжений от усадки бетона будут:

$$s'_{by} = n s'_{by}; s_{by_\perp} = n s_{by}; s'_{ay_\perp} = n s'_{ay}; s'_{pry_\perp} = n s'_{pry}; s_{pry_\perp} = n s_{pry}; s_{ay_\perp} = n s_{ay}. \tag{37}$$

Дополнительный прогиб от поперечной усадки бетона:

$$f_{y_\perp} = n f_y. \tag{38}$$

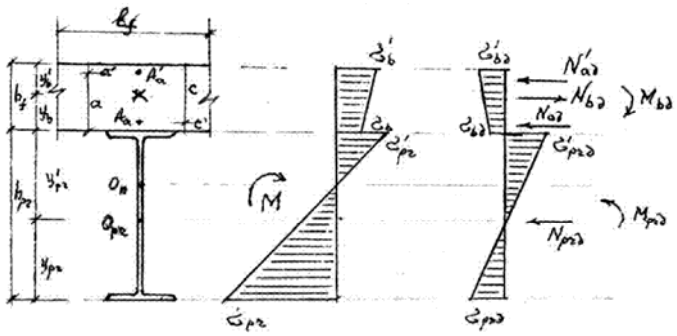


Рис. 7. Напряженное состояние сечения для определения напряжений ползучести бетона

Для определения напряжений, вызванных ползучестью бетона (рис. 7) составим следующие уравнения:

$$N_{bg} - N_{prg} - N'_{ag} - N_{ag} = 0, \tag{39}$$

$$N_{bg}\left(y'_{pr} + y_b\right) - N'_{ag}\left(a + y'_{pr}\right) - N_{ag}\left(c' + y'_{pr}\right) + N_{bg} - M_{prg} = 0, \tag{40}$$

где

$$N_{bg} = \left(s'_{bg} y_b + s_{bg} y'_b\right) \frac{A_f}{h_f}, \tag{41}$$

$$N_{bg} = \left(s'_{bg} - s_{bg}\right) \frac{J_f}{h_f}, \tag{42}$$

$$N_{pr}\left(s'_{prg}y_{pr}+s_{prg}y'_{pr}\right)\frac{A_{pr}}{h_{pr}}, \tag{43}$$

$$N_{prg}\left(s'_{prg}-s_{pr}\right)\frac{J_{pr}}{h_{pr}}. \tag{44}$$

Уравнение совместности деформаций плиты и стального профиля на уровне шва «сталь-бетон»:

$$\frac{s'_{prg}}{E_{pr}}=\frac{s_b}{E_b}f_t+\frac{s_{bg}}{E_b}g. \tag{45}$$

Уравнение равенства дополнительных кривизн плиты и стального профиля:

$$\frac{s'_{prg}-s_{prg}}{E_{pr}h_{pr}}=\frac{s'_b-s_b}{E_bh_b}f_t+\frac{s'_{bg}-s_{bg}}{E_bh_b}g. \tag{46}$$

Из уравнений (46)-(47):

$$s'_{prg}=ns_{bg}f+s'_{pr}f_t, \tag{47}$$

$$s_{prg}=(s_{bg}h-s'_{by}h_{pr})\frac{ng}{h_f}+s_{npr}f_t. \tag{48}$$

Напряжения в бетоне из-за ползучести бетона:

$$s'_{bg}=\frac{w_2w_4-w_{56}}{w_3w_6-w_1w_4}, \tag{49}$$

$$s_{bg}=\frac{w_1w_5-w_2w_3}{w_3w_6-w_1w_4}, \tag{50}$$

где

$$w_2=(s'_{pr}y_{pr}+s_{pr}y'_{pr})\frac{A_{pr}h_f}{h_{pr}}f_t, \tag{51}$$

$$w_5=(s'_{pr}-s_{pr})\frac{J_{pr}h_f}{h_{pr}}f_t, \tag{52}$$

остальные ω_1, ω_3, ω_4, ω_6 – определяют по формулам (28)-(32).

Исходя из равенства кривизн бетонной плиты и стального профиля дополнительная кривизна:

$$\frac{1}{r_y}=\frac{M_{pro}}{E_{pr}J_{pr}}. \tag{53}$$

Дополнительный прогиб:

$$f_o=\frac{5}{48}\frac{M_{pro}}{E_{pr}J_{pr}}. \tag{54}$$

По аналогии с ранее записанными выражениями для сталежелезобетонного элемента, состоящего из стального профиля и монолитной бетонной плиты [9] можно записать выражения для определения напряженно-деформированного состояния изгибаемого элемента с учетом начального напряженно-деформированного состояния:

$$N_x=N_b+N'_a+N_a+N_{pr_1}-N_{pr_2}=0, \tag{55}$$

или

$$N_x=\int_0^{h_f}s_b(t)b_fdh_f+s'_a(t)+s_a(t)+s_{pr_1}(t)A_{pr_1}-s_{pr_2}(t)A_{pr_2}, \tag{55a}$$

где $\sigma_b(t)$ – значение напряжений от эксплуатационной нагрузки с учетом начальных значений с момента твердения бетона. Все установившиеся напряжения определяются как сумма всех значений начальных напряжений со своим знаком:

$$s'_b(t)=s'_{b_1}+s'_{by}+s'_{by_\perp}+s'_{b_{(0)}}+s'_o,$$

$$s_b(t)=s_{b_1}+s_{by}+s_{by_\perp}+s_{b_{(0)}}+s'_o,$$

$$s'_a(t)=s'_{ay}+s'_{ay_\perp}+s'_{a_{(0)}}+s'_{ao},$$

$$s_a = s_{ay} + s_{ay_\perp} + s_{a_{(0)}} + s'_{a\partial},$$

$$s'_{pr}(t) = s'_{pr_1} + s'_{pr_2} + s'_{pr_y} + s'_{pr_{y\perp}} + s'_{pr_{(0)}} + s'_{p\partial},$$

$$s_{pr}(t) = s_{pr_1} + s_{pr_2} + s_{pr_y} + s_{pr_{y\perp}} + s_{pr_{(0)}} + s_{pr\partial}.$$

Методом последовательных приближений (итераций) по формуле (55а) определяем высоту сжатой зоны «х», до выполнения условия $\Delta N_x \leq \alpha$, где α – заданная точность вычислений.

Уравнение изгибающих моментов запишется в следующем виде:

$$M_z = N_b z_1 + N'_a z_2 + N_a z_3 + N_{pr_1} z_4 + N_{pr_2} z_5, \quad (56)$$

где N – внутреннее усилие от суммарных напряжений соответствующего слоя составного сечения;

$z_{i(1-5)}$ – плечо соответствующего внутреннего усилия до нейтральной оси составного сечения.

Прочность сталежелезобетонных конструкций оценивается исходя из условия:

$$M_э \leq M_z, \quad (57)$$

где $M_э$ – изгибающий момент от эксплуатационной нагрузки.

Полный прогиб изгибаемого составного элемента от эксплуатационной нагрузки с учетом начальных и дополнительных прогибов будет:

$$f = f_1 - f_2 + f_y + f_{y_\perp} + f_\partial + f_{экс(t)}. \quad (58)$$

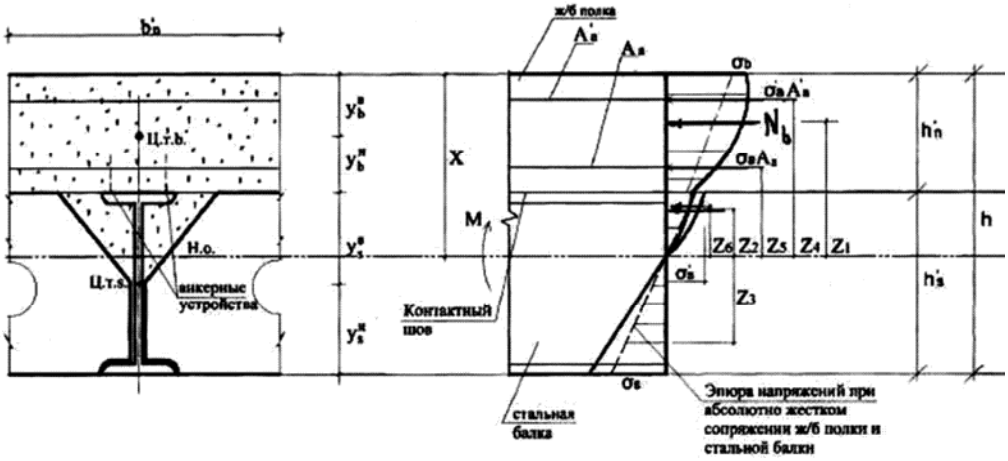


Рис. 8. Схема усилий и напряжений в сталежелезобетонном сечении

В общественных и жилых зданиях может найти применение сталежелезобетонное перекрытие по стальным балкам с легкобетонными вкладышами [16]. В отличие от перекрытий с монолитной плитой по стальным балкам оно имеет ряд преимуществ, таких как: не нужен подвесной потолок, обладает лучшими показателями огнезащиты и шумозащиты и т.п.

Для такого перекрытия (рис. 8) формулы прочности запишутся аналогично (55)-(56):

$$N_z = N_b + N_{b_\nabla} + N'_a + N_a + N_{pr_1} - N_{pr_2} = 0, \quad (59)$$

$$M_z = N_b z_1 + N'_{b_\nabla} z_2 + N_{pr_2} z_3 + N'_a z_4 + N_a z_5 + N_{pr_1} z_6. \quad (60)$$

Список библиографических ссылок

1. Hicks S. J., Lawson R. M., Lan D. Design considerations for composite beams using precast cocete slabs. In : Composite Construction in Steel and Cocrete V. American Society of Civil Engineers. New York, 2006. P. 190–201.
2. Lange J. Design of edge beams in slim floors using precast hollow core slabs. In : Composite Construction in Steel and Concrete V. American Society of Civil Engineers. New York, 2006. P. 260–269.

3. Leskela M. V. Finnish code provisions for the design of the hollow core slabs supported on beams. In: Composite Construction in Steel and Concrete V. American Society of Civil Engineers. New York, 2006. P. 202–213.
4. Eurocode 4: Design of concrete structures. Part 1: General rules for building. European Committee for Standardization, 2002. 226 p.
5. Голышев А. Б., Полищук В. П., Руденко И. В. Расчет железобетонных систем с учетом фактора времени. Киев, 1984. 128 с.
6. Голышев А. Б. Расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. М., 1964. 151 с.
7. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of unique buildings and structures. 2014. № 11 (26). P. 85–93.
8. Construction metallique. Paris, Franse : Revue № 4, 1991.
9. Мирсаяпов И. Т., Замалиев Ф. С. Расчет прочности сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на основе аналитических диаграмм // Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций: сборник научных трудов. Казань : КГАСА, 1999. С. 142–149.
10. Замалиев Ф. С. Учет нелинейных свойств материалов и податливости слоев при расчете прочности сталежелезобетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 5. С. 38–41.
11. Замалиев Ф. С. Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонной конструкции на этапе возведения // Известия КГАСУ. 2011. № 1 (15). С. 72–76
12. Замалиев Ф. С. Выявление доэкспериментальных напряжений и деформаций стальных балок-ребер сталежелезобетонных перекрытий // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 33–39.
13. Замалиев Ф. С., Биккинин Э. Г. Экспериментальные исследования начального напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балок и плит // Известия КГАСУ. 2015. № 2 (32). С. 149–152.
14. Замалиев Ф. С., Биккинин Э. Г. Основные факторы, влияющие на начальные напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 161–165.
15. Айрумян Э. Л., Каменщиков Н. И., Румянцева И. А. Особенности расчета монолитных плит сталежелезобетонных перекрытий по профилированному стальному настилу // Журнал ПГС. 2015. № 9. С. 21–29
16. Сборно-монолитное перекрытие : пат. 133549 Рос. Федерация. № 2913119949/03 ; заяв. 29.04.2013 ; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29. 2 с.

Zamaliev F.S. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Accounting initial stresses and strains in the evaluation of the bearing capacity of composite steel-concrete structures for operational load

Abstract

Problem statement. The aim is to develop a methodology for assessing the stress-deformed state of composite steel-concrete structures subject to operational stresses.

Results. Considering the initial stress-strain state of overlapping with the formation of a new section, concrete shrinkage in two directions, its creep and stress state of a flexible element of the long-term action of the load received new expressions describing the stress-strain state of a composite steel-concrete structure during the operational phase.

Conclusions. A method for evaluating the bearing capacity of composite steel-concrete structures at the operational stage, taking into account the initial state of stress.

Keywords: composite steel-concrete structures, long-term loading, the operational stage, the shrinkage and creep of concrete.

References

1. Hicks S. J., Lawson R. M., Lan D. Design considerations for composite beams using precast cocete slabs. In: Composite Construction in Steel and Concrete V. American Society of Civil Engineers, New York. 2006. P. 190–201.
2. Lange J. Design of edge beams in slim floors using precast hollow core slabs. In: Composite Construction in Steel and Concrete V. American Society of Civil Engineers, New York. 2006. P. 260–269.
3. Leskela M.V. Finnish code provisions for the design of the hollow core slabs supported on beams. In: Composite Construction in Steel and Concrete V. American Society of Civil Engineers. New York, 2006. P. 202–213.
4. Eurocode 4: Design of concrete structures. Part 1: General rules for building. European Committee for Standardization, 2002. 226 p.
5. Golishev A. B., Polischuk V. P., Rudenko I. V. Calculation of reinforced concrete systems, taking into account the time factor. Kyiv, 1984. 128 p.
6. Golishev A. B. Calculation of prestressed concrete structures taking into account the long-term processes. M., 1964. 151 p.
7. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of unique buildings and structures. 2014. № 11 (26). P. 85–93
8. Construction metallique. Paris, Franse : Revue № 4, 1991.
9. Mirsayapov I. T., Zamaliev F. S. Strength calculation of steel reinforced concrete bent designs on the basis of analytical charts // Development and research of metal and wooden structures: a collection of scientific works. Kazan : KGASA, 1999. P. 142–149.
10. Zamaliev F. S. Accounting for non-linear properties of the materials and pliability of the layers in the calculation of the strength of composite steel-concrete slabs // Industrial and civil construction. 2013. № 5. P. 38–41.
11. Zamaliev F. S. Stress-strain state of a composite steel-cocrete structure at the stage of the construction // Izvestija KGASU. 2011. № 1 (15). P. 72–76.
12. Zamaliev F. S. Revealing to the experimental stress and strain of steel beams, ribs of composite steel-concrete slabs // Vestnik MGSU. 2013. № 7. P. 33–39.
13. Zamaliev F. S., Bikkinin E. G. Experimental studies of the initial stress-strain state of composite steel-concrete beams and plates // Izvestiya KGASU. 2015. № 2 (32). P. 149–152.
14. Zamaliev F. S., Bikkinin E. G. Major factors affecting the initial stress-strain state of composite steel-concrete structures // Proceedings KGASU. 2015. № 4 (34). P. 161–165.
15. Hayrumyan E. L., Kamenschikov N. I., Rumyantseva I. A. Features of the calculation of monolithic slabs of composite slabs profiled steel decking // PGS Journal. 2015. № 9. P. 21–29.
16. Collapsible monolithic slab : patent 133549 Russ. Federation. № 2913119949/03 ; decl. 04.29.2013 ; publ. 20.10.2013, Bull. in № 29. 2 p.

УДК 536.2.022, 697.137.2
Куприянов В.Н. – доктор технических наук, профессор
E-mail: Kuprivan@kgasu.ru
Юзмухаметов А.М. – аспирант
E-mail: Aynur.Yuzmuhametov@mail.ru
Сафин И.Ш. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: zavlab17@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса

Аннотация

Постановка задачи. В ограждающих конструкциях зданий вследствие изменения влажности материалов в течение года заметно изменяются теплофизические характеристики строительных материалов. Изменение величины коэффициента теплопроводности в большой степени зависит от влажности материала.

Результаты. Исследованием влияния различных эксплуатационных факторов на коэффициент теплопроводности занимались многие ученые. В известных работах определяли влияние структуры материалов, их пористости, размеров пор, температуры, влажности, льдистости и других факторов. Однако многие аспекты этой проблемы остаются неизученными. Так, при исследовании влияния влажности материалов на их теплофизические свойства изучают, как правило, влияние высоких значений влажности материалов (объемной или массовой) на коэффициент их теплопроводности. При этом весьма ограничена информация о влиянии низких значений влажности материалов, связанных с сорбцией влаги из влажного воздуха и процессами диффузии водяного пара через ограждающие конструкции.

Выводы. Установлено, что с ростом влажности материалов растет коэффициент их теплопроводности, однако степень изменения теплопроводности материалов различна на различных диапазонах влажности. Коэффициент теплопроводности строительных материалов исследуется без учета состояния влаги в пористой структуре материала, а именно сорбционной, пленочной, капиллярной и т.д.

Исследование зависимости коэффициента теплопроводности от вида связи влаги с материалом является актуальной задачей, что позволит определять теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в зависимости от вида эксплуатационной влаги в широком интервале её изменения в ограждающих конструкциях.

Ключевые слова: теплопроводность, температура, сорбция, десорбция, влажность, капилляры, пористость.

В действующем СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» при оценке теплотехнических характеристик многослойных конструкций стен зданий влажность учитывается только для двух условий эксплуатации – А или Б. Коэффициент теплопроводности материалов при других условиях эксплуатации остается неизученным. Влажностное состояние ограждающих конструкций находиться в очень широких пределах, по исследованиям [1] конструкции переувлажнены, а в работах [2, 3] показано, что относительная влажность воздуха в материалах при эксплуатации зданий изменяется, как правило, в диапазоне 20-85 %. В этом диапазоне относительной влажности воздуха и будет формироваться сорбционное увлажнение материальных слоев ограждающих конструкций и их коэффициент теплопроводности.

Поэтому, исследования направленные на совершенствование методики теплотехнического расчёта ограждающих конструкций с учетом фактической влажности материалов и фактических значений их теплопроводности, являются актуальными и имеют практическую значимость.

В.Н. Богословский определил коэффициент теплопроводности (λ) строительных материалов как собирательный эквивалентный коэффициент, учитывающий структурные параметры и все физические процессы, происходящие в материале.

В работах Ф.В. Ушкова, В.Н Богословского детально освещён физический механизм влияния изменения температурно-влажностного и воздушного режимов эксплуатации стен на теплопроводность материальных слоев. Одним из первых отечественных ученых, изучавших теплопроводность строительных материалов, является Н.Н. Георгиевский. Он установил зависимость коэффициента теплопроводности от одного из наиболее важных физических свойств материалов – степени пористости.

И. Каммерер, Б.П. Кауфман, К.Ф. Фокин изучали влияние структурных характеристик материалов (объемный вес, пористость, характер, форму и размеры пор и т.д.) и основных физических факторов (влажность, температура) на коэффициент теплопроводности строительных материалов. И. Каммерер выявил на примере двух материалов (обожженный изоляционный кирпич со сравнительно грубой пористостью и мелкопористая теплоизоляционная масса), что на величину коэффициента теплопроводности значительное влияние оказывает размер пор, и с увеличением (повышением) пористости материала разница между значениями коэффициентов теплопроводности от соответствующих размеров пор только увеличивается. Так, например, при пористости материалов 70 % разница между величинами коэффициентов теплопроводности двух различных материалов составляет 4 %, а при пористости 95 % эта величина выросла до 45 %. К.Ф. Фокин также отмечает, что при размере пор 0,1 мм λ=0,024 Вт/(м·°С), а при размере пор 2 мм λ=0,031 Вт/(м·°С).

Исследованием перемещения парообразной и жидкой влаги в пористых средах занимались В. Каммерер, А.П. Порхаев, А.У. Франчук, В.Г. Гагарин, В.Н. Богословский, К.Ф. Фокин, В.Н. Куприянов [4], К. Шпайдель, Е. Шильд. В. Каммерер предложил физико-математическую модель процесса капиллярного всасывания. А.П. Порхаев вывел уравнение движения жидкости в капилляре. Из которого следует, что, чем меньше радиус капилляров, тем больше высота поднятия воды, и тем меньше скорость поднятия воды. Установил, что плотные материалы (конструкционный бетон, кирпич клинкерный) в виду отсутствия сообщающихся капилляров и крупных пор обладают малыми характеристиками капиллярного всасывания. С другой стороны, эффективные теплоизоляционные материалы тоже плохо всасывают воду по причине отсутствия микрокапилляров (минеральная вата), гидрофобности материалов (пенополиуретан), наличия закрытых пор (ПСБ-С) (Гагарин В.Г. Совершенствование методик определения влажностных характеристик строительных материалов и метода расчета влажностного режима ограждающих конструкций : дис. … канд. тех. наук. М., 1984. 219 с.).

В работах К.Ф. Фокина, Р.Е. Брилинга, А.У. Франчука, Ф.В. Ушкова, В.Н. Богословского, В.М. Ильинского, А.В. Лыкова, В.Г. Гагарина были разработаны методы расчета влажностного состояния ограждений, учитывающие закономерности переноса парообразной и жидкой влаги. На практике широко применяется графоаналитический метод расчета увлажнения ограждающих конструкций, разработанный К.Ф. Фокиным в 30-х годах XX столетия. Метод заключается в построении линий распределения температур, действительных и максимальных упругостей водяного пара по толщине ограждения. Этот метод позволяет определить расположение плоскости конденсации и количество конденсированной влаги. Однако, этот метод не учитывает влияния температурного поля на перераспределение сорбционной влаги в материале. Как показано на примере лабораторного исследования покрытия промышленного здания, состоящего из металлического листового настила, 2-х слоев торфоплит толщиной по 32 мм, пергамина и 3-х слоев рубероида на мастике. Торфоплиты имели по всей толщине постоянную влажность ≈ 90 % и температуру 18 °С. В течение 45 суток конструкция находилась в климатической камере, где с одной стороны поддерживалось температура воздуха + 14 °С, а с другой – 9 °С. В результате воздействия температуры нарушилась первоначальная равномерно-распределенная влажность. В зоне отрицательных температур влажность материала увеличилась до 230 %, а в зоне положительных температур – уменьшилась до 10 %. (Франчук А.У. Вопросы теории и расчета влажности ограждающих частей зданий. М. : Изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957. 188 с.). Исследуя однослойную стену из легкого бетона, К.Ф. Фокин отмечает, что в материале ограждения происходит неравномерное перераспределение влаги вследствие изменения относительной влажности воздуха в порах материала (рис. 1а). Следовательно,

даже при отсутствии конденсации влаги в зимнее время влажность материалов ограждения в результате сорбции ими водяного пара будет повышаться. Поскольку влажность материала по толщине ограждения различна, то и коэффициент теплопроводности по толщине ограждения различен (рис. 1б). По толщине ограждения влага может быть одновременно в различных состояниях (пленочная, капиллярная, объемная и т.д.). Поэтому существует некоторая неопределенность относительно влажностных режимов материальных слоев конструкции, и, как следствие, неопределенность фактических значений коэффициента теплопроводности.

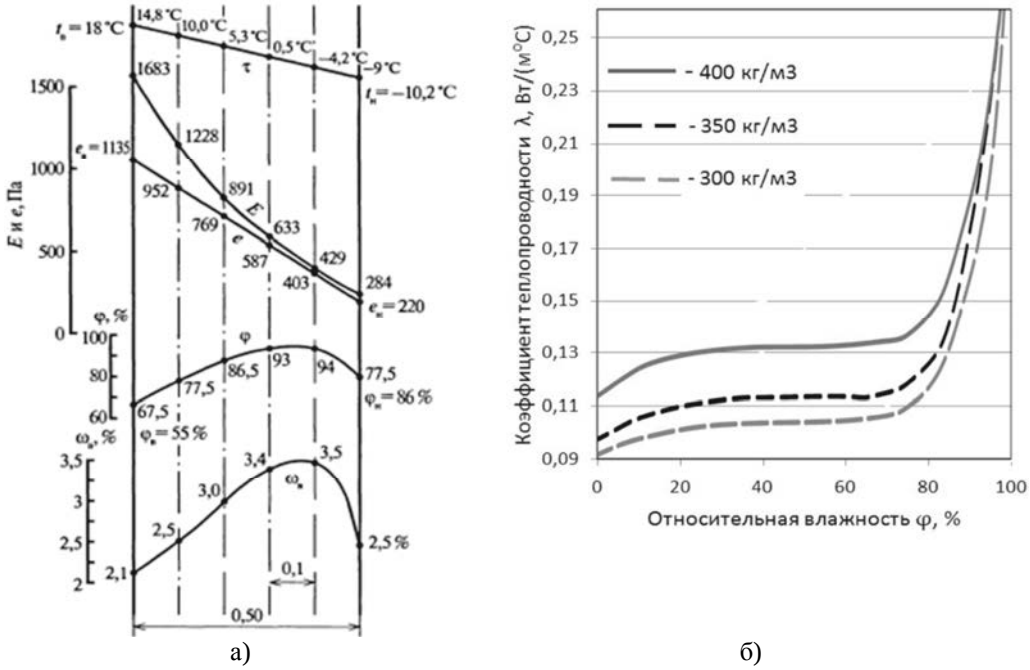


Рис. 1. Схема стационарного влажностного режима сплошной легкобетонной стены в зимний период по К. Ф. Фокину (а) и график зависимости теплопроводности ячеистого бетона с различной плотностью по R. Drochytka [6] (б)

По мере развития ЭВМ стало возможным использование нестационарных методов расчета в прогнозировании влажностного состояния ограждающих конструкций. Из современных ученых, выделяющихся в этом направлении можно отнести А.Г. Перехоженцева [5], И.Я. Киселева, В.Г. Гагарина, В.В. Козлова, П.П. Пастушкова. Численные исследования позволяют просчитать:

- время выхода конструкции в равновесное состояние с окружающей средой, тем самым спрогнозировать значение эксплуатационной влажности материалов;
- влияние различных факторов;
- распределение влажности по толщине конструкции в любой момент времени.

Как было отмечено ранее, в отечественных нормах по теплозащите зданий расчетные значения теплопроводности определяется для двух режимов эксплуатации А и Б, при этом фактический температурно-влажностный режим эксплуатации конструкций не учитывается. В мировой практике расчет и прогнозирование температурно-влажностного режима выполняется на базе нескольких стандартов (ISO 6949, ISO 10456, ISO 13788, ISO 8301, ISO 8302, ISO 8990). В отличие от отечественного СП в стандарте ISO 6949 введены поправочные коэффициенты, определяемые по ISO 10456, которые позволяют производить преобразование теплотехнических характеристик, определенных при одних условиях (λ_1, R_1) в значения, действительные для других условий (λ_2, R_2). Поправочные коэффициенты учитывают влияние температуры, влажности и влияние старения строительного материала, т.е. учитывают условия максимально приближенные к реальной эксплуатации ограждающих конструкций. Это является определенным преимуществом зарубежных норм перед отечественными.

В настоящее время отсутствует нормативный документ по методу определения зависимости коэффициента теплопроводности от влажности строительных материалов. Не представляется так же возможным установить общую математическую зависимость для всех строительных материалов, т.к. значительное влияние оказывают такие факторы, как химико-минералогический состав, структура, пористость, форма и расположение пор и т.д. Поэтому исследования сводятся к выявлению эмпирических зависимостей теплопроводности материалов (λ) от их влажности (W) – λ(W) для отдельных материалов. Эмпирические зависимости λ(W) в разные годы были определены такими учеными как Е. Шильд, И. Я. Гнип, С.А. Веялис, А.У. Франчук, Т.И. Рубашкина, R. Drochytka [6], Н.В. Давыденко [7], Z. Suchorab [8]. В качестве примера в табл. приведены зависимости λ(W) для некоторых материалов.

Таблица

Эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности строительных материалов

Расчетная формула	Характеристики материалов
$\lambda_w = l(1 + \frac{W_м \cdot k}{100})$ (1)	Утеплители органического происхождения
$\lambda_w = l(1 + \frac{W_{об} \cdot k}{100})$ (2)	Материалы неорганического происхождения
$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + kW)$ (3) $\Delta\lambda_w = a \cdot W^k$ (4)	Органические утеплители ячеистого строения
$\lambda_w = \lambda \cdot e^{k \cdot W}$ (5)	Органические материалы волокнистого строения (рыхлые)
$\lambda_w = l + k \cdot W_{об}$ (6) $\lambda_w = k \cdot \frac{W}{100} + a$ (7)	Неорганические материалы ячеистого строения

Примечание: λ, λ_w – коэф. теплопроводности сухого и влажного материала соответственно, Вт/(м·°С); $\Delta\lambda_w$ – поправочный коэф. теплопроводности, Вт/(м·°С); $W_м$, $W_{об}$ – влажность материала по массе и по объему соответственно, %; e – основание натуральных логарифмов; k, a – эмпирические коэффициенты.

На рис. 2 и 3 показаны экспериментальные зависимости теплопроводности от влажности для различных материалов, полученные как отечественными, так и зарубежными авторами. Из рисунков видно, что зависимости λ(W) имеют, как линейную, так и нелинейную форму.

Нелинейная форма зависимости проявляется при малых значениях влажности (рис. 2б) и после увеличения влажности до некоторого значения на рис. 3а ≈ 15 %, а на рис. 3б ≈ 8 %.

По рис. 2в видно, что графики зависимости λ(W) для газобетона различной плотности расположены практически параллельно, в отличие от графиков, изображенных на рис. 2г. Прирост теплопроводности от влажности больше проявляется для газобетона меньшей плотности. Для объяснений этого необходимо рассмотреть микро- и макроструктуру материала. Для газобетона характерно равномерно распределенные по всему объему сферические поры, замкнутые, не сообщающиеся друг с другом. Средний размер пор (ячеек) Ø 1-3 мм. Вместе с этим пористость отмечается и в стенках пор. В зависимости от плотности газобетона сочетание объема пор (ячеек) и объема пор в стенках ячеек изменяется, в соответствии, с чем и изменяется степень влияния влажности материалов на их теплопроводность.

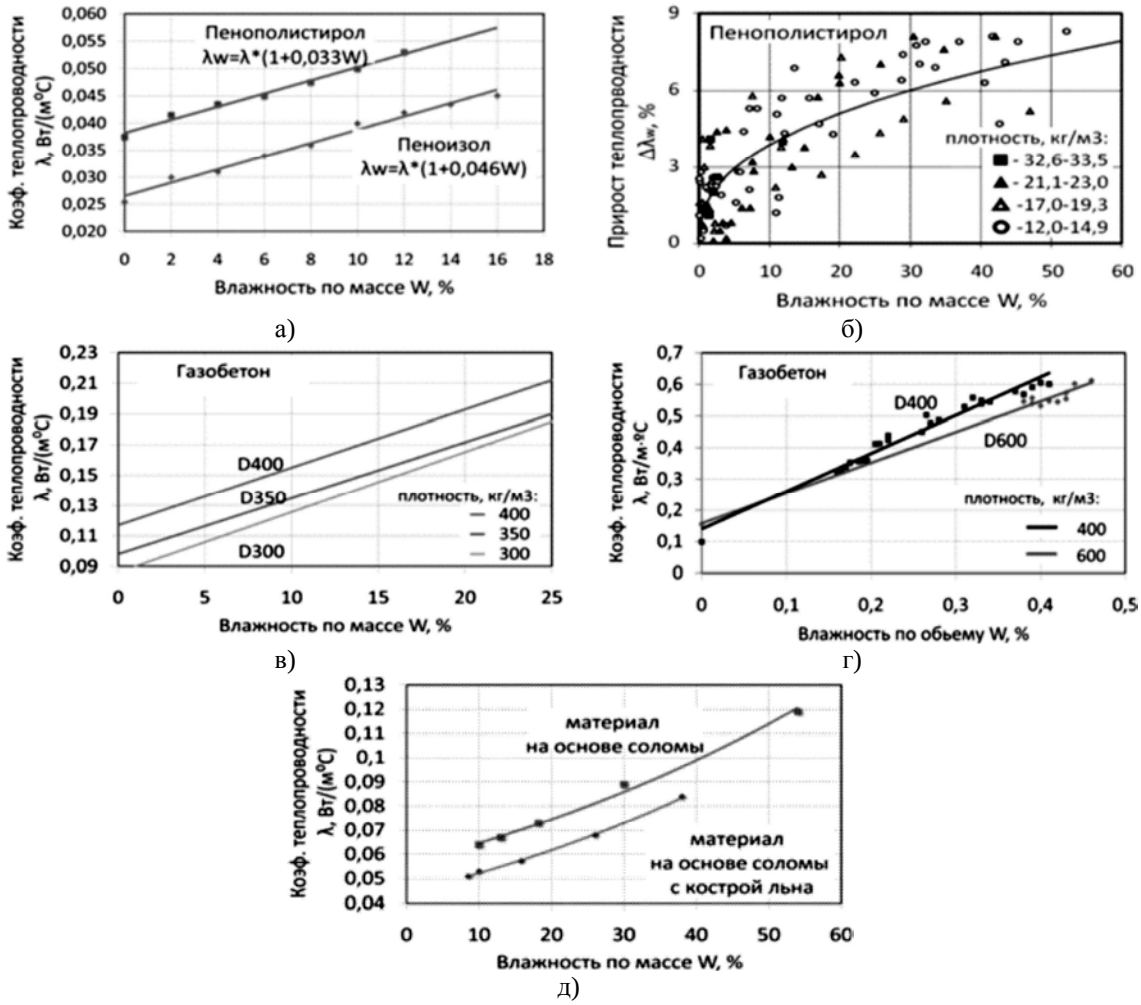


Рис. 2. Зависимость теплопроводности от влажности для различных материалов:
по Т.И. Рубашкиной (а), по И.Я. Гнипу (б), по Drochytka [6] (в),
по Z. Suchorab [8] (г), по Н.В. Давыденко [7] (д)

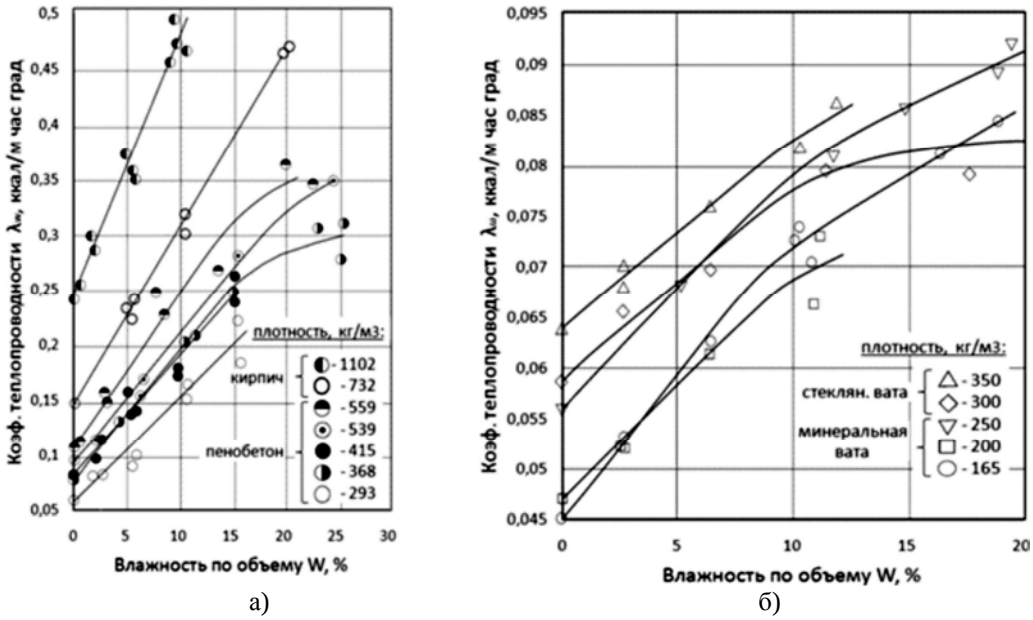


Рис. 3. Влияние влажности материалов ячеистого (а) и волокнистого (б) строения
на их теплопроводность

Таким образом, за счет большего количества пор в стенках ячеек материала с большей плотностью, изменение λ от влияния влаги сказывается в меньшей степени. К тому же поры в стенках ячеек на порядок меньшего размеров самих ячеек, что так же оказывает влияние на значение коэффициента теплопроводности.

В работах Б.П. Кауфмана, Т.И. Рубашкиной, И.Я. Гнипа, С.А. Веялиса, R. Drochytka [6], Н.В. Давыденко [7], Z. Suchorab [8] проведены исследования по определению λ(W) в широком интервале изменения влагосодержания материалов. Однако в этих работах отсутствует определение границы сорбционного, капиллярного и сверхсорбционного увлажнения. Известно, что при повышении относительной влажности воздуха влага адсорбируется на внутренней поверхности пор и капилляров, образуются так называемые мономолекулярные и полимолекулярные слои влаги, которые постепенно переходят в пленку объемной воды, удерживаемые капиллярными силами и силами смачивания. Эти процессы хорошо были описаны Б. В. Дерягиным, Н. В. Чураевым, В.М. Ильинским и другими.

Таким образом, в известных работах основные зависимости λ(W) получены при больших уровнях увлажнения и очень мало робот по исследованию изменения теплопроводности материалов при раздельных видах увлажнения, а именно сорбционного и капиллярного увлажнений.

Z. Suchorab [8] исследуя материал при сверхсорбционном увлажнении, получил зависимость коэффициента теплопроводности от влажности при десорбции материала. Автор также не вскрыл механизм изменения λ при различных состояниях влаги (свободной, объемной, капиллярной, пленочной, парообразной).

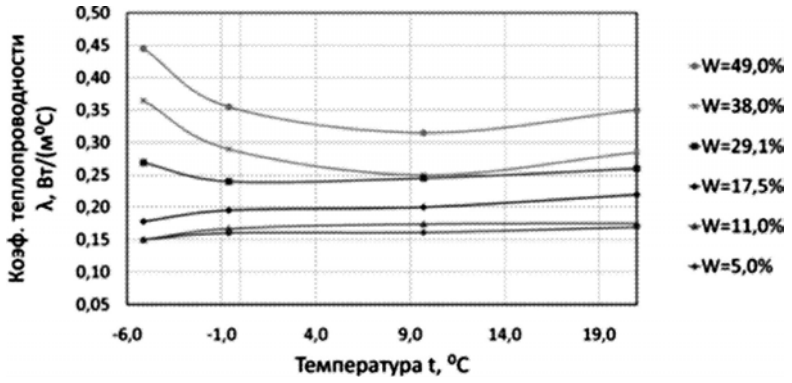


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности ячеистого бетона (ρ = 500 кг/м^3) от температуры и влажности по массе ($W_м$)

В работе [9] авторы проводят исследования ячеистого бетона плотностью 400 кг/м^3 и 500 кг/м^3 на 6 образцах имеющих различные влажности по массе. На рис. 4 приведены графики этих зависимостей λ от влажности и температуры (от t= -5 °С до t=+20 °С). Исследование направлено на определение граничных влажностей, при которых при отрицательных температурах в порах материалов лед не образуется или его количество незначительно. Известно, что сначала замерзает свободная влага в крупных порах и капиллярах, что и отраженно на графиках в виде повышения теплопроводности в материалах с массовой влажностью свыше 20 %. По мере понижения температуры количество твердой фазы влаги увеличивается за счет постепенного замерзания пленочной влаги (связанной со скелетом материала). Интенсивность прироста теплопроводности тем выше, чем выше влажность материала и ниже температура. Так же из графика видно, что при отрицательных температурах не всегда λ увеличивается. Это возможно связано с тем, что влага, содержащееся в малых количествах в крупных порах материала, образует рыхлый лёд (иней), в результате чего теплопроводность не увеличивается, а уменьшается.

Перемещением незамерзшей жидкой влаги при отрицательных температурах занимался Р.Е. Брилинг, Ю.Д. Ясин, В.Г. Гагарин, Н.Н. Елин. Изучением характеристик незамерзшей воды занимались П. Хаккер, Этвос, Рамсей, Дж. Халлентом, Л. Жирифалко. Установлено, что температура замерзания влаги в капиллярах зависит от их диаметра: чем

меньше будет диаметр капилляра, тем ниже будет температура замерзания в нем воды. Так, например, в капиллярах диаметром 1,57 мм вода замерзает при температуре -6,4 °С; в капиллярах диаметром около 0,24 мм – при -14,2 °С, а в капиллярах диаметром 0,1 мм – при -18,6 °С. Для определения количества незамерзшей воды в материале в зависимости от температуры и влажности материала Ю.Д. Ясин вывел эмпирическую формулу:

$$W' = a + bW_{\text{м}} + \frac{\text{c}\,W_{\text{м}} + d}{t}, \quad (1)$$

где $W_м$ – влажность материала, % по массе; W' – влажность материала, отнесенная к незамерзшей в нем влаге, % по массе; t – температура материала; a, b, c, d – эмпирические коэффициенты.

Если эту формулу решать относительно определения значения температуры, а вместо определения количества незамерзшей влаги подставить величину влажности материала, то определим температуру начала замерзания влаги в порах материала.

Таким образом, определение значения коэффициента теплопроводности при различных механизмах увлажнения материалов: сорбционное и сверхсорбционное, с капиллярной конденсацией и без неё, изучены недостаточно и требуют дополнительных исследований.

Профессор В.Г. Гагарин предложил методику, позволяющую вычислять равновесную сорбционную влажность, представляющую собой сумму двух компонентов: количества адсорбированной влаги W_a и влаги капиллярной конденсации $W_к$.

Он установил, что максимальная гигроскопическая влажность материалов при отрицательных температурах уменьшается с понижением температуры. Методика позволяет так же пересчитывать изотермы сорбции на различные температуры, а также рассчитывать изотермы сорбции строительных материалов по известным характеристикам микроструктуры. В качестве характеристик материала используются: интегральная кривая распределения микрокапилляров по размерам, площадь удельной поверхности материала, константа, определенная по изотерме сорбции при определенной температуре.

Профессор И.Я. Киселев [10] разработал математический метод расчета равновесной сорбционной влажности строительных материалов, представляющий собой сумму двух компонентов состояний влаги: полимолекулярно-адсорбированной и капиллярно-конденсированной. Метод позволяет определять значения относительных влажностей воздуха, при которых в данном материале начинается и заканчивается капиллярная конденсация, как при положительных, так и при отрицательных температурах. Он определил, что при понижении температуры капиллярная конденсация в порах исследованных материалов начинается при меньших значениях относительной влажности.

Подводя итоги проведенному обзору состояния вопроса, следует отметить, что подавляющее число авторов Б.П. Кауфман, Е. Шильд, В.М. Ильинский, Т.И. Рубашкина, И.Я. Гнип, С.А. Веялис, R. Drochytka [6], Н.В. Давыденко [7], Z. Suchorab [8], А.Б. Крутилин [9], И.Я. Киселев [10] исследовали теплопроводность материалов в зависимости от физических характеристик (плотность, пористость и др.) и условий эксплуатации (температура и влажность). Однако зависимости теплопроводности от вида связи влаги с материалом (парообразная, сорбционная, пленочная, капиллярная, объемная и т.д.) изучены недостаточно.

Заключение

1. Установлено, что с ростом влажности материалов растет коэффициент их теплопроводности, однако степень изменения теплопроводности материалов различна на различных диапазонах влажности.

2. Установлено, что коэффициент теплопроводности строительных материалов исследуется без учета состояния влаги в пористой структуре материала, а именно сорбционной, пленочной, капиллярной и т.д.

3. Исследование зависимости коэффициента теплопроводности от вида связи влаги с материалом является актуальной задачей, что позволит определять теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в зависимости от вида эксплуатационной влаги в широком интервале её изменения в ограждающих конструкциях.

Список библиографических ссылок

1. Гагарин В. Г., Пастушков П. П., Реутова Н. А. К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // Строительство и реконструкция. 2015. № 4 (60). С. 152–155.
2. Иванцов А. И., Куприянов В.Н. Режим эксплуатации многослойных стеновых ограждающих конструкций, как основа прогнозирования их срока службы // Известия КГАСУ. 2014. № 3 (29). С. 32–40.
3. Петров А. С., Куприянов В. Н. Переменное значение паропроницаемости материалов в условиях эксплуатации и его влияние на прогнозирование влажностного состояния ограждающих конструкций // Строительные науки. 2016. № 6 (738). С. 97–105.
4. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 с.
5. Перехоженцев А. Г. Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Часть 3. Расчет коэффициентов диффузии водяного пара в пористых материалах по характеристикам их пористой структуры // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 89–91.
6. Drochytka R., Zach J., Hroudova J. Non-destructive Testing of Influence of Moisture on Properties of Autoclaved Aerated Concrete // E-Journal of Nondestructive Testing. 2011. URL: http://www.ndt.net/article/ndtnet/2011/36_Zach.pdf (дата обращения: 21.01.2017).
7. Давыденко Н. В., Бакатовчи А. А. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности соломенных и костросоломенных теплоизоляционных материалов // Вестник Полоцкого государственного университета. 2013. № 8. С. 73–78.
8. Suchorab Z., Barnat-Hunek D., Sobczuk H. Influence of moisture on heat conductivity coefficient of aerated concrete // Ecological Chemistry and Engineering. S. 2011. V. 18. № 1. P. 111–120.
9. Крутилин А. Б., Рыхленок Ю. А., Лешкевич В. В. Теплофизические характеристики автоклавных ячеистых бетонов низких плотностей и их влияние на долговечность наружных стен зданий // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2. С. 46–55.
10. Киселев И. Я. Метод расчета равновесной сорбционной влажности строительных материалов // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 92–98.

Kupriyanov V.N. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: Kuprivan@kgasu.ru
Yuzmuhametov A.M. – post-graduate student
E-mail: Aynur.Yuzmuhametov@mail.ru
Safin I.Sh. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zavlab17@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of moisture on heat conductivity of walling materials. the state of the issue

Abstract

Problem statement. Thermal characteristics of building materials of walling are significantly altered because of changes in humidity of the materials throughout the year. Changing the value of the thermal conductivity is mostly dependent on the moisture content.

Results. The researches of influence of various factors on the coefficient of thermal conductivity efficiency were conducted by many scientists. The famous research works deal with the impact of the material structure, porosity, pore size, temperature, moisture, ice content and other factors. However, many aspects of the problem remain unknown. For example, while studying the influence of moisture of the materials on their thermal properties, the influence of high moisture of the material (volume or mass) on the thermal conductivity coefficient is studied. Whereas the information about the influence of low humidity values associated with the

sorption of moisture from humid air and water vapor diffusion through the building walling is very limited.

Conclusions. The research indicated that the increase of moisture of the material enhances the coefficient of thermal conductivity, but the degree of change in the thermal conductivity of different materials is different in various ranges of humidity. The thermal conductivity coefficient of construction materials is investigated without paying attention to the moisture in the porous structure of the material, namely, adsorbed, pellicular, capillary moisture etc.

The majority of researches on thermal conductivity coefficient does not take into account the type of bond between moisture and building material, Whereas our study allows to determine the thermal performance of building walling, depending on the type of operating moisture within a wide range of its alteration.

Keywords: heat conductivity, temperature, sorption, desorption, moisture, capillaries, porosity.

References

1. Gagarin V. G., Pastushkov P. P., Reutova N. A. Usage of calculated definition of the operating humidity of thermal insulation materials // Stroitelstvo i rekonstrukciya. 2015 № 4 (60). P. 152–155.
2. Ivantsov A. I., Kupriyanov V. N. Operative conditions of the sandwich wall protecting constructions as the basis of forecasting of their life cycle // Izvestiya KGASU. 2014. № 3 (29). P. 32–40.
3. Petrov A. S., Kupriyanov V. N. Variability of vapor permeability of materials in operating conditions and it is impact on walling moisture conditions // Stroitelnye nauki. 2016. № 6 (738). P. 97–105.
4. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of architectural space. M. : ASV, 2016. 194 p.
5. Perekhozhencev A. G. Modeling of temperature-humidity processes in porous building materials. Part 3. Calculation of diffusion coefficients of water vapour in porous materials according to the characteristics of their porous structure // Stroitelnye materialy. 2013. № 2. P. 89–91.
6. Drochytka R., Zach J., Hroudova J. Non-destructive Testing of Influence of Moisture on Properties of Autoclaved Aerated Concrete // E-Journal of Nondestructive Testing. 2011. URL: http://www.ndt.net/article/ndtnet/2011/36_Zach.pdf (дата обращения: 21.01.2017).
7. Davydenko N. V., Bakatovich A. A. The influence of the indicator of humidity on coefficient of heat conductivity of straw and boon-straw heat-insulating materials // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 8. P. 73–78.
8. Suchorab Z., Barnat-Hunek D., Sobczuk H. Influence of moisture on heat conductivity coefficient of aerated concrete // Ecological Chemistry and Engineering. S. 2011. V. 18. № 1. P. 111–120.
9. Krutilin A. B., Rykhlionak Y. A., Liashkevich V. V. Thermophysical characteristics of low density autoclaved aerated concrete and their influence on the durability of exterior walls of buildings // Magazine of Civil Engineering. 2015. № 2. P. 46–55.
10. Kiselev I. Ya. Method of calculation of the equilibrium sorption moisture content of construction materials // Vestnik MGSU. 2011. № 3. P. 92–98.

УДК 624.012.4-183.2, 624.044:539.384
Радайкин О.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: olegxxii@mail.ru
Шарафутдинов Л.А. – студент
E-mail: sh._linar@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К оценке прочности, жесткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных сталефибробетонной «рубашкой», на основе компьютерного моделирования в ПК «ANSYS»

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы ставилось определение прочности, жёсткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных сталефибробетонной «рубашкой», на всех этапах нагружения при варьировании наиболее значимых геометрических, физических, кинематических и силовых параметров.

Результаты. Проведён многофакторный численный эксперимент с применением компьютерного моделирования в ПК «ANSYS». Выполнено сравнение полученных результатов с данными физического эксперимента других авторов, что послужило проверкой на адекватность предложенной компьютерной модели. Получены оптимальные значения для процента армирования стальной фиброй и толщины «рубашки».

Выводы. Установлено, что наиболее близки к результатам опытных данных расчеты с введением в ПК «ANSYS» криволинейных диаграмм деформирования бетона, предложенные авторами ранее [1-2] для изгибаемых элементов из обычного железобетона. При этом сталефибробетонная «рубашка» увеличивает несущую способность до 3,9 раза, жесткость до 8,26 раза.

Ключевые слова: усиление, сталефибробетон, изгибаемый элемент, компьютерное моделирование, численный эксперимент.

В ходе эксплуатации зданий и сооружений из железобетона их несущие конструкции подвергаются различного рода воздействиям – агрессии всевозможных сред, силовым нагрузкам, температурным и т.д. Все это приводит к неизбежному накоплению дефектов и повреждений и, как следствие, снижению эксплуатационных свойств конструкций. Кроме того, при реконструкции возможны увеличение нагрузок, изменение их характера действия и длительности. Всё перечисленное во многих случаях вызывает необходимость в усилении железобетонных конструкций, а использование для этих целей наиболее экономичных методов и материалов является актуальной задачей. В этой связи весьма перспективным является применение сталефибробетона (СФБ), имеющего повышенные прочность и трещиностойкость в сравнении с обычным бетоном. Подтверждением эффективности его использования служат настоящие исследования авторов о работе изгибаемых железобетонных элементов, усиленных СФБ «рубашками». Для этого во внимание принят ряд наиболее значимых факторов, влияние которых на работу рассматриваемых элементов оценено в ходе компьютерного моделирования в ПК «ANSYS» с применением специально разработанной методики, позволяющей проводить нелинейный расчет конструкций на основе полных диаграмм деформирования материалов, включая предложенные в работах [1-2]. Важно также отметить, что нормативная инженерная методика расчёта усиления железобетонных конструкций вышеуказанным способом в литературе, как показал её анализ, отсутствует. Это дополнительно повышает значимость данных научных изысканий, лежащих в русле создания такой методики.

Согласно предложенной методике компьютерного моделирования, работа стальной фибры учитывалась путём осреднения свойств дисперсного армирования и бетонной матрицы – с помощью экспериментальных диаграмм деформирования СФБ [3, 4] (аналитическое описание которых будет предложено в следующих публикациях авторов). В

соответствии с этим бетонная и сталефибробетонная часть изгибаемых элементов моделировалась объёмными конечными элементами типа Solid-65 с критерием прочности Вильяма-Варнаке [5]. Продольная и поперечная арматура – стержневыми конечными элементами типа Beam / 2 node 188 с критерием прочности Мизеса. Грузовые и опорные пластины – объёмными конечными элементами Solid / Brick 8 node 185. Таким образом, КЭ-модель базового образца – усиленного изгибаемого элемента в виде шарнирно опёртой балки – показана на рис. 1 (в силу симметрии задачи рассмотрена только левая половинка балки).

Для моделирования совместной работы «рубашки» и бетона использовались контактные конечные элементы типа Target 170 и Contact 174 с коэффициентом трения 0,95 [3] и характером контакта Bonded («связанный»). Также между опорной площадкой и бетоном образца моделировался контакт с коэффициентом трения 0,45 [СНиП II-22-81] и характером Rough («грубый»).

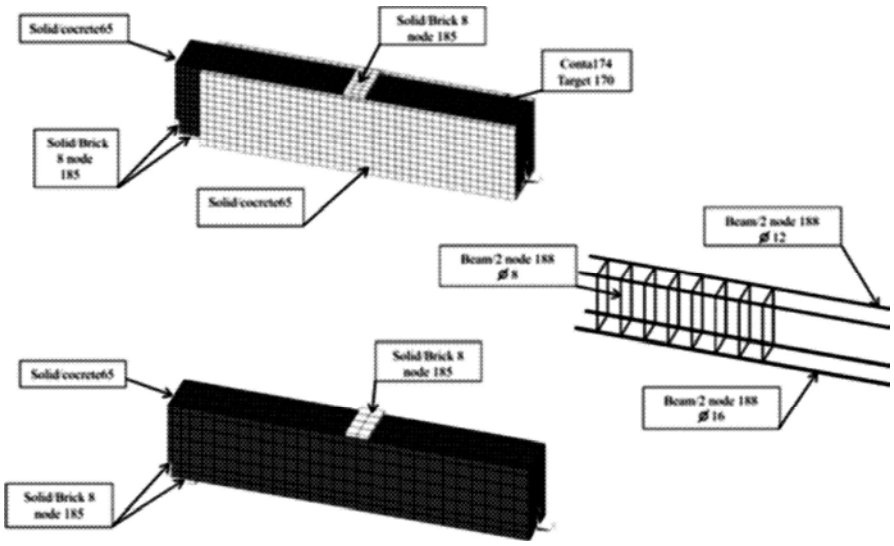


Рис. 1. Конечно-элементная модель железобетонной шарнирно опёртой балки, усиленной сталефибробетонной «рубашкой» (показана левая половинка симметричной балки)

Оценка достоверности методики моделирования выполнена путем сравнения результатов численного и физического [3] экспериментов для трех образцов-балок:

– тестовой № 1 – железобетонной без усиления;

– тестовой № 2 – бетонной с усилением СФБ «рубашкой»;

– базовой – железобетонной с усилением СФБ «рубашкой».

При этом предыстория нагружения усиленных балок не учитывалась с тем допущением, что до момента усиления они не были подвержены каким-либо воздействиям.

Далее для краткости под экспериментом будем подразумевать данные физических исследований из работы других авторов [3], а под численным экспериментом – собственные результаты компьютерного моделирования с учётом варьирования различных факторов влияния.

Геометрические параметры, схемы армирования и приложения нагрузок для рассматриваемых балок представлены на рис. 2. Класс бетона их изготовления принят B25 (C20/25), класс арматуры – A400.

На рис. 3 приведены графики зависимости прогиба от нагрузки для всех трёх образцов, полученных численно по предложенной методике моделирования и экспериментально [3]. На опытных кривых наблюдаются два характерных участка работы армированных образцов-балок, описываемых соответственно восходящими и ниспадающими ветвями графиков (для балки без усиления ниспадающая ветвь отсутствует). При этом ниспадающие ветви численным путём получить не удалось и хорошее совпадение теоретических и экспериментальных кривых наблюдается только до стадии возникновения трещин (в связи с этим методика моделирования требует усовершенствования, этому будут посвящены последующие публикации авторов) Тем не

менее, как показано ниже, это не повлияло на совпадение конечных результатов при оценке прочности и трещиностойкости балок.

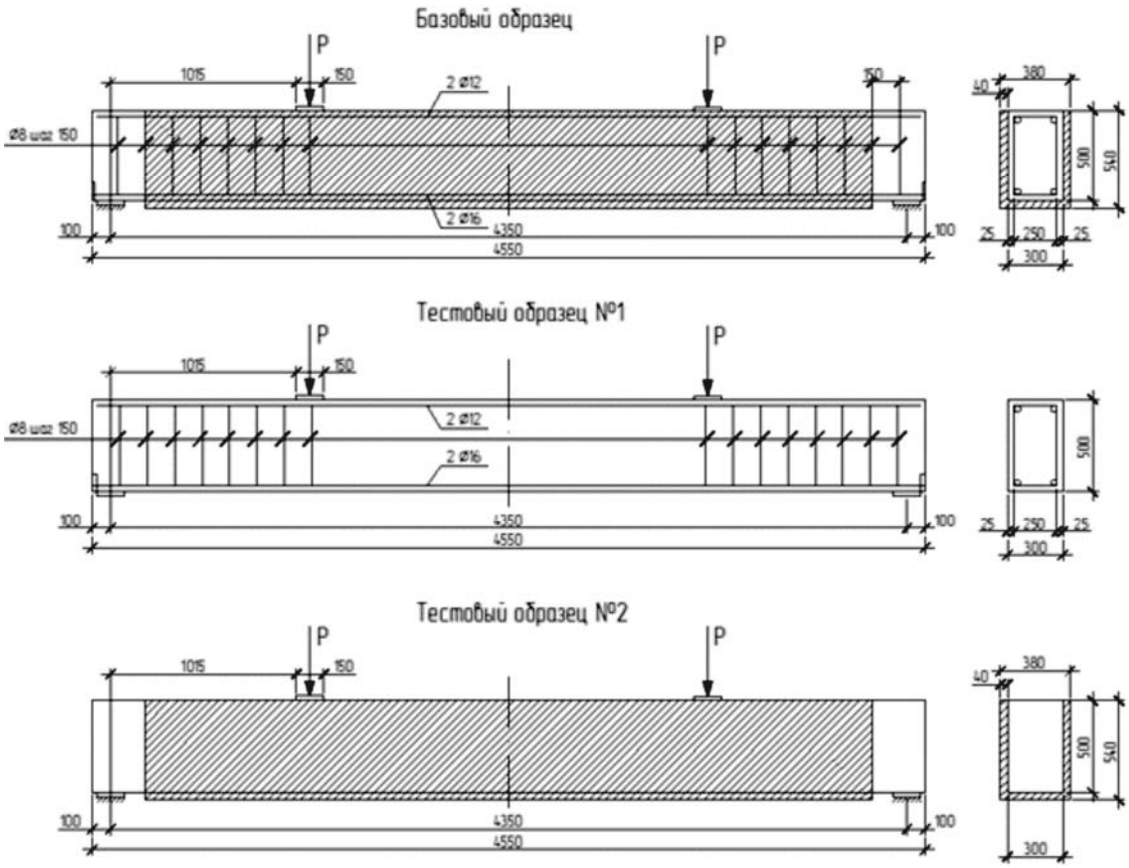


Рис. 2. Геометрические параметры и схема нагружения калибровочных балок

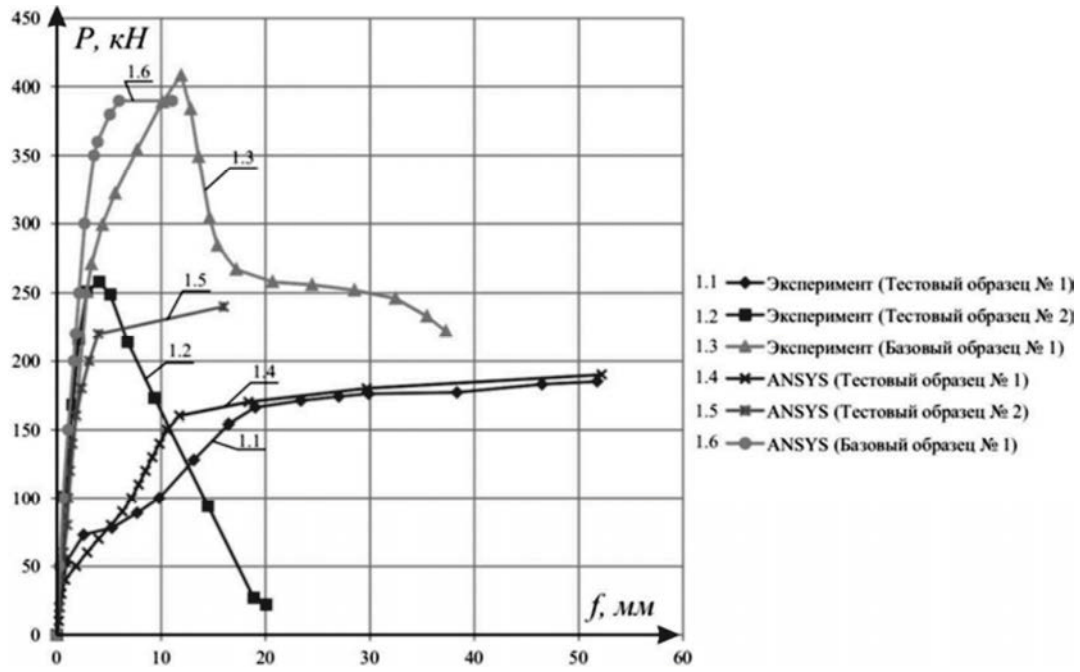


Рис. 3. Сравнение графиков «Прогиб-нагрузка» для трех калибровочных балок

Так, нагрузка появления первой трещины для тестовой балки № 1 составила P_{crc}=45 кН, что на 10 % меньше полученной экспериментальным путем. Разрушающая нагрузка

составила P_{ult}=190 кН, что совпадает с результатами опыта. Образование трещины для тестовой балки № 2 произошло при F_{crc}=230 кН, по результатам опыта F_{crc}=250 кН – расхождение составляет 8 %. Разрушение бетонной тестовой балки № 2 произошло при F_{ult}=240 кН, по результатам эксперимента F_{ult}=258 кН, что на 6,9 % выше. Нагрузка образования трещины для базовой балки составила F_{crc}=380 кН, что на 10 % больше полученной опытным путем. Разрушение железобетонной базовой балки произошло при F_{ult}=390 кН, по результатам экспериментальных данных – F_{ult}=410 кН. Расхождение составляет 4,8 %.

Таким образом, полученные данные подтверждают работоспособность предложенной методики, поэтому она была применена для дальнейших исследований.

При составлении программы численного эксперимента для изучения были выбраны наиболее значимые параметры, влияющие на прочность, трещиностойкость и жесткость изгибаемых элементов. Их наименование и диапазон изменения приведены в табл. 1, программа численных исследований – в табл. 2 и на рис. 4 (всего рассмотрено 20 балок). При этом, как и прежде, предыстория нагружения усиленных балок не учитывалась с тем допущением, что до момента усиления они не были подвержены каким-либо воздействиям.

При учете процента содержания фибр была принята за основу работа [4], в которой рассмотрено влияние процента содержания фибр на прочностные и деформационные характеристики СФБ. По ней построены диаграммы деформирования СФБ при разных процентах армирования и введены в ПК «ANSYS» при расчете.

Таблица 1

Исследуемые параметры

№ п/п	Варьируемые параметры			Количество образцов
	Параметры	Обозначение	Диапазон	
1.	Пролёт, м	l	$3{,}55 \leqslant l \leqslant 5{,}55$	3
2.	Высота сечения, мм	h	$440 \leqslant h \leqslant 640$	3
3.	Толщина рубашки из СФБ, мм	δ	$30 \leqslant \delta \leqslant 50$	3
4.	Вид нагрузки	P, q	Сосредоточенная, распределённая	2
5.	Продольная растянутая арматура, %	μ_s	$0 \leqslant \mu_s \leqslant 0{,}6$	3
6.	Продольная сжатая арматура, %	μ_s'	$0 \leqslant \mu_s' \leqslant 0{,}15$	2
7.	Класс бетона по прочности на сжатие, МПа	B	$15 \leqslant B \leqslant 45$	3
8.	Диаграмма деформирования для бетона «σ-ε»	-	EN 1992-1-1-2009: - криволинейная; - параболически-прямоугольная; - билинейная; СП 63.13330.2012: - криволинейная (с учётом рекомендаций [1-2]) - двухлинейная; - трехлинейная.	6
9.	Процент фибрового армирования, %	μ_{fb}	$1 \leqslant \mu_{fb} \leqslant 3$	3

В результате расчетов были определены несущая способность F_{ult}, прогибы до потери несущей способности, напряжения в стержнях на каждом этапе нагружения. Результаты расчета представлены в табличной (табл. 3) и графической форме (рис. 5).

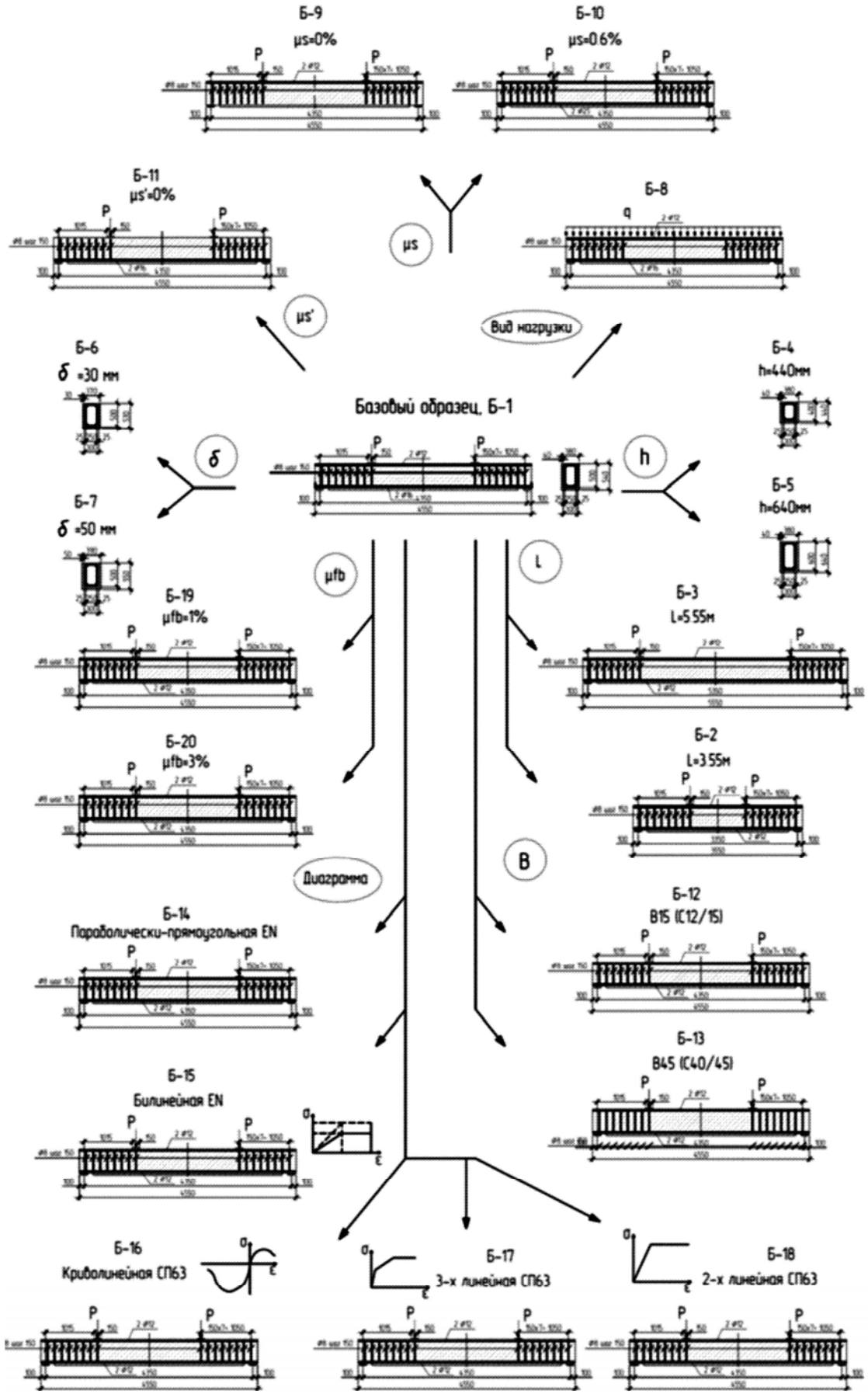


Рис. 4. Информационная схема программы численного эксперимента

Таблица 2

Программа численного исследования

Серия	Факторы								
	l, м	*h*, м	*δ*, мм	Нагрузка	μ_s, %	μ'_s, %	В, МПа	Диаграмма	μ_{fb}, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Б-1	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1*	2,5
Б-2	3,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-3	5,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-4	4,55	0,44	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-5	4,55	0,64	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-6	4,55	0,54	30	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-7	4,55	0,54	50	«Р»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-8	4,55	0,54	40	«q»	0,2	0,15	B25	1	2,5
Б-9	4,55	0,54	40	«Р»	0	0,15	B25	1	2,5
Б-10	4,55	0,54	40	«Р»	0,6	0,15	B25	1	2,5
Б-11	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0	B25	1	2,5
Б-12	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B15	1	2,5
Б-13	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B45	1	2,5
Б-14	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	2*	2,5
Б-15	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	3*	2,5
Б-16	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	4*	2,5
Б-17	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	5*	2,5
Б-18	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	6*	2,5
Б-19	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	1
Б-20	4,55	0,54	40	«Р»	0,2	0,15	B25	1	3

1* – криволинейная; 2* – параболически-прямоугольная диаграмма; 3* – билинейная диаграмма по Еврокоду EN 1992-1-1-2009; 4* – криволинейная (с учётом рекомендаций [1-2]); 5* – трехлинейная; 6* – двухлинейная по СП 63.13330.2012.

Таблица 3

Результаты численного исследования

Серия	$P_{crc,b}$			$P_{crc,fb}$			P_{ult}		
	Р, кН	$\sigma_{s\,/max}$, *МПа*	*f*, мм	Р, кН	$\sigma_{s\,/max}$, *МПа*	*f*, мм	Р, кН	$\sigma_{s\,/max}$, *МПа*	*f*, мм
Б-1	140	26,7	0,94	380	472,5	5,1	390	591,7	11,04
Б-2	120	27,5	0,53	340	530	4,16	344	628	13,11
Б-3	130	29,8	1,39	230	333,9	3,33	253	629,2	19,29
Б-4	80	24,96	1,1	320	567,81	13,27	320,9	593,45	18,91
Б-5	200	27,3	0,79	440	529,38	4,06	460	627,46	12,92
Б-6	130	18,43	0,86	230	514,85	1,96	240,8	627,06	7,77
Б-7	130	18,44	0,86	350	610,85	9,47	350	628,63	17,9
Б-8	130	26,8	0,74	430	500,6	7,32	430	591,32	11,72
Б-9	130	-	0,94	250	-	4,56	250,03	-	11,68
Б-10	160	28,28	1,13	440	481,54	7,72	445	626,47	10,6
Б-11	130	28,88	0,9	370	530	4,97	390	628,73	11,71
Б-12	140	30,48	1,12	230	548,4	3,97	230,1	629,8	15,41
Б-13	120	14,57	0,69	450	600,35	4,34	450,9	629,82	18,63
Б-14	140	42,73	1,55	240	382,19	4,24	250,3	629,6	10,83
Б-15	140	589	2,27	-	-	-	140	624,37	4,61
Б-16	120	17,65	0,78	280	352,3	2,9	320,4	611,1	11
Б-17	130	29,54	0,91	230	225,6	2,09	250	590	10
Б-18	140	46,24	1,7	220	515,67	3,4	231,9	628,4	8,45
Б-19	120	17,6	0,79	340	611	8,58	340,9	621	13,04
Б-20	140	27,9	1,01	230	530	2,83	230,7	627,3	10,98

$P_{crc,b}$ – нагрузка появления трещин в бетоне, $P_{crc,fb}$ – нагрузка появления трещин в СТФ «рубашке»

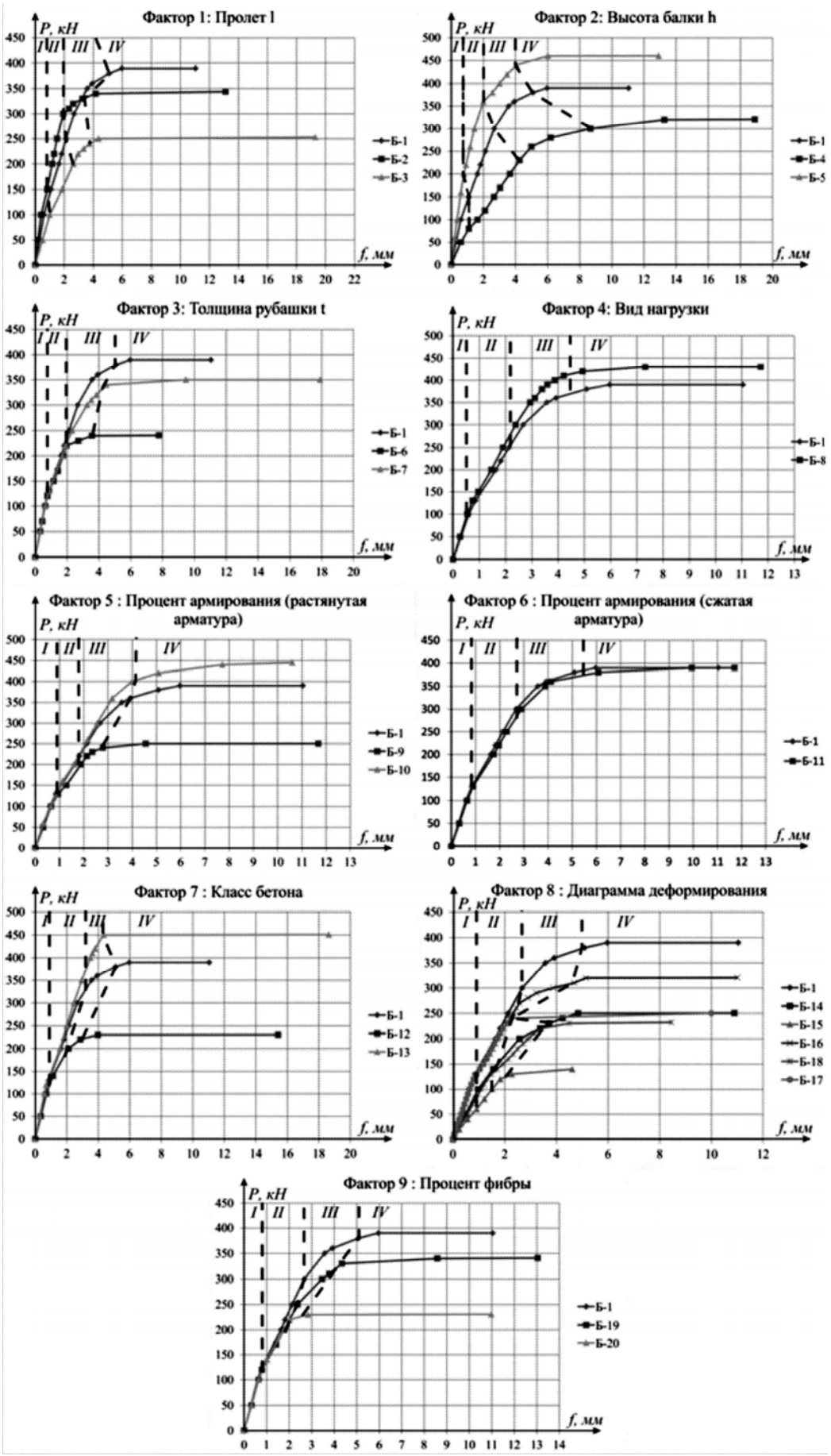


Рис. 5. Сравнение графиков «Прогиб-нагрузка»

Установлено, что для всех рассмотренных балок, за исключением балки Б-15, разрушение произошло по нормальному сечению вследствие достижения продольной арматуры временного сопротивления разрыву, что обусловлено малым процентом армирования. При этом в работе усиленных балок выделены 4 характерные стадии (показаны на рис. 5):

I – упругая работа – линейная зависимость между внешними и внутренними усилиями, заканчивается стадией Ia, при которой эпюра напряжений в растянутой зоне бетона искривляется;

II – неупругая работа – появление и развитие псевдопластических деформаций в бетоне (основной части балки) вследствие микротрещинообразования, дальнейшее накопление повреждений в материале – нарушение линейной зависимости;

III – появление и развитие видимых трещин в СТФ «рубашке»;

IV – стадия разрушения – потеря несущей способности балки при достижении предела текучести арматуры.

Общие выводы

1. Разработана методика компьютерного моделирования в ПК «ANSYS» изгибаемых железобетонных элементов, усиленных стелефибробетонной «рубашкой», с учётом нелинейных свойств бетона и арматуры, развития трещин в бетоне, а также возможного нарушения контакта между СФБ «рубашки» и балкой. Достоверность методики подтверждена сравнением расчётных и экспериментальных данных [3]: отличие разрушающей нагрузки P_{ult} и нагрузки появления первых трещин P_{crc} для тестовых и базовой балок не превысило 10 %. С применением предложенной методики проведён масштабный многофакторный численный эксперимент с учётом варьирования девяти наиболее значимых геометрических, физических, кинематических и силовых факторов.

2. Установлено, что СФБ «рубашка» увеличивает несущую способность до 3,9 раза, жесткость до 8,26 раза.

3. Для рассмотренных в программе численных исследований балок разрушение происходило по нормальным сечениям (за исключением балки Б-15), вследствие достижения продольной арматуры временного сопротивления разрыву, что обусловлено малым процентом армирования.

4. При равномерно распределенной нагрузке несущая способность балок получилась выше на 10,2 % по сравнению с сосредоточенно приложенной нагрузкой.

5. Наиболее близки к результатам опытных данных расчеты с введением в ПК «ANSYS» криволинейных диаграмм деформирования бетона, предложенные авторами ранее [1-2] для изгибаемых элементов из обычного железобетона.

6. Толщина СФБ «рубашки» до уровня нагрузки $P_{crc,b}$ – соответствующего появлению трещин в бетоне балки – не влияет на жесткость конструкции. Оптимальный размер толщины «рубашки» равен 40 мм, при которой прочность балки увеличивается в 1,63 и 1,11 раз в сравнении с толщиной равной 30 и 50 мм соответственно.

7. Оптимальное армирование стальной фибры в «рубашке» составляет 2,5 %, при котором прочность балки увеличивается в 1,15 и 1,7 раз по сравнению с армированием 3 % и 1 % соответственно.

Оптимальные значения процента армирования фиброй и толщины «рубашки» выбраны как экстремум функции $P_{ult}(\mu_{fb})$ и $P_{ult}(\delta)$.

Список библиографических ссылок

1. Карпенко Н. И., Соколов Б. С., Радайкин О. В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. 2012. № 2. С. 10–16.

2. Карпенко Н. И., Соколов Б. С., Радайкин О. В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 25–27.
3. Martinola G., Meda A., Plizzari G. A., Rinaldi Z. Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete // Cement and concrete composites. 2010. № 9. P. 731–739.
4. Maroliya M. K. Tensile behavior of reactive powder concrete containing steel fibres and silica fume // Engineering research and development. 2012. № 4. P. 58–61.
5. Vasudevan G., Kothandaraman S., Azhagarsamyb S. Study on non-linear flexural behavior of reinforced concrete beams using ANSYS by discrete reinforcement modeling // Strenght of materials. 2013. P. 149–162.
6. Tiberti G., Minelli F., Plizzari G. Reinforcement optimization of fiber reinforced concrete linings for conventional tunnels // Composites. 2014. P. 199–207.
7. Tiberti G., Minelli F., Plizzari G. Cracking behavior in reinforced concrete members with steel fibers: A comprehensive experimental study. // Cement and concrete research. 2015. P. 24–34.
8. Симаков В. Д., Никитин Г. П. Компьютерное моделирование оголовка железобетонной колонны в ПК «ANSYS». Казань, 2015. 27 с.
9. Определение диаграммы состояния бетона для расчета в ANSYS // CAE-CUBE.RU: интернет-изд. 2015. URL: http://cae-cube.ru/opredeleniye-diagrammy-sostoyaniya-betona.html (дата обращения: 05.01.2017).
10. Определение оптимальных параметров расчета бетона в ANSYS // CAE-CUBE.RU: интернет-изд. 2015. URL: http://cae-cube.ru/opredeleniye-optimalnykh-parametrov-rascheta-betona.html (дата обращения: 05.01.2017).

Radaikin O.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: olegxxii@mail.ru
Sharafutdinov L.A. – student
E-mail: sh._linar@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

By evaluating the strength, hardness and fracture toughness of bent reinforced-concrete elements, strengthened concrete of steel fiber «jacket» on the basis of computer modeling in PC «ANSYS»

Abstract

Problem statement. The purpose of the work poses particular strength, hardness and fracture toughness of bent reinforced-concrete elements, strengthened concrete of steel fiber «jacket» at all stages of loading by varying the most important geometrical, physical, kinematic and power parameters.

Results. Conducted multivariate numerical experiment with the use of computer simulation in the PC «ANSYS». A comparison of the results with the experimental data of other authors, which served as a test of the adequacy of the proposed computer model. «Shirt» The optimal values for the percentage of reinforcement steel fiber and thickness.

Conclusions. It was found that the most similar to the results of calculations of the experimental data with the introduction of PC «ANSYS» curved concrete deformation diagrams, proposed earlier by the authors [1-2] for bent elements of conventional concrete. FRCC (fiber reinforced cementitious composites) «jacket» increases the bearing capacity of up to 3,9 times to 8,26 times the stiffness.

Keywords: strengthening, fiber reinforced cementitious composites, bendable elements, computer simulation, numerical experiment.

References

1. Karpenko N. I., Sokolov B. S., Radaykin O. V. To improve the concrete stress-strain diagram for determining the moment of cracking and damaging moment in flexural concrete elements // Building and reconstruction. 2012. № 2. P. 10–16.
2. Karpenko N. I., Sokolov B. S., Radaykin O. V. Analysis and improvement of curved concrete deformation diagrams for the calculation of reinforced concrete structures on the deformation model // Journal of Industrial and Civil Construction. 2013. № 1. P. 25–27.
3. Martinola G., Meda A., Plizzari G. A., Rinaldi Z. Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete // Cement and concrete composites. 2010. № 9. P. 731–739.
4. Maroliya M. K. Tensile behavior of reactive powder concrete containing steel fibres and silica fume // Engineering research and development. 2012. № 4. P. 58–61.
5. Vasudevan G., Kothandaraman S., Azhagarsamyb S. Study on non-linear flexural behavior of reinforced concrete beams using ANSYS by discrete reinforcement modeling // Strenght of materials. Puducherry. 2013. P. 149–162.
6. Tiberti G., Minelli F., Plizzari G. Reinforcement optimization of fiber reinforced concrete linings for conventional tunnels // Composites. 2014. P. 199–207.
7. Tiberti G., Minelli F., Plizzari G. Cracking behavior in reinforced concrete members with steel fibers: A comprehensive experimental study. // Cement and concrete research. 2015. P. 24–34.
8. Simakov V. D., Nikitin G. P. Computer modeling tip reinforced concrete columns in the PC «ANSYS». Kazan. 2015. 27 p.
9. Determination of the phase diagram for the concrete calculation in ANSYS // CAE-CUBE.RU: internet-edit. 2015. URL: http://cae-cube.ru/opredeleniye-diagrammy-sostoyaniya-betona.html (reference date: 05.01.2017).
10. Determination of the optimal parameters of concrete calculation in ANSYS // CAE-CUBE.RU: internet-edit. 2015. URL: http://cae-cube.ru/opredeleniye-optimalnykh-parametrov-rascheta-betona.html (reference date: 05.01.2017).

УДК 691.33
Смирнов Д.С. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Хилавиева Г.Р. – студент
E-mail: guzel_-72@mail.ru
Мингазеев А.Н. – студент
E-mail: aydar.mingazeev@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Анализ разрушения дымовых кирпичных промышленных труб

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей научно-исследовательской работы является выяснение причин разрушения дымовых кирпичных промышленных труб после проведенного ремонта одной из казанских организаций в Республике Татарстан.

Результаты. В процессе эксплуатации отремонтированных труб на данных объектах в весенне-зимний период произошли значительные разрушения в стенах с наружной стороны. Имеющийся опыт работы по оценке состояния материалов и конструкций [4, 5, 6] позволил предположить, что одной из причин возникновения указанных дефектов могла быть недостаточная паропроницаемость органосиликатной композиции. Другой причиной может быть нанесение краски на мокрую, предварительно не осушенную поверхность стены. Режим работы промышленных дымовых труб не исключает возникновение конденсата, а разность температур с внутренней и наружной стороны трубы способствует массопереносу влаги в направлении к наружной поверхности стены.

Выводы. В результате проделанных испытаний, на участках близких к наружной поверхности водяной пар конденсируется, а при отрицательных температурах кристаллизуется, что приводит к разрушению кирпичной кладки.

Ключевые слова: органосиликатная композиция, паропроницаемость, сопротивление паропроницанию, адгезия, когезия.

Введение

Целью настоящей научно-исследовательской работы является выяснение причин разрушения дымовых кирпичных промышленных труб после проведенного ремонта одной из казанских организаций в Республике Татарстан.

В процессе эксплуатации отремонтированных труб на данных объектах в весенне-зимний период произошли значительные разрушения в стенах с наружной стороны. Глубина разрушенных слоев достигала 120 мм. При этом отслоения краски от поверхности стен не наблюдалось. Имеющийся опыт работы по оценке состояния материалов и конструкций [4, 5, 6, 10] позволил предположить, что одной из причин возникновения указанных дефектов могла быть недостаточная паропроницаемость органосиликатной композиции.

Другой причиной может быть нанесение краски на мокрую, предварительно не осушенную поверхность стены. Режим работы промышленных дымовых труб не исключает возникновение конденсата, а разность температур с внутренней и наружной стороны трубы способствует массопереносу влаги в направлении к наружной поверхности стены. В результате чего на участках близких к наружной поверхности водяной пар конденсируется, а при отрицательных температурах кристаллизуется, что приводит к разрушению кирпичной кладки.

Основная часть

Разрушение поверхностного слоя бетона и керамического кирпича на указанных объектах вызвано циклическим замораживанием и оттаиванием в условиях, когда разрушенный материал находился во влажном состоянии. Повышенная влажность кирпичной кладки может быть вызвана:

1. впитыванием воды в результате выпадения осадков или гигроскопическим всасыванием влаги из воздуха;

2. массопереносом влаги с внутренней поверхности трубы к наружной в результате разности температур между ними;

3. особенностями технологии ремонтных работ (при торкретировании внутренней поверхности трубы стены тщательно промывались большим количеством воды и обрабатывались кольматирующими водными растворами типа «Акватрон»).

Согласно РСН 40-81 органосиликатная композиция ОС 12-03 предназначена для защитной окраски металлических, бетонных, железобетонных, кирпичных, оштукатуренных, деревянных, керамических поверхностей, металлоконструкций, закладных деталей и арматуры железобетона, эксплуатирующихся в атмосферных условиях и условиях повышенной влажности; для антикоррозионной защиты конструкций мостов и тоннелей; для защиты от механических и атмосферных воздействий промышленных резервуаров; для окраски наружной поверхности дымовых труб; для окраски металлоконструкций, фасадов зданий и сооружений, эксплуатирующихся в атмосферных условиях, условиях повышенной влажности и перепада температур от –50 до +150°С.

Показатель паропроницаемости не является обязательной характеристикой для органосиликатной композиции ОС 12-03, тем не менее, он позволит оценить изоляционную способность данного покрытия.

Паропроницаемость определяли по ГОСТ 25898-83 Методы определения сопротивления паропроницанию. Для этого подготавливали 9 плоско-цилиндрических образцов из мелкозернистого бетона толщиной 30 и диаметром 100 (рис. 1).

Рис. 1. Плоскоцилиндрические образцы из мелкозернистого бетона

Состав бетонной смеси подбирался таким образом, чтобы структура бетона не была слишком плотной, для чего использовали повышенное содержание песка и воды. Образцы устанавливались в цилиндрические обоймы из ПВХ. Зазор между внутренней стенкой обоймы и боковой поверхностью бетонного образца заполнялся силиконовым герметиком. Обоймы с образцами устанавливали на стекло, а внутри обоймы помещали чашу с водой.

Зазор между обоймой и стеклом с внешней стороны уплотняли пластилином. Одну часть бетонных образцов покрывают органосиликатной композицией ОС 12-03 в один слой, а другую часть бетонных образцов в два слоя. Расход краски на каждый образец приведен в табл. 1-2.

Таблица 1

Расход краски (1 слой покрытия)

№ п/п	1 слой покрытия			
	масса чаши с краской, гр		масса краски, оставшейся на поролоне, гр	масса 1 слоя покрытия, гр
	до испытания	после испытания		
1	2	3	4	5
На поверхности образцов покрытие ОС 12-03 отсутствует				
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
На поверхности образцов 1 слой покрытия ОС 12-03				
4	193,16	186,27	4	2,89
5	185,08	177,54	4,29	3,25
6	177,39	171,3	3,28	2,81
На поверхности образцов 2 слоя покрытия ОС 12-03				
7	147,86	137	7,84	3,02
8	123,75	113,48	6,9	3,37
9	135	123,84	8,28	2,88

Таблица 2

Расход краски (2 слой покрытия)

№ п/п	2 слой покрытия			
	масса чаши с краской, гр		масса краски, оставшейся на пороло не, гр	масса 2 слоя покрытия, гр
	до испытания	после испытания		
1	2	3	4	5
На поверхности образцов покрытие ОС 12-03 отсутствует				
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
На поверхности образцов 1 слой покрытия ОС 12-03				
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
На поверхности образцов 2 слоя покрытия ОС 12-03				
7	154,86	146,73	5,92	2,21
8	164,65	155	6,69	2,96
9	171,29	164,65	4	2,64

Полная масса покрытия для 4-6 образцов равна соответственно 2,89 гр, 3,25 гр, 2,81 гр. Полная масса покрытия для 7 образца 5,23 гр, 8 образца 6,33 гр, 9 образца 5,52 гр.

Чаша с водой, помещенная в обойму с образцами, предварительно взвешивалась с точностью до 0,01 гр. Затем с интервалом 3 и 8 суток определялось количество испарившейся воды, путем повторного взвешивания чаши с водой. Результаты замеров приведены в табл. 3-4.

Таблица 3

Изменение массы воды

№ п/п	3 суток			3 суток			3 суток		
	m_1	m_2	Δm	m_1	m_2	Δm	m_1	m_2	Δm
На поверхности образцов покрытие ОС 12-03 отсутствует									
1	208,78	206,54	2,24	206,54	204,93	1,61	194,52	193	1,52
2	209,05	206,81	2,24	206,81	205,12	1,69	197,88	196,47	1,41
3	210,22	207,95	2,27	207,95	206,22	1,73	198,6	196,85	1,75
На поверхности образцов 1 слой покрытия ОС 12-03									
4	210,48	208,5	1,98	208,5	206,98	1,52	206,98	205,54	1,44
5	201,43	199,2	2,23	199,2	197,69	1,51	197,69	196,3	1,39
6	208,91	206,64	2,27	206,64	205	1,64	205	203,36	1,64
На поверхности образцов 2 слоя покрытия ОС 12-03									
7	204,93	202,9	2,03	202,9	201,56	1,34	201,56	200,23	1,33
8	207,41	205,29	2,12	205,29	203,79	1,5	203,79	202,4	1,39
9	201,97	200,3	1,67	200,3	198,94	1,36	198,94	197,89	1,05

Таблица 4

Изменение массы воды

№ п/п	3 суток			3 суток			8 суток		
	m_1	m_2	Δm	m_1	m_2	Δm	m_1	m_2	Δm
На поверхности образцов покрытие ОС 12-03 отсутствует									
1	193	191,46	1,54	191,46	190	1,46	190	185,43	4,57
2	196,47	195	1,47	195	193,58	1,42	193,58	189,17	4,41
3	196,85	195,33	1,52						
На поверхности образцов 1 слой покрытия ОС 12-03									
4	205,54	204,17	1,37	204,17	202,81	1,36	202,81	198,94	3,87
5	196,3	194,88	1,42	194,88	193,56	1,32	193,56	189,7	3,86
6	203,36	201,82	1,54	201,82	200,35	1,47	200,35	195,8	4,55
На поверхности образцов 2 слоя покрытия ОС 12-03									
7	200,23	198,86	1,37	198,86	197,68	1,18	197,68	194,3	3,38
8	202,4	201,19	1,21	201,19	199,78	1,41	199,78	196,35	3,43
9	197,89	196,92	0,97	196,92	196	0,92	196	193,36	2,64

где m_1 – масса чаши до испытаний, гр,

m_2 – масса чаши после испытаний, гр,

Δm – разность масс до и после испытаний, гр.

На основании полученных результатов определены следующие показатели: плотность диффузионного потока, паропроницаемость и сопротивление паропроницанию. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытаний паропроницаемости

Образцы	Плотность потока, г/ч·м^2	Паропроницаемость, мг/(м·час·Па)	Сопротивление паропроницанию (м^2·час·Па) /мг
Без покрытия	2,923	0,1276	0,235
Однослойное покрытие	2,665	0,1163	0,258
Двухслойное покрытие	2,051	0,0895	0,335

Изначально было высказано предположение, что причиной обрушения стен является низкая паропроницаемость примененной органосиликатной композиции. Однако имеются данные о паропроницаемости аналогичных композиций с более низким коэффициентом (паропроницаемость 0,0439 мг/(м·час·Па), сопротивление паропроницанию 0,684 (м^2·час·Па) /мг), при этом разрушений наружной поверхности стены в дымовых трубах не наблюдалось.

Адгезия органосиликатных композиций определялась по ГОСТ 15140-78 методом решетчатых надрезов. Результаты испытаний показали, что по состоянию покрытия после нанесения надрезов адгезия композиций ОС 12-03 составляет 1 балл, что отвечает требованиям ТУ.

Требований к величине адгезии органосиликатной композиции ОС 12-03 к поверхности различных материалов в ТУ не предусмотрено. Тем не менее, в исследованиях произведена оценка ее адгезии к поверхности бетона. Для этого использованы плоскоцилиндрические бетонные образцы, на которые наносилась композиция. Образцы накладывались друг на друга окрашенными поверхностями и выдерживались в течении суток. Через сутки бетонные образцы фиксировались в специальных металлических хомутах и испытывались на отрыв. В процессе испытаний установлено, что адгезия органосиликатных композиций к поверхности бетона зависит от толщины слоя покрытия. При нанесении 1 слоя покрытия на бетонную поверхность, адгезия покрытия к бетону ниже когезии в материале покрытия. Прочность сцепления органосиликатной композиций составила в среднем 0,875 кг/см^2, при этом на отдельных образцах адгезия данной композиции к поверхности бетона превысила прочность бетона на растяжение (рис. 2).

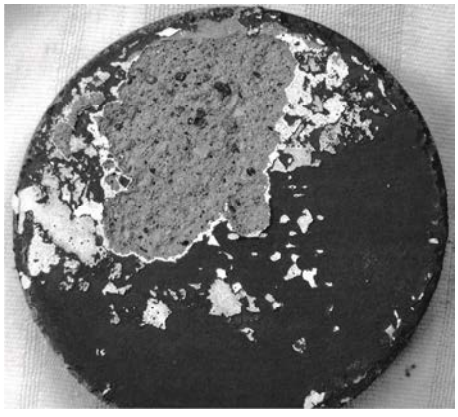


Рис. 2. Поверхность образца с однослойным покрытием ОС 12-03 после испытания на адгезию

При нанесении покрытия в два слоя величина адгезии покрытия к бетону превысила когезию в материале покрытия и для органосиликатной композиции составила 0,49 кг/см^2. Характер окрашенных поверхностей после испытаний показан на рис. 3.

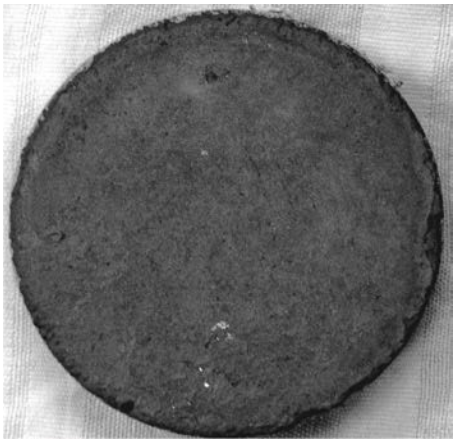


Рис. 3. Поверхность бетонного образца с двухслойным покрытием ОС 12-03

Оценку стойкости покрытия к изменению температуры от +100 до –50°С осуществляли на поверхностях различных материалов (бетон, керамический кирпич и металл) (рис. 4.)

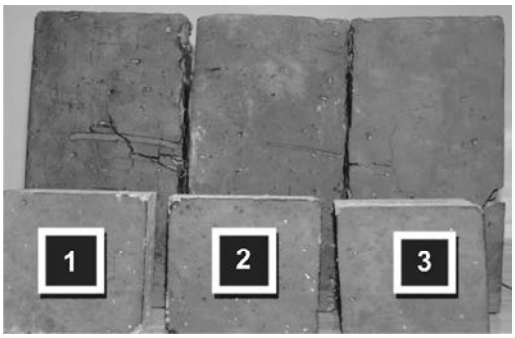


Рис. 4. Поверхность образцов бетона и керамического кирпича с покрытием ОС 12-03 до (образцы 1-2) и после (образец 3) испытаний

Визуальный осмотр поверхностей позволил установить, что органосиликатные композиции являются стойкими к изменению температуры в указанных интервалах, что соответствует требованиям соответствующих ТУ.

Заключение

Согласно результатам проведенных исследований органосиликатная композиция отвечает требованиям ТУ 2312-102-99483860-2007 по показателю адгезии и стойкости к изменению температуры.

Паропроницаемость мелкозернистого бетона не ниже известных показателей, при которых разрушений дымовых труб не наблюдается. Адгезия композиции составляет 0,875 кг/см^2 при однослойном покрытии и 0,49 кг/см^2 – двухслойном.

Анализ результатов испытаний позволил установить, что причиной разрушения дымовых кирпичных промышленных труб следует считать нарушение технологии производства ремонтных работ и инструкции по применению органосиликатных композиций РСН-40-81.

Список библиографических ссылок

1. Чуппина С. В. Исторический и физико-химический аспекты развития материаловедения органосиликатных композиций. Физико-химические основы органосиликатного материаловедения. Состав и свойства // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 24–38.

2. Чуппина С. В. Исторический и физико-химический аспекты развития материаловедения органосиликатных композиций. Физико-химические основы органосиликатного материаловедения. Процессы формирования оргнаносиликатных покрытий, клеевых соединений и герметизирующих слоев. // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 1. С. 20–27.

3. Смирнов В. А., Ефимов Б. А., Кульков О. В., Баландина И. В., Скавина Н. А. Материаловедение. Отделочные работы: учебник для начального профессионального образования. М. : Издательский центр «Академия», 2010. С. 288–290.

4. Камалова З. А., Смирнов Д. С. Исследования и разработка мероприятий по восстановлению железобетонных конструкций градирни // Известия КГАСУ. 2011 № 4 (15). С. 233–237.

5. Смирнов Д. С., Рахимов Р. З., Стоянов О. В. Влияние добавок молотых шлаков на жаростойкость цементного камня // Вестник казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 6.С. 48–50.

6. Смирнов Д. С., Степанов С. В., Хилавиева Г. Р. Анализ состояния вопроса о возможных способах повышения качества тампонажных смесей // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 8. № 20. С. 153–156.

7. Органосиликатная композиция : пат. 2520481 Рос. Федерация. № 2012151419/05 ; заявл. 30.11.05. ; опубл. 27.06.14, Бюл. № 18. 7 с.

8. Andrea S. O. Moscofian César R. Silva Claudio Airoldi**.** Stability of layered aluminum and magnesium organosilicate // Original Research Article Microporous and Mesoporous Materials, V. 107, I. 1-2. P. 113–120.

9. Chuppina S. V., Zhabrev V. A. Chemical reactions in the course of curing of organosilicate composites and aging of organosilicate coatings // Glass Physics and Chemistry. V. 34. I. 1. P. 82–90.

10. Chuppina S. V. The current state of the art in materials science of organosilicate composites// Glass Physics and Chemistry. V. 32. I. 2. P. 243–253.

Smirnov D.S. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Khilavieva G.R. – student
E-mail: guzel_-72@mail.ru
Mingazeev A.N. – student
E-mail: aydar.mingazeev@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization addres: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Analysis of fracture flue brick industrial pipes

Abstract

Problem statement. The aim of this research work was to determine the causes of the destruction of the brick flue industrial pipes after repair of one of the organizations of Kazan in Tatarstan.

Results. In the operation of the repaired pipe of these facilities in the winter-spring period, there have been significant damage in the walls from the outside. Experience of working on the evaluation of materials and structures [1, 2, 3] allowed to assume that one of the causes of these defects could be insufficient water vapor permeability also organic compositions. Another reason may be the application of paint to wet, not previously drained surface of the wall. Mode industrial chimneys do not preclude the occurrence of condensation, and the temperature difference between inside and outside of the pipe promotes mass transfer of moisture in a direction toward the outer wall surface.

Conclusions. The results of this test, at sites close to the outer surface of the water vapor is condensed and crystallized at low temperatures, which leads to the destruction of the brickwork.

Keywords: organosilicate composition, vapor permeability, resistance to water vapor transmission, adhesion, cohesion.

References

1. Chulpina S. V. History and physical and chemical aspects of materials science organosilicate compositions. Physical and chemical bases of organosilicate materials science. The composition and properties // All materials. Encyclopedic Reference. 2010. № 7. P. 24–38.
2. Chulpina S. V. History and physical and chemical aspects of materials science organosilicate compositions. Physical and chemical bases of organosilicate materials science. The formation orgnanosilikatnyh coatings, adhesive joints and sealing layers // All materials. Encyclopedic Reference. 2011. № 1. P. 20–27.
3. Smirnov V. A., Efimov B. A., Kul'kov O. V., Balandin I. V., Skawina N. A. Materials Science. Finishing works: the textbook for basic vocational education. M. : Publishing Center «Academy», 2010. P. 288–290.
4. Kamalov Z. A., Smirnov D. S. Research and development of measures for the restoration of the cooling tower of reinforced concrete structures // Izvestiya KGASU. 2011. № 4 (15). P. 233–237.
5. Smirnov D. S., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. Influence of additives of ground slag on the heat resistance of cement stone // Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 6. P. 48–50.
6. Smirnov D. S., Stepanov S. V., Khilavieva G. R. Analysis of the question of the possible ways of improving the quality of grouting mixtures // Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. V. 8. № 20. P. 153–156.
7. Organosilicate composition : patent. 2520481 of the Rus. Federation. № 2012151419/05 ; decl. 30.11.05 ; publ. 06.27.14, Bull. in 18. 7 p.
8. Andrea S. O. Moscofian César R. Silva Claudio Airoldi**.** Stability of layered aluminum and magnesium organosilicate // Original Research Article Microporous and Mesoporous Materials, V. 107. I. 1-2. P. 113–120.
9. Chuppina S. V., Zhabrev V. A. Chemical reactions in the course of curing of organosilicate composites and aging of organosilicate coatings // Glass Physics and Chemistry. V. 34. I. 1. P. 82–90.
10. Chuppina S. V. The current state of the art in materials science of organosilicate composites // Glass Physics and Chemistry. V. 32. I. 2. P. 243–253.

УДК 303.094.6:69.059.4
Шмелев Г.Д. – кандидат технических наук, профессор
E-mail: shmelev8@mail.ru
Федотова М.И. – аспирант
E-mail: petrusha.marina@yandex.ru
Воронежский государственный технический университет
Адрес организации: 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Вопросам прогнозирования надежности и долговечности строительных конструкций посвящено большое количество работ. Опубликованные в них методики оценки остаточных сроков службы обладают рядом недостатков. Для прогнозирования остаточных сроков службы предлагается использовать теорию случайных функций и интервальный метод. Для семейства реализаций случайных функций вводятся границы интервала, по которым и выполняется прогноз. Прогнозирование ведется по нескольким независимым параметрам с использованием различных методов и прогнозных моделей.

Результаты. Использование предложенного метода позволяет получить несколько интервалов остаточных сроков службы. На каждом интервале генерируются промежуточные числа, по количеству однотипных конструкций в здании. В последующем производится статистическая обработка полученных интервалов остаточных сроков службы.

Выводы. Использование большого числа методов прогнозирования по нескольким параметрам позволяет повысить достоверность и точность прогноза.

Ключевые слова: прогнозирование, комбинированная интегральная методика, случайные функции, границы, случайный процесс, строительные конструкции.

Введение

Вопросы прогнозирования самых разнообразных процессов в последние годы приобретают в научной литературе все возрастающую популярность. Не является исключением, и тема прогнозирования различных параметров строительных конструкций зданий и сооружений. Одной из актуальных проблем является тема разработки методики прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций зданий и инженерных сооружений, находящихся в стадии эксплуатации или консервации. Начиная с середины 90-х годов 20 века, в Российской Федерации введена система промышленной безопасности, предполагающая проведение экспертиз промышленной безопасности, в том числе зданий (инженерных сооружений) на опасных производственных объектах, и предусматривающая расчетное обоснование остаточных сроков службы строительных конструкций. Однако, до настоящего времени нет ни одной утвержденной методики, которая бы позволяла оценить остаточный срок службы не только здания или инженерного сооружения в целом, но и отдельных конструкций в частности.

Аналогично ситуация обстоит и в области атомной энергетики, с той лишь разницей, что в области атомного надзора есть одна утвержденная методика оценки железобетонных конструкций, а именно методика оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности (РД ЭО 0447-03). Следует заметить, что методика содержит ошибки, опечатки, требует от инженера глубоких познаний в механике разрушения бетона. Кроме того, методика рассматривает работу строительных конструкций при перепаде температур в зимний и летний периоды времени, что характерно только для ограждающих конструкций. Конструкции, эксплуатирующиеся в условиях практически неизменных температур внутри здания, рассматриваемая методика рассчитать не может, так как такой расчет приводит в итоге к разного рода математическим неопределенностям.

Анализ существующих методик прогнозирования

Многими исследователями создаются различные упрощенные методики, учитывающие самые разнообразные параметры конструкций. В таблице перечислены методики прогнозирования остаточного ресурса строительных конструкций, разработанные в нашей стране, и дана краткая информация об их особенностях.

Таблица

Методики прогнозирования и оценки остаточного ресурса строительных конструкций

Источник	Наименование методики, особенности методики, год опубликования
РД ЭО 0447-03	Механика разрушения бетона. Учет внутренних дефектов структуры бетона с использованием коэффициентов интенсивности напряжений. 2003
Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам.	Определение категории технического состояния по наличию дефектов и повреждений строительных конструкций зданий и сооружений. Использование экспоненциальной модели распределения плотности вероятности. 2001
[1]	Использование экспоненциальное модели, теории нечетких множеств и квалиметрии. Введение понятия риска, основанного на изменении физического износа и энтропии. Использование экспоненциальной модели распределения плотности вероятности. 2006
[2]	Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений. Экстраполяция параметров, определяющих техническое состояние, с использованием квадратичной зависимости. Зависимость строится по нескольким промежуточным точкам, соответствующим вычисленному значению несущей способности. 2007.
[3]	То же, но с использованием квадратной параболы имеющей осью симметрии ось абсцисс ветви, которой направлены в сторону отрицательных значений абсцисс. Зависимость строится по нескольким промежуточным точкам, соответствующим вычисленному значению несущей способности. 2009.
[4]	Определение в разные периоды эксплуатации величины контролируемого параметра (степень поврежденности конструкций), построение регрессионной зависимости и экстраполяция полученной зависимости. 2011.
[5]	Методика прогнозирования деградации. Экспоненциальная модель надежности, использующая показатели износа строительных конструкций. 2004.
[6]	Определение остаточного ресурса строительной конструкции. Экспоненциальная модель надежности, вероятности отказов на начало и конец эксплуатации. Предложения по вероятностному расчету конструкций. 2008
[7]	Деградационная модель износа железобетонных конструкций инженерных сооружений при малоцикловом нагружении и коррозионном воздействии окружающей среды. Учитывается мера накопления повреждений в бетоне и арматуре. Выполняется учет изменения прочности бетона. 2004.
[8]	Моделирование деградации. Линейная модель деградации. Коэффициент стойкости бетона. 2008.
[9]	Линейная модель снижения несущей способности. Проверка и учет проектной несущей способности. Линейная модель снижения несущей способности строительных конструкций. 2001.
[10]	Нелинейная модель развития физического износа. Предложена нелинейная модель развития физического износа строительных конструкций независимо от их вида. Модель предусматривает три стадии работы: приработка, нормальная работа и лавинообразное накопление повреждений. 2006.
[11]	Линейные модели развития поврежденности и вероятности безотказной работы конструкций. 2012
[12]	Учет динамической составляющей при сейсмических воздействиях. Используется модель многоцикловой усталости материалов конструкций. 1998.
[13]	Расчет долговечности строительных элементов. Экспоненциальная модель развития деградации конструкций, учитывающая развитие дефектов и накопление повреждений конструкций во времени. 1971.

Перечисленные в таблице методики можно разделить на несколько групп:

1-я группа методик [5, 6, 13] выполнена на основе экспоненциальной модели распределения плотности вероятности. К недостаткам методик этой группы следует

отнести невозможность прогнозирования поведения конструкций, имеющих явно выраженные износовые отказы, так как экспоненциальная модель описывает внезапные отказы и может быть использована для оценки времени между внезапными отказами. Исключение из этого ряда составляет работа [13], поскольку с использованием модели выполняется прогноз развития коррозионных процессов, а не надежности конструкции;

2-я группа методик основана на использовании линейных моделей [8, 9, 11]. К недостаткам этих методик следует отнести низкую точность прогноза;

3-я группа объединяет нелинейные модели развития ключевых параметров [4, 7, 10] и несущей способности конструкций [2, 3]. Эта группа основана на построении моделей интерполяции значений собранных в ходе длительных наблюдений и экстраполяции их в будущее. К недостаткам этой группы методик следует отнести необходимость постоянного наблюдения за объектом, исключение составляет методика [10], не требующая большого количества наблюдений;

4-я группа методик основана на изменении несущей способности конструкций при воздействии циклических нагрузок [7, 12] при одновременном использовании вероятностных расчетов строительных конструкций [6, 12].

Особняком в этом ряду стоит методика оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности (РД ЭО 0447-03), которая основана на механике разрушения бетона. К ее недостаткам можно отнести: сложность учета и анализа внутренней дефектной структуры бетона, множество промежуточных величин, характеризующих состав и внутреннюю структуру бетона, реальный учет которых для большинства строительных конструкций достаточно сложен.

К наиболее перспективным методикам, с точки зрения их точности и достоверности расчета, следует отнести методики, основанные на вероятностных расчетах строительных конструкций. Однако следует заметить, что использование при прогнозировании вероятностных методов расчета строительных конструкций сопряжено с рядом трудностей самого различного характера, некоторые из них перечислены ниже:

- для выполнения вероятностных расчетов одной конструкции требуется определить в конкретный момент времени характер распределения ее определяющих параметров, нагрузок, воздействий, а также характеристик материалов. Если же речь идет о здании, состоящем из десятков и сотен разнородных конструкций, то расчеты значительно усложняются;

- для выполнения вероятностных прогнозов все вышеперечисленные параметры и характеристики надо четко пронаблюдать на интервале «предыстории» прогнозируемого объекта, чтобы провести аппроксимацию на интервале «предыстории» и экстраполяцию их развития на интервале прогнозирования;

- предположение сохранения параметров, зафиксированных сегодня на далекую перспективу, при выполнении прогноза неминуемо приведет к грубой ошибке и полностью сведет на нет все преимущества вероятностного метода, поскольку известным фактом является размывание распределений любых параметров конструкций во времени;

- следует учесть, что прогноз, построенный на строгой математической модели, пусть даже самой точной, не предусматривает возможных изменений, которые могут произойти в будущем. К таким изменениям можно отнести внезапное повышение нагрузок, непредвиденную осадку фундамента из-за подтопления и т. п.

Анализ публикаций в зарубежной печати [15-20] показал, что в них рассматриваются линейные или экспоненциальные модели прогнозирования (более ранние методики), либо методики вероятностного расчета конструкций, учитывающие только развитие напряженно-деформированного состояния конструкций.

Предложения по разработке методики

В последние годы активно развивается методика интервального прогнозирования, основанная на учете ошибок измерений, случайных числах и выборках. Эта методика находит все более широкое применение в различных областях прогнозирования. Однако, математический аппарат, используемый при интервальном прогнозировании, требует от пользователя глубоких знаний в специфической области математики – интервальных вычислениях.

Известные более сотни лет методы статистического прогнозирования продолжают развиваться и в настоящее время, но применение их на практике сдерживается отсутствием результатов длительных статистических наблюдений. Попытки построения статистических прогнозов не находят широкого применения, так как даже в случае наличия данных наблюдения на некотором временном отрезке, нет четкой уверенности в том, что выявленная зависимость не содержит грубых ошибок измерений и адекватно описывает изменение состояния конструкций до начала наблюдения и на дальнейшую перспективу (на период прогноза).

В предлагаемом автором подходе к решению сложных задач прогнозирования строительных конструкций эксплуатируемых зданий и инженерных сооружений сделана попытка использования преимуществ известных методов прогнозирования в сочетании с доступностью разработанной методики прогнозирования.

Проблему сложности сбора статистических данных о группе однотипных конструкций, характеристики которых предстоит прогнозировать, предлагается решать с использованием интервального метода. Суть метода заключается в том, что при проведении визуального обследования в группе однотипных конструкций (выборке) выделяются наиболее поврежденные конструкции и конструкции, имеющие наилучшее состояние. Для них производится инструментальный контроль всех определяющих параметров. Поскольку в выборку попали конструкции со значительно различающимися параметрами и характеристиками, классическая математическая статистика при попытке получения статистических характеристик такой выборки потребует расширения выборки из-за ее значительной неоднородности. Расширение выборки означает увеличение числа инструментальных измерений всех определяющих параметров. Увеличение числа инструментальных измерений сопряжено сразу с двумя проблемами:

- дополнительный выезд на объект и как следствие увеличение сроков обследования;
- повышение заранее оговоренной стоимости работ по обследованию объекта.

Оба этих пункта входят в противоречие с интересами заказчика, имеющего желание получить результаты в кратчайшие сроки и со снижением общей стоимости работ.

Использование интервального метода сбора сведений об объекте исследования позволяет заранее определиться с числом контролируемых (определяющих) параметров, набором и количеством инструментальных исследований непосредственно на объекте. Вся статистическая обработка полученных инструментальных измерений, в интервальном методе сводится к нахождению максимального и минимального значений каждого параметра. Именно эти значения, полученные с учетом ошибок приборов, влияния внешних воздействий, неточности фиксации значений при записи и др., принимаются за границы интервала измеренного параметра.

Дальнейшее прогнозирование ведется по верхней и нижней границам определяющих параметров. Для повышения точности прогноза и учета всех возможных изменений в будущем, на период прогнозирования, подключается аппарат случайных функций.

Научное обоснование предлагаемой методики прогнозирования

С точки зрения дальнейшего развития любой процесс, происходящий во времени, может быть представлен как случайный (рис. 1).

Фактически график, изображенный на рис. 1, является одной реализацией случайного процесса $D(t)$ из множества возможных реализаций. В теории случайных процессов такая реализация носит название неслучайной функции $x(t)$, в которую превращается случайный процесс $X(t)$ в результате проведения опыта [14]. При рассмотрении большого количества наблюдений, получаем семейство реализаций случайного процесса. На практике, такое семейство реализаций является экспериментальной основой для выявления закономерностей поведения однотипных объектов во времени и построения на их основе прогнозирующих функций.

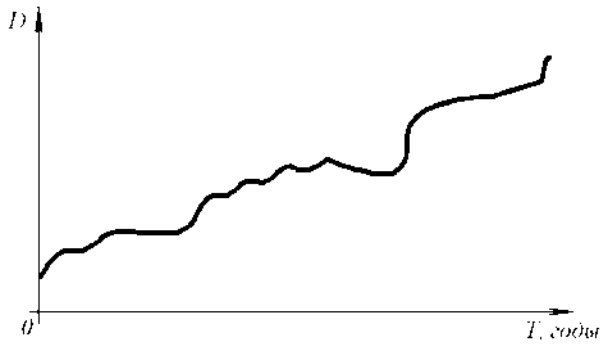


Рис. 1. Развитие случайного процесса

Графически семейство реализаций случайного процесса может быть представлено в следующем виде (рис. 2).

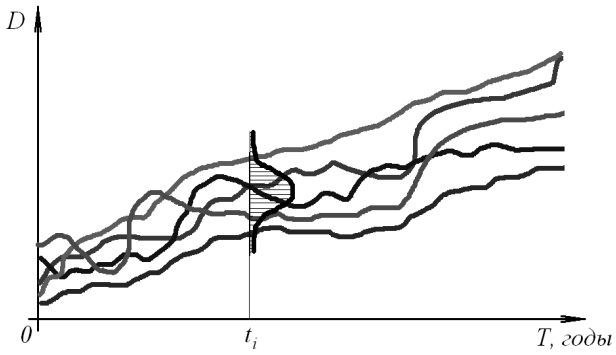


Рис. 2. Распределение семейства реализаций случайного процесса

Если рассмотреть сечение семейства всех возможных реализаций случайных функций случайного процесса в фиксированный период времени t_i, то при достаточно большом количестве реализаций такое сечение будет представлять собой закон распределения случайного процесса (рис. 2).

В реальных условиях эксплуатации для строительных конструкций при проведении измерений их параметров и физических величин в фиксированные моменты времени характерен разброс показателей, который является фактическим распределением параметра или физической величины (функцией распределения).

В этом случае можно говорить о реальной применимости случайных процессов к прогнозированию, в том числе и к процессу деградации строительных конструкций по ключевым (определяющим) параметрам.

Однако, при выполнении прогнозов с использованием случайных процессов на семейство реализаций случайных функций необходимо накладывать ряд ограничений:

- коридор случайных функций должен быть ограничен сверху и снизу (рис. 3), но при этом должен оставаться достаточно широким, чтобы охватить максимально возможное число реализаций случайных процессов, происходящих в реальных конструкциях, при учете изменчивости реальных нагрузок и воздействий;

- границы коридора случайных функций должны описываться простейшими функциями, в целом адекватно описывающими процессы, происходящие со строительными конструкциями, составляющими их материалами и действующими на них нагрузками, в реальных условиях эксплуатации.

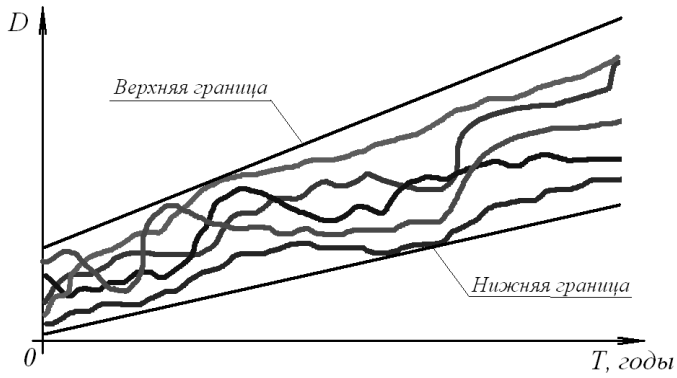


Рис. 3. Ограничения на семейство реализаций случайного процесса сверху и снизу

На рис. 3 изображен возможный вариант ограничения случайных функций из семейства реализаций случайного процесса граничными линейными функциями. В зависимости от общего характера протекающих процессов в отношении каждого ключевого (определяющего) параметра могут быть использованы как линейные, так и нелинейные функции.

Верхняя и нижняя границы, наложенные на семейство реализаций случайного процесса, в любой момент времени образуют интервалы значений, ограниченные сверху и снизу максимальным и минимальным значениями распределения параметра. Именно эти значения и предлагается использовать при последующем прогнозировании.

В ходе выполнения прогноза, функции, описывающие нижнюю и верхнюю границы диапазона, семейства реализаций случайного процесса изменения ключевого (определяющего) параметра пересекутся с границей, определяющей предельно допустимое изменение параметра (рис. 4).

Для прогнозирования, с целью повышения достоверности прогноза группы однотипных конструкций, рекомендуется использовать одновременно несколько ключевых параметров, для каждого из которых будут получены свои временные интервалы. Полученные временные интервалы по каждому параметру прогнозирования и прогнозирующей функции следовало бы подвергать статистической обработке по методам интервальной математики и статистики. Однако, это значительно затруднило бы как сам процесс обработки, так и процесс понимания исполнителем проводимых математических действий над интервалами.

Для возврата к классической статистике предлагается на каждом полученном временном интервале при помощи генератора случайных чисел провести моделирование чисел, имитирующих промежуточные значения сроков службы. Предполагается генерировать на каждом временном интервале такое количество чисел, которое бы соответствовало реальному количеству конструкций в исходной выборке.

Далее методами классической математической статистики производится обработка значений интервалов, определяется сходимость всех полученных интервалов, оцениваются возможные выбросы, производится группировка отдельных интервалов в итоговый временной интервал. Для последнего методами классической математической статистики оцениваются доверительные границы интервала.

В предлагаемой методике количество отдельных временных интервалов соответствует количеству использованных при выполнении прогноза методов и функций. Следовательно, даже для небольшого по количеству конструкций здания или инженерного сооружения, будет получен набор значений выходного параметра, достаточный для выполнения строгого статистического анализа с использованием классических статистических методов. При этом достоверность прогноза, за счет привлечения большого количества разнородных методов и функций прогнозирования, значительно возрастает.

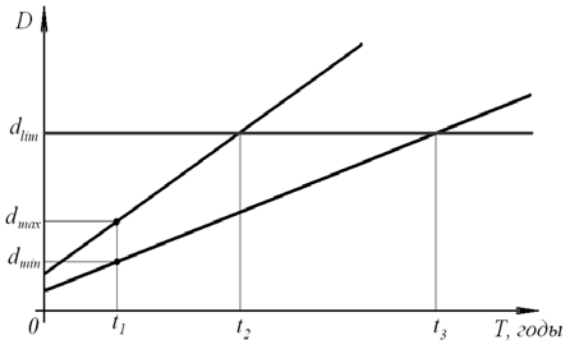


Рис. 4. Схема интервального прогнозирования по одному из ключевых параметров:
t_1 – время выполнения обследования строительной конструкции и фиксации значений ключевого (определяющего) параметра;
d_{min} и d_{max} – минимальное и максимальное значения ключевого (определяющего) параметра, зафиксированные на момент времени t_1;
t_2 – нижняя граница временного интервала срока службы строительной конструкции, полученная в результате прогноза;
t_3 – верхняя граница временного интервала срока службы строительной конструкции, полученная в результате прогноза;
d_{lim} – предельное значение ключевого (определяющего) параметра, по которому выполнялся прогноз

Предлагаемая методика является комбинированной, поскольку при проведении прогноза используются одновременно:

- интервальные оценки определяющих параметров;
- прогнозирование на основе теории случайных функций;
- моделирование изменения состояния реальных конструкций с использованием генератора случайных чисел на полученных в ходе прогноза временных интервалах по каждому прогнозируемому параметру;
- классической математической статистики для окончательной статистической обработки полученных результатов.

Термин «интегральная оценка» подразумевает, что прогнозирование выполнено с учетом подхода к проблеме, с использованием максимального числа методов прогнозирования: экспертных оценок (по физическому износу, поврежденности и снижению несущей способности), параметрических методов (по прочности материала, прогибам, отклонению от вертикали и др.) и «точных» методов, основанных на расчетах строительных конструкций по двум группам предельных состояний (по несущей способности – все расчетные сечения, по деформациям – прогибы, образование и раскрытие трещин).

Заключение

Разработанная автором комбинированная интегральная методика прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций включает в себя несколько различных подходов к прогнозированию, использует различные методы и функции и позволяет при минимальной информации об объекте прогнозирования получить статистически обоснованный результат прогноза. При этом для построения прогноза используется небольшое количество исходных данных и не требуется длительное наблюдение за состоянием строительных конструкций здания или инженерного сооружения. Поскольку автором предложено использовать одновременно несколько ключевых (определяющих) параметров группы однотипных строительных конструкций и несколько методов прогнозирования, то все это, при выполнении последующей статистической обработки, позволяет повысить достоверность и точность прогноза.

Предложенный метод опробован на ряде объектов, в том числе при обосновании остаточных сроков службы отдельных строительных конструкций реакторного отделения 5-го блока Нововоронежской АЭС.

Список библиографических ссылок

1. Мельчаков А. П., Чебоксаров Д. В. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений. Челябинск : ЮУрГУ, 2009. 111 с.
2. Шматков С. Б. Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник ЮУрГУ. 2007. № 22. С. 26-57.
3. Сущев С. П., Адаменко И. А., Смолинов Н. А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений : интернет-изд. 2009. URL: http://pamag.ru/pressa/ostatok-resurs (дата обращения: 20.04.2013).
4. Самигуллин Г. Х., Султанов М. М. Определение остаточного ресурса производственных зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий // Нефтегазовое дело : интернет-изд. 2011. № 2. С. 167–175. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_3.pdf (дата обращения: 25.04.2013).
5. Козачек В. Г., Нечаев Н. В., Нотенко С. Н., Римшин В. И., Ройтман А. Г. Обследование и испытание зданий и сооружений. М. : Высш. шк. 2004. 447 с.
6. Лычев А. С. Надежность строительных конструкций. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов. 2008. 184 с.
7. Пухонто Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен). М. : АСВ. 2004. 424 с.
8. Селяев В. П. Долговечность строительных материалов, изделий, конструкций. Методы прогнозирования // Строительство, архитектура, дизайн : интернет-изд. 2008. Выпуск 2. URL: http://marhdi.mrsu.ru/2008-2/pdf/69_seliaev.pdf (дата обращения: 25.04.2013).
9. Шмелев Г. Д. Техническая безопасность строительных конструкций : материалы международного науч. симпозиума – Безопасность жизнедеятельности, XXI век / ВолгГАСУ. Волгоград, 2001. С. 106–108.
10. Шмелев Г. Д., Савченко Е. Н. Методика экспресс прогноза остаточного срока службы конструкций зданий и сооружений по их физическому износу : сб. тезисов докладов – Первой международной научно-практической конференции Оценка риска и безопасность строительных конструкций / ВГАСУ. Воронеж, 2006. С. 87–89.
11. Шмелев Г. Д., Головина Н. В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статистической информации : сб. науч. тр. SWorld Международной науч.-практ. конференции Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2012 / КУПРИЕНКО. Одесса, 2012. С. 100–107.
12. Чирков В. П. Анализ динамического поведения конструкций при интенсивных многокомпонентных сейсмических воздействиях // Информационный бюллетень РФФИ Математика, информатика, механика. 1998. № 6.
13. Авиром Л. С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. Л. : Изд-во литературы по строительству. 1971. 216 с.
14. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. : Высш. шк. 2000. 383 с.
15. Rosovsky D. V. Structural Reliability. Part of publ. W.Chen, The Civil Engineering Handbook, CRC Press, W.F. Chen Ed. 1995, Clenson University. CS.
16. Alex F Bielajew. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and particle transport / The University of Michigan. 1998.
17. Bojidar S. Yanev. Bridge Management for New York City. Structural Engineering International 3/98. P. 21–215.
18. Kala Z. Finite element method for sensitivity analysis of stability problems of steel plane frames. In Proc. of Int. Conf. CMM-2009 – Computer Methods in Mechanics. 2009, Zielona Gora (Poland). P. 49-52.
19. Puklicky L., Omishore A., Kala Z. Fuzzy and Fuzzy. Random Analysis of Uncertainties of Standards Leading to Failure of Structures. In CD prog. of Int. Conf. on Computational Method for Coupled Problems in Science and Engineering, COUPLED PROBLEMS

2009, Ischia, 2009. P. 25–31.
20. Shmelev G., Makarychev K. The technique of expert evaluation and forecast of actual reliability of building structures of operated buildings and engineering constructions. In Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2011. № 4. P. 7-17.

Shmelev G.D. – candidate of technical sciences, professor
E-mail: shmelev8@mail.ru
Fedotova M.I. – post-graduate student
E-mail: petrusha.marina@yandex.ru
Voronezh State Technical University
The organization address: 394006, Russia, Voronezh, 20th anniversary of October str., 84

The use of random functions and processes in the combined integral method of forecasting the residual service life of building constructions

Abstract

Problem statement. Based on the analysis of existing techniques of predicting the reliability and residual service life of building constructions proposed combined integral technique of an estimation residual service life of building constructions and engineering structures. Technique simultaneously uses: interval estimates of defining parameters; prediction based on the theory of random functions; modeling of real change in the state constructions using a random number generator for prediction obtained during time intervals for each forecasted parameter; classical mathematical statistics for the final statistical analysis of the results. To perform the prediction held apparatus random functions and processes. By random processes restrictions are imposed. Forecasting of conducted on several methods: expert assessments, parametric, method «load – load bearing capacity» method «load – of deformation». Apparatus functions of random amplified using the technique of interval forecasting.

Results. The projections are used top and bottom interval values for each parameter defining, obtained in the study of the technical condition of the object. In the course prediction parameter for each interval is obtained lifetime. Inside each interval are simulated intermediate deadlines service lives of all type under study constructions. In the subsequent interval are combined according to the rules aggregation. In this case, the forecast used to build a small amount of input data and does not require long-term monitoring of the constructions building or engineering structure.

Conclusion. The proposed approach allows the author increase the reliability and accuracy of the prediction with minimal set of input data without a long-term observation of the object.

Keywords: forecasting, combined integral method, the random function, borders, random process, building construction.

References

1. Melchakov A. P., Cheboksarov D. V. Prognosis, assessment and management risk of an accident buildings. Chelyabinsk : YuUrGU. 2009. 111 p.
2. Shmatkov S. B. The calculation of the residual life construction structures of buildings and structures // Herald YuUrGU. 2007. № 22. P. 26-57.
3. Sushchev S. P., Adamenko I. A., Smolinov N. A. Residual life of the building structure (structure) and possible methods of assessment // Prevention accidents of buildings and structures : internet-edit. 2009. URL: http://pamag.ru/pressa/ostatok-resurs (reference date: 20.04.2013).
4. Samigullin G. H., Sultanov M. M. Determination of the residual life industrial buildings and structures oil refineries // Neftegazovoe delo : internet-edit. 2011. № 2. P. 167–175. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_3.pdf (reference date: 25.04.2013).
5. Kozachek V. G., Nechayev N. V., Notenko S. N., Rimshin V. I., Roitman A. G. Survey and test of buildings and structures. M. : Vysshaya shkola. 2004. 447 p.

6. Lychev A. S. Reliability of building structures. M. : ASV. 2008. 184 p.
7. Puhonto L. M. Durability of reinforced concrete structures engineering structures (silos, bins, tanks, tank towers, retaining walls). M. : ASV. 2004. 424 p.
8. Selyaev V. P. Durability of building materials, products and structures. Forecasting methods // Construction, architecture, design : internet-edit. 2008. Issue 2. URL: http://marhdi.mrsu.ru/2008-2/pdf/69_seliaev.pdf (reference date: 25.04.2013).
9. Shmelev G. D. Technical safety of building structures : Materials of International scientific of the symposium. Safety of vital functions, XXI century / VolgGASU. Volgograd. 2001. P. 106-108.
10. Shmelev G. D., Savchenko E. N. Method of express forecast a residual life structures of buildings on their by physical deterioration : Proc. theses of reports – The First International scientific-practical conf. Risk assessment and safety of building structures / VGASU. Voronezh. 2006. P. 87–89.
11. Shmelev G. D., Golovina N. V. Prediction maintainability and remaining life of building constructions using a method of linearization in conditions of limited of statistical information : Proc. scientific tr. SWorld. – The international scientific-practical conference Modern problems and their solutions in the science, transportation, manufacturing and education, 2012 / Kupriyenko. Odessa, 2012. P. 100–107.
12. Chirkov V. P. The analysis of the dynamic behavior of structures under intense multi-component seismic effects // Newsletter RFFI. Mathematics, computer science, mechanical. 1998. № 6.
13. Avirom L. S. Reliability of structures prefabricated buildings. L. : Publishing Literatury po ctroitelstvu. 1971. 216 p.
14. Ventsel E. S., Ovcharov L. A. The theory of stochastic processes and its engineering applications. M. : Vysshaya shkola. 2000. 383 p.
15. Rosovsky D. V. Structural Reliability. Part of publ. W. Chen, The Civil Engineering Handbook, CRC Press, W.F.Chen Ed. 1995, Clenson University. CS.
16. Alex F Bielajew. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and particle transport / The University of Michigan. 1998.
17. Bojidar S. Yanev. Bridge Management for New York City. Structural Engineering International 3/98. P. 21–215.
18. Kala Z. Finite element method for sensitivity analysis of stability problems of steel plane frames. In Proc. of Int. Conf. CMM-2009 – Computer Methods in Mechanics. 2009, Zielona Gora (Poland). P. 49–52.
19. Puklicky L., Omishore A., Kala Z. Fuzzy and Fuzzy. Random Analysis of Uncertainties of Standards Leading to Failure of Structures. In CD prog. of Int. Conf. on Computational Method for Coupled Problems in Science and Engineering, COUPLED PROBLEMS 2009, Ischia, 2009. P. 25–31.
20. Shmelev G., Makarychev K. The technique of expert evaluation and forecast of actual reliability of building structures of operated buildings and engineering constructions. In Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2011. № 4. P. 7–17.

УДК 624.131
Готман Н.З. – доктор технических наук
Готман А.Л. – доктор технических наук, профессор
E-mail: gotmans@mail.ru
НИИОСП им. Н.М. Герсеванова
Адрес организации: 109428, Россия, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6с12

Определение модуля деформации закрепленного цементацией грунта

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлся расчет модуля деформации закрепленного грунта, исходя из физических характеристик природного грунта и объема инъецируемого раствора.

Получено аналитическое решение для определения модуля деформации на основе допущения о заполнении цементным раствором объема пор, не занятых поровой водой. На первом этапе определяется объем инъецируемого раствора из условия заполнения порового пространства, затем определяется значения коэффициента пористости и модуля деформации закрепленного грунта.

Результаты. Используя корреляционную связь между модулем деформации и коэффициентом пористости в соответствии с СП 22.13330.2011, получено аналитическое решение для определения модуля деформации закрепленного грунта. Дается сравнение опытных и расчетных значений, а также показана их удовлетворительная сходимость. Установлена возможность использования аналитических формул для определения объема цементного раствора, требуемого при закреплении грунта.

Выводы. Полученные аналитические решения могут быть успешно использованы при разработке проектов укрепления оснований цементацией для определения модуля деформации укрепленных грунтов в зависимости от объема инъецируемого раствора.

Ключевые слова: модуль деформации, закрепленный грунт, цементация.

Введение

Модуль деформации укрепленного цементацией грунта является основной характеристикой грунтового массива при выполнении геотехнических расчетов:

- ограждающих конструкций котлованов с укреплением грунта для снижения горизонтального давления [1, 2, 3];
- фундаментов зданий и сооружений, проектируемых на искусственно укрепленных основаниях [4, 5, 8, 9];
- геотехнических мероприятий противокартовой защиты путем цементации покровной толщи над карстующимися грунтами [6].

В статье изложена методика определения модуля деформации закрепленного цементацией грунта основания, подтвержденная экспериментом.

При инъекции раствора в грунт, последний упрочняется за счет изменения компактной упаковки твердых частиц с уменьшением пористости [10]. При этом происходит изменение не только физических характеристик грунта, но и повышение механических характеристик, в том числе деформационной характеристики – модуля деформации. Поэтому поставим задачу определения модуля деформации закрепленного грунта.

Определение модуля деформации закрепленного грунта

При напорной цементации в грунтовое основание внедряется раствор, который сжимает окружающий грунт, уменьшая его пористость. Минеральные частицы грунта считаются несжимаемыми.

Определим объем раствора, требуемого для ликвидации воздушной части пор без фильтрации поровой воды.

Объем пор в единице объема грунта:

$$n=(\gamma_s-\gamma_d)/\gamma_s\,. \qquad (1)$$

Вес воды в единице объема:

$$V_в=\gamma-\gamma_d=\omega\cdot\gamma_d\,, \qquad (2)$$

где ω – влажность;
γ_d – вес сухого грунта;
γ_s – вес минеральных частиц;
γ – объемный вес грунта.

Все эти физические характеристики определяются лабораторным путем и включаются в состав стандартного отчета об инженерно-геологических изысканиях.

Тогда объем воздуха (объем пор, не занятых поровой водой):

$$V_{возд}=\frac{g_s-g_d}{g_s}-w\cdot g_d=\frac{g_s-g_d\cdot(1+wg_s)}{g_s}=1-\frac{g_d}{g_s}\cdot(1+w\cdot g_s). \quad (3)$$

Таким образом, используя формулу (3), можно определить объем необходимого для закрепления раствора, при котором грунт получает полное водонасыщение без отжатия воды из пор.

При инъецировании раствора в объеме, большем определяемого по формуле (3), происходит дальнейшее уменьшение пористости за счет фильтрации грунта в соседние области.

Для определения модуля деформации закрепленного грунта примем следующие допущения:

1. При инъецировании раствора в грунт уменьшение объема пор происходит вследствие их замещения нагнетаемым раствором.

2. Фактический объем инъецированного раствора в грунт определяется способностью грунта уплотняться и способностью фильтровать поровую воду за пределы укрепляемого объема грунта.

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к следующему.

Зная объем инъецированного раствора в единичный объем грунта с известной пористостью и известным модулем деформации E, следует определить модуль деформации закрепленного грунта E_y.

Известно, что коэффициент пористости грунта e определяется как:

$$e=n/m, \quad (4)$$

где n – объем пор в единице объема, m – объем твердых частиц в единице объема.

Следовательно, полный объем грунта:

$$V=n+m. \quad (5)$$

При инъецировании раствора в объеме V_p в грунт объем пор уменьшается на величину V_p, а объем твердых частиц увеличивается на V_p. Здесь принято, что цементный раствор после твердения является твердым несжимаемым телом с нулевой пористостью.

Тогда коэффициент пористости закрепленного грунта e_y становится равным:

$$e_y=\frac{(n-V_p)}{(m+V_p)}. \quad (6)$$

Объем твердых частиц m численно равен отношению веса твердых частиц в единице объема (численно равным весу сухого грунта в единице объема γ_d) к их удельному весу γ_s, т.е.

$$m=\frac{g_d}{g_s}. \quad (7)$$

Объем пор в единице объема равен n:

$$n=1-\frac{g_d}{g_s}. \quad (8)$$

Тогда коэффициент пористости e_y закрепленного грунта путем инъецирования в единицу объема грунта раствора объемом V_p равен:

$$e_y=\frac{1-(\frac{g_d}{g_s})-V_p}{\frac{g_d}{g_s}+V_p}=\frac{g_s\cdot(1-V_p)-g_d}{g_d+V_p\cdot g_s}. \quad (9)$$

Величину модуля деформации укрепленного грунта E_y определим следующим образом. При сжатии грунта в условиях невозможности поперечного расширения зависимость между коэффициентом пористости e и сжимающим напряжением σ (компрессионная кривая сжимаемости) может быть выражена несколькими видами уравнений.

Наиболее достоверным из них, подтвержденным многочисленными экспериментами, является ее выражение логарифмической кривой [7]. Соответственно, обратная зависимость является экспоненциальной. Принимая связь между сжимающим напряжением и модулем деформации линейной, можно принять зависимость E_y от e также в виде экспоненциальной кривой.

$$E_y=E\cdot exp[k\cdot(e-e_y)], \quad (10)$$

где k – коэффициент, характеризующий деформируемость грунта конкретного вида, который определяется в соответствии с предложенным в работе [7] методом путем поиска наилучшего коэффициента корреляции при сравнении табличных данных СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» и формулы (10).

На рис. 1-2 приведены примеры сравнения зависимостей $E=f(e)$ для мелкого песка при k=3,4 и супеси при k=3,7. Здесь мелкий песок и супесь рассматриваются как виды грунтов, которые с наибольшей эффективностью могут подвергаться закреплению.

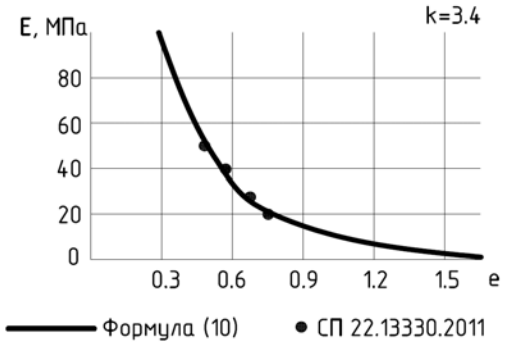


Рис. 1. Зависимость модуля деформации от коэффициента пористости для мелкого песка

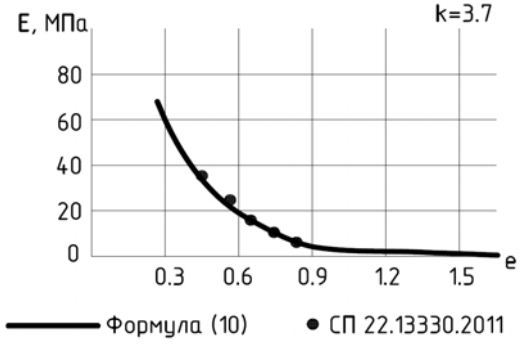


Рис. 2. Зависимость модуля деформации от коэффициента пористости для супеси

Таким образом, формула (10) позволяет определить модуль деформации закрепленного грунта при известном модуле деформации E, коэффициенте пористости незакрепленного грунта e и коэффициента пористости закрепленного грунта e_y.

Далее решим следующую важную для практики задачу.

Какой объем раствора нужно закачать на единицу объема грунта, чтобы получить требуемый модуль деформации E_y.

Известными величинами являются:

E – модуль деформации незакрепленного грунта;

E_y – требуемый модуль деформации;

e – коэффициент пористости незакрепленного грунта.

Требуется определить требуемый коэффициент пористости e_y и затем определить требуемый объем раствора для инъецирования на единицу объема V_p.

Решая формулу (9) относительно V_p, получим:

$$V_p=\frac{g_s-g_d(1+e_y)}{g_s(1+e_y)}. \quad (11)$$

Значение искомого e_y определяем из уравнения (10):

$$e_н^{ke_y} = \frac{E_y}{E} \cdot e_н^{ke}, \quad (12)$$

где $e_н$ – неперово число, равно 2,72.

Отсюда:

$$e_y = \log_{e_н^k} \frac{E_y}{E} (e_н^k)^e.$$

Применяя формулу перехода к логарифму с десятичным основанием, имеем:

$$e_y = \frac{\lg \frac{E_y}{E} (e_н^k)^e}{\lg e_н^k}. \quad (13)$$

Таким образом, для решения поставленной задачи требуется определить по формуле (13) значение e_y, а затем по формуле (11) значение требуемого объема раствора на единичный объем закрепляемого грунта.

Следует отметить, что решение поставленной задачи выполнено без учета влажности w и степени влажности J_r.

При решении практических задач при проектировании закрепления на первом этапе можно определить количество раствора $V_в$, который можно закачать в грунт без фильтрации (отжатия) поровой воды используя формулу (3) с подстановкой вместо $V_{возд}$. значения $V_в$.

Затем с использованием значения $V_в$ определяется модуль деформации E_y по формуле (10). В пределах этого объема раствора ($V_в$) можно осуществлять «быстрое» инъецирование, так как уменьшение пористости происходит за счет уменьшения пор без отжатия поровой воды.

Если полученное значение E_y недостаточно из условий требования проекта, то определяется дополнительный объем раствора по формуле (10) и эту часть раствора рекомендуется инъецировать с меньшей скоростью с учетом необходимости фильтрации поровой воды за пределы зоны закрепления.

Учет этого фактора наиболее актуален для закрепления грунтов с тонкодисперсной структурой – мелких песков, супесей и суглинков.

Экспериментальная проверка

По специально разработанному проекту была выполнена укрепительная цементация основания жилого дома на глубину 15 м ниже фундаментной плиты. Путем инъекции цементного раствора по сетке 3х3 м в пределах контура фундаментной плиты дома были затампонированы все разуплотненные зоны и каверны. В процессе укрепления проводился геотехнический контроль соответствия параметров инъекции требованиям проекта.

Для оценки характеристик закрепленных грунтов выполнялось бурение, отбор монолитов и испытание образцов закрепленного грунта на одноосное сжатие.

Коэффициент пористости $e_з$ закрепленного грунта определен используя фактические характеристики закрепленных грунтов:

$$e_з=(\gamma_{пр}-\gamma_{ск})/\gamma_{ск}, \quad (14)$$

где $e_з$ – коэффициент пористости, полученный по фактическим данным;

$\gamma_{пр}$ – объемный вес закрепленного грунта;

$\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета закрепленного грунта.

Расчет характеристик E_y, e_y, был произведен по методике, описанной выше, по формулам (9, 10).

Значение коэффициента k принято равным 1,7 (рис. 3).

Результаты расчетных и опытных значений коэффициента пористости и модуля деформации закрепленных грунтов представлены в табл.

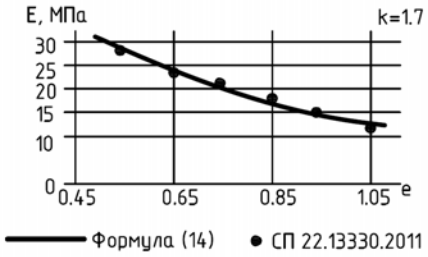


Рис. 3. Зависимость модуля деформации от коэффициента пористости для глин и суглинков

Таблица

Физико-механические характеристики грунтов

	Влажность, %		Объемный вес, γ, г/см^3				Объем поглощенного цементного раствора на 1 м заходки	Коэффициент пористости			Модуль деформации.		
			Природ.		Скелета						Е, МПа		
	До закрепления	После закрепления	До закрепления	После закрепления	До закрепления	После закрепления		Природный,	Экспериментальный, после закрепления	Расчетный после закрепления	Природный.	Экспериментальный, после закрепления	Расчетный, после закрепления
							V_p, м^3	e	$e_з$	$e_у$	E	$Eз$	$E_у$
ИГЭ1 Глина полутвердая	24,6	16,1	1,93	2,3	1,55	1,74	1,36	0,778	0,162	0,245	18	49,9	43,5
ИГЭ2 Глина карбонатная	20,1	10,5	1,94	1,98	1,62	1,67	1,36	0,681	0,108	0,197	27	69,7	60,2
ИГЭ2 Глина карбонатная	24,6	10,3	1,93	2,14	1,55	1,8	1,46	0,778	0,103	0,172	18	49,9	43,51

Анализ данных таблицы показывает, что расхождение опытных и расчетных значений модуля деформации закрепленного грунта не превышает 20 %, что подтверждает возможность использования аналитических формул (11 и 13) для прогноза требуемого объема цементного раствора исходя из требуемого модуля деформаций.

Заключение

1. В результате выполненного исследования теоретически решена задача упрочнения грунта при инъекции цементного раствора и получены формулы для определения модуля деформации закрепленного грунта в зависимости от коэффициента пористости и объема инъецируемого грунта от модуля деформаций.

2. Выполнена экспериментальная проверка полученных зависимостей в глинистых грунтах, в результате которой расхождение опытных и расчетных данных не превысило 20 %.

Список библиографических ссылок

1. Готман А. Л., Готман Ю. А. Расчет параметров закрепления грунтов ограждения глубоких котлованов // Жилищное строительство. 2012. № 11. С. 8–11.
2. Зеге С. О., Бройд И. И. Расчет параметров процесса сооружения подземных конструкций, сооружаемых с помощью струйной геотехнологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2010. № 6. С. 14–17.
3. Черняков А. В. Применение струйной цементации грунтов в условиях исторической застройки // Жилищное строительство. 2011. № 9. С. 24–26.
4. Юлин А.Н. Инженерно-геологические аспекты геотехнического контроля при создании искусственных песчаных оснований // Инженерные изыскания. 2010. № 10. С. 28–32.
5. Исаев Б. Н., Бадеев С. Ю., Лунев А. Г., Цапкова Н. Н., Логутин В. В., Кузнецов М. В., Бадеев В. С., Опыт закрепления грунтов цементогрунтовыми элементами // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2010. № 5. С. 29–32.
6. Готман Н. З., Вагапов Р.Р. Расчет мощности сцементированных грунтов как меры противокарстовой защиты зданий и сооружений//Вестник гражданский инженеров. 2013. № 4 (39). С. 119–124.
7. Ланеес А. Л Определение модуля деформации армированного инъектированным раствором грунта: Труды юбилейной конференции, посвященной 50-летию РОМГГиФ «Российская геотехника – шаг в XXI век». Том 2. М., 2007. 109 с.
8. Abir Al-Tabbaa. Soil stabilization: surface mixing and laboratory mixtures: Proc. ISSMGE – TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI / Brussels, 31 May and 1 June. 2012. V. 1. P. 67–83.
9. Huybrechts N., Denies N. General Report of TC 211-Ground Improvement: Proc. Of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Vol. 1. Paris, 2013. P. 2417–2424.
10. Grisolia M., Leder E., Marzano I. P. Standardization of the molding procedures for stabilized soil specimens as used for QC/QA in Deep Mixing application: Proc. Of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Vol. 1. Paris, 2013. P. 2481–2484.

Gotman N.Z. – doctor of technical sciences
Gotman A.L. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: gotmans@mail.ru
NIIOSP named after N.M. Gersevanov
The organization address: 09428, Russia, Moscow, 2nd Institutskaya st., 6/12

Determination of the deformation modulus strengthened by ground cementing

Abstract

Problem statement. The aim of the work done was to calculate strengthened ground's modulus of deformations based on the physical characteristics of the natural soil and the volume of the ground injection solution.

The analytical solution for defining modulus of deformation, based on assumptions of cement filling the pores' volume, which are free from pore water, is obtained. In the first step, the volume of the solution for ground injection is determined and then the coefficient of soil porosity and modulus of deformations of strengthend ground is determined.

Results. By using correlation between the deformation modulus and the coefficient of soil porosity in accordance with SP 22.13330.2011 (Foundations of buildings and structures), the analytical solution for the strengthened ground's modulus of deformation is determined. The comparison between experimental and calculated values is made and their convergence is shown. The possibility of using analytic formulas for determining required volume of the solution for strengthend ground is established.

Conclusion. Founded analytical solutions can be successfully used for designing strengthening cementation grounds for determining the modulus of strengthened soil's deformations, depending on the volume of the injectable solution.

Keywords: Modulus of deformations, strengthened ground, cement grouting.

References

1. Gotman A. L., Gotman Y. A Design of parameters of the deep excavations fences strengthening // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2012. № 11. P. 8–11.
2. Zege S. O., Broid I. I. Design of parameters of underground structure construction, being erected with the usage of jet geotechnology // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2010. № 6. P. 14–17.
3. Chernyakov A. V. Application of jet grouting in conditions of historic buildings // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2011. № 9. P. 24–26.
4. Yulin A.N. Geotechnical aspects of geotechnical control in the creation of artificial sandy grounds // Inzhenernyye izyskaniya. 2010. № 10. P. 28–32.
5. Isayev B. I., Badeev S. Yu., Lunev A. G., Tsapkova N. N., Logutin V. V., Kuznetsov M. V., Badeev V. S. Experience of soil strengthening by cement-soil elements // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2010. № 5. P. 29–32.
6. Gotman N. Z., Vagapov R. R. Analysis of cement-bound soil thickness as a measure of anti-karst protection of buildings and structures // Vestnik grazhdanskiy inzhenerov. 2013. № 4 (39). P. 119–124.
7. Lanes A. L. Determination of the deformation modulus for the soil reinforced by injection solution : Proc. jubilee conference on the 50th anniversary of Romggif «Russian geotechnics – a step in the XXI century». Vol. 2. M., 2007. 109 p.
8. Abir Al-Tabbaa. Soil stabilization: surface mixing and laboratory mixtures: Proc. ISSMGE – TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI / Brussels. 31 May and 1 June. 2012. v. 1. P. 67–83.
9. Huybrechts N., Denies N. General Report of TC 211-Ground Improvement: Proc. Of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Vol. 1. Paris, 2013. P. 2417–2424.
10. Grisolia M., Leder E., Marzano I. P. Standardization of the molding procedures for stabilized soil specimens as used for QC/QA in Deep Mixing application: Proc. Of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Vol. 1. Paris, 2013. P. 2481–2484.

УДК 624.159
Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Королева И.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: 79178711218@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Влияние процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении

Аннотация

Постановка задачи. В условиях режимного длительного нагружения в грунте одновременно возникают деформации изменения объема и формы, которые, оказывая друг на друга влияние, приводят к стабилизации скорости деформирования и даже к затуханию деформаций или к прогрессирующей ползучести грунта. При этом в расчетных моделях влияние этих процессов на деформирование и прочность грунтового массива отражено недостаточно.

Результаты. В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении. Установлено, что в процессе трехосного режимного нагружения происходит одновременное упрочнение и разупрочнение глинистого грунта, при этом процесс деформирования может привести к разрушению в результате прогрессирующего течения или к стабилизации деформаций. Основным критерием разрушения глинистого грунта является критическая величина степени его поврежденности микротрещинами в зоне предельного равновесия.

Выводы. При режимном трехосном нагружении образцов глинистого грунта нарушенной структуры за счет восстановления структурных связей показатели прочности грунта увеличиваются от 5 % до 15 %.

Ключевые слова: глинистый грунт, упрочнение, напряженно-деформированное состояние грунта, режимное нагружение, дилатансия, разупрочнение, микротрещины.

Ведение

Деформирование грунта в условиях режимного и циклического длительного трехосного сжатия сопровождается возникновением деформаций как сдвиговых, так и объемных. Они оказывают друг на друга влияние, вызывая изменение плотности грунта, в результате чего грунт упрочняется или разупрочняется и процесс деформирования может закончиться либо стабилизацией деформаций, либо прогрессирующим течением и, как следствие, разрушением.

В многокомпонентной (многофазной) среде, которой является глинистый грунт, в зависимости от продолжительности действия и величины нагрузки могут возникнуть обратимые и остаточные деформации изменения объема и формы, следует учитывать, что пластические деформации развиваются во времени [1-8]. Эти свойства существенно зависят от начальных величин влажности, плотности грунта, так и от их изменяемых при режимном деформировании значений.

Существующие расчетные модели грунта в недостаточной степени отражают эти зависимости, особенно зависимость свойств пластичности от изменяющейся в процессе деформирования плотности скелета грунта, т.е. не учитывается влияние упрочнения скелета грунта.

Теоретические исследования

На упрочнение глинистого грунта в процессе его деформирования во времени влияют следующие факторы:

а) изменение плотности скелета;

б) структурные изменения в грунте, в том числе залечивание микродефектов, микротрещин и мокрополостей, изменение ориентации частиц, как во времени, так и в пространстве.

Следует отметить, что эти два фактора тесно взаимосвязаны и сложно их разделить (выделить долю каждого из них) и учитывать во времени по отдельности.

Опираясь на результаты теоретических и экспериментальных исследований можно представить следующую схему развития деформаций ползучести и изменения длительного сопротивления разрушению в процессе режимного трехосного сжатия. В зависимости от величины, режима и продолжительности действия нагрузки в многофазном глинистом грунте происходят два взаимно компенсирующих явления: упрочнение, обусловленное залечиванием дефектов и более плотной перекомпоновкой частиц, и разупрочнение, вызванное переориентацией частиц, а также образованием и развитием микротрещин и макротрещин. В тех случаях, когда разупрочнение начнет превалировать над упрочнением, возникает стадия разрушения и прогрессирующей ползучести, причем эти процессы охватывают не весь объем грунта, а лишь зоны предельного равновесия.

Девиаторное нагружение и длительная выдержка под нагрузкой сопровождаются возникновением и развитием множества поверхностей сдвига и разрывов сплошности грунта образца, положение которых меняется в процессе увеличения девиатора и времени, следовательно, отрицательная дилатансия (разрыхление) глинистого грунта при режимном трехосном сжатии локализуется в пределах потенциально возможных площадок предельного равновесия (рис. 1).

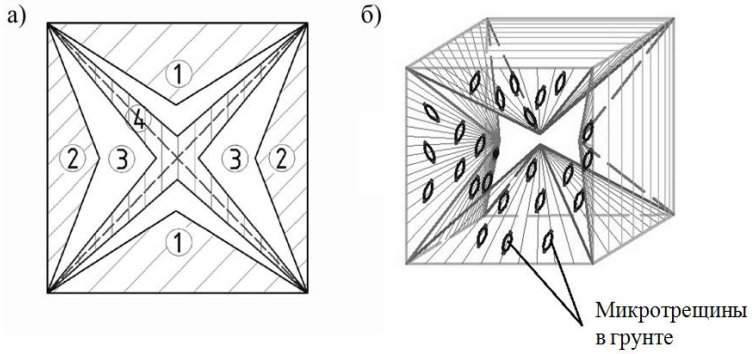


Рис. 1. а) Схема расположения локальных зон различной плотности в образце при трехосных испытаниях: 1 – вертикальные уплотненные пирамиды; 2 – уплотненные пирамиды у боковых граней; 3 – зона однородного напряженного состояния; 4 – зона дилатансии; б) Схема развития трещин в зоне предельного равновесия

При загружении глинистого грунта в начальной стадии наблюдается интенсивное развитие микроразрушений (субмикротрещин, микротрещин), сопровождающихся разуплотнением структуры и нелинейной ползучестью в целом. Затем, в зависимости от режима нагружения, этот процесс прекращается, структура грунта за счет восстановления водно-коллоидных и структурных связей уплотняется, наблюдается переход к зоне линейной ползучести.

Уплотнение грунта зависит от всей истории загружения и описывается функцией:

$$g = g\left(t, \frac{s}{R}, r_{cp} = \frac{s^{\min}}{s^{\max}}, N, R\right),$$

которая характеризует возрастание прочности в результате процесса восстановления водно-коллоидных и структурных связей.

Учет изменения γ (t, τ) качественно отражается на характере роста микроповреждений при режимном нагружении.

Рассмотрим механизм упрочнения глинистого грунта в процессе режимного трехосного нагружения. Упрочнение грунта начинается только при напряжениях, значения которых выше уровня нижней границы микротрещинообразования R_T^0. Как известно, при нагружении массива глинистого грунта вокруг дефектов структуры

(микротрещин, микропор) образуется концевая зона пластически деформированного грунта (зона предразрушения). Концевая зона пластического деформирования – это зона повреждения с мелкими микротрещинами – субмикротрещинами. Поэтому принимается, что процесс упрочнения происходит в этой зоне и она проявляется в увеличении удельной работы разрушения грунта. Субмикротрещины в концевой пластической зоне, образованные при режимном нагружении, остаются открытыми в течение нагрузочного цикла, облегчая образование и рост свежего продукта восстановления водно-коллоидных и структурных связей. Поэтому процесс восстановления связей, а следовательно, микроструктурное упрочнение может продолжаться без торможения в течение всего периода режимного нагружения.

Для аналитического описания влияния процесса восстановления водно-коллоидных и структурных связей на процесс развития микротрещин, и как следствие, изменения деформаций и прочности грунта при режимном нагружении воспользуемся объединенной моделью В.В. Болотина [9]. Следуя работе [9], принимаем энергетическую концепцию Гриффитса в терминах аналитической механики. При этом параметрам трещины придается смысл обобщенных координат. Составим выражение для виртуальной работы всех внешних и внутренних сил, вычисленной при варьировании по Гриффитсу:

$$\delta A=\delta A_e+ \delta A_i - \delta A_f, \quad (1)$$

где δA_e – элементарная работа внешних сил;
δA_i – элементарная работа внутренних сил;
δA_f – элементарная работа для продвижения трещины.

В массиве грунта, как было сказано выше, всегда имеется система начальных усадочных микротрещин и микропор, заданная при помощи вектора $l=\{l_1, l_2, \ldots l_m\}$. При этом принимаем, что в начальной стадии микроповреждения не взаимодействуют между собой, и условием необратимости микротрещины будет $\delta l_i \geq 0$. При приложении нагрузки на фронте трещин образуются пластические зоны (зоны микроповреждений). Виртуальную работу (1) представим в виде:

$$\delta A = \sum_{j=1}^{m} \left(G_j - \Gamma_j\right)\delta l_j, \quad (2)$$

где G_j – обобщенные силы, способствующие развитию трещины;
Γ_j – обобщенные силы сопротивления.

Обобщенные силы G_j и Γ_j зависят от состояния пластической зоны на фронте микротрещины.

В начальной стадии до приложения нагрузки всегда соблюдается неравенство:

$$G_j < \Gamma_j. \quad (3)$$

После приложения нагрузки, в зависимости от уровня напряжений, в концевой пластической зоне начинают накапливаться микроповреждения в виде субмикротрещин. Принимаем, что уровень поврежденности в концевой пластической зоне микротрещины характеризуется скалярной функцией $\varphi\ (x, N, T)$, так называемой мерой повреждения.

При $N = 0$ и $T = 0$ имеем $\varphi = \varphi_0\ (x)$, а $\varphi\ (x, N, T) = 1$ соответствует полностью поврежденному грунту. Мера повреждений $\varphi\ (x, N, T)$ существенно влияет на величину обобщенной силы Γ, которая в этом случае имеет смысл удельной работы разрушения (работы, которая затрачивается при продвижении вершины на единицу длины). Рассмотрим два случая изменения удельной работы разрушения в зависимости от меры повреждения в концевой пластической зоне.

В тех случаях, когда не учитывается микроструктурное упрочнение грунта, удельная работа разрушения Γ монотонно уменьшается с увеличением $\varphi\ (x, N, T)$ в зависимости от уровня нагруженности и количества циклов нагружения (N) или времени действия статической нагрузки (T). В этом случае удельная работа разрушения уменьшается с момента приложения нагрузки с различной интенсивностью в зависимости от уровня нагруженности.

В случае, когда учитывается упрочнение грунта вследствие микроструктурного упрочнения, при небольших значениях $\varphi\ (x, N, T)$ удельная работа разрушения в концевой пластической зоне возрастает по сравнению с начальным значением Γ_0.

Максимальная величина удельной работы разрушения Γ^{max} (x, N, T) достигается при $\varphi = \varphi_n$, после чего нарушение структуры и разрыхление начинают преобладать над процессом упрочнения и удельная работа разрушения начинает уменьшаться, достигая при φ (x, N, T) = φ_s начального значения Γ_0. При увеличении количества циклов нагружения или времени действия нагрузки (если уровень напряжений не снижается) происходит дальнейшее уменьшение удельной работы разрушения (рис. 2).

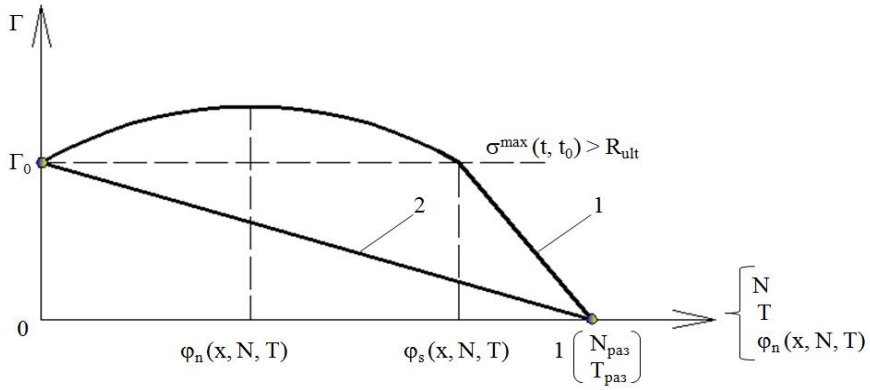


Рис. 2. Зависимость удельной работы разрушения от уровня микроповреждений, количества циклов нагружения или времени действия нагрузки с учетом (1) и без учета (2) микроструктурного упрочнения грунта

В момент приложения нагрузки $l = l_0$ (t) и $\varphi = \varphi_0$ (x, l). При этих начальных данных система находится в субравновесном состоянии. Затем, по мере увеличения количества циклов нагружения или времени действия нагрузки, происходит накопление микроповреждений и одновременное микроструктурное упрочнение на концевой пластической зоне микротрещины при постоянной длине микротрещины (то есть инкубационная стадия).

Инкубационная стадия заканчивается при нарушении неравенства:

$$G\left[\sigma(N,T), l_0,\ \varphi(N,T)\right] < \Gamma\left[\sigma(N,T), l_0,\ \varphi(N,T), m_j(N,T)\right], \quad (4)$$

где m_j (N, T) – обобщенная функция микроструктурного упрочнения грунта.

После этого начинается развитие микротрещины при приближенном выполнении условия

$$G\left[\sigma(N,T), l(N,T),\ \varphi(x,N,T)\right] < \Gamma\left[\sigma(N,T),\ l(N,T),\ \varphi(x,N,T), m_j(N,T)\right]. \quad (5)$$

Для выяснения характера изменения удельной работы разрушения вследствие восстановления водно-коллоидных и структурных связей глинистого грунта воспользуемся зависимостью [10]:

$$C_0(t,\tau_1,N) = C_0(\tau_1)\cdot m(t,\tau_1)\cdot \lambda(t,\tau_1)\cdot m_E(t,\tau_1), \quad (6)$$

где C_0 (τ_1) – начальное значение удельного сцепления грунта при кратковременном статическом нагружении;

C_0 (t, τ_1, N) – удельное сцепление между частицами глинистого грунта при режимном нагружении;

m (t, τ_1) – функция упрочнения грунта за счет восстановления водно-коллоидных связей;

λ (t, τ_1) – функция упрочнения грунта за счет восстановления структурных связей с учетом сочетания различных блоков в процессе режимного нагружения;

m_E (t, τ_1) – функция, учитывающая увеличение обобщенной силы, продвигающей трещины вследствие ползучести грунта.

Функция m_E (t, τ_1) определяется с учетом изменения объемного модуля деформации K (τ_1) и K (t), а также меры объемной ползучести грунта C (t, τ_1):

$$m_E(t,\tau_1) = \sqrt{\frac{K(\tau_1)}{K(t)}\cdot\frac{1}{1+K(\tau_1)\cdot C(t,\tau_1)}}. \quad (7)$$

Функции m (t, τ_1) и λ (t, τ_1) учитывают увеличение удельной работы разрушения (работы, которая затрачивается на продвижение фронта трещины на единицу длины) при

режимном нагружении за счет восстановления структурных и водно-коллоидных связей на ранних стадиях нагружения (в блоках с низким уровнем напряжений) или после перехода от блока с циклическим нагружением к блоку с длительным статическим нагружением.

Изменение удельной работы разрушения грунта при режимном нагружении практически не изучено. Поэтому функции $m\ (t,\ \tau_1)$ и $\lambda\ (t,\ \tau_1)$ определяем косвенно на основе экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования.

Авторами проведены испытания глинистых грунтов в условиях режимного нагружения. Для определения влияния процесса восстановления структурных связей образцы были выполнены из грунта нарушенной структуры по ГОСТ 30416. Крупность зерен грунта, используемого для приготовления пасты, составляла менее 2 мм, что с одной стороны позволяло частично сохранить структурную прочность (связь) между частицами как исходного материала для дальнейшего восстановления связей, а с другой – позволяло создать искусственно приготовленный грунт нарушенной структуры. Начальные значения физико-механических характеристик грунта приведены в таблице.

Таблица

Физико-механические характеристики образца глинистого грунта нарушенной структуры до начала испытаний

Наименование показателей	Обозначение	Ед. измерения	Значение
Удельный вес	γ	кН/м^3	19,4
Удельный вес скелета	γ_s	кН/м^3	27,3
Влажность	W	%	23
Влажность на границе текучести	W_L	%	40,1
Влажность на границе раскатывания	W_P	%	22,8
Число пластичности	I_P	-	17,3
Удельное сцепление	c	кПа	67,467
Угол внутреннего трения	φ	Град.	20,60

Образец грунта нарушенной структуры с заданными параметрами плотности ρ и влажностью W, близкой к пределу раскатывания, подвергался воздействию статической нагрузки на приборе трехосного сжатия стабилометрического типа, позволяющем осуществить возможность бокового расширения в условиях осесимметричного нагружения $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ при постоянном давлении в камере σ_3. Испытания проводились по схеме «неконсолидированно-недренированное» (ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости) при различных режимах нагружения с учетом фактора времени. Согласно программе экспериментальных исследований были рассмотрены следующие изменяемые параметры: величина всестороннего обжатия и время выдержки образца в форме до начала нагружения. Давление в камере принималось равным 100 кПа, 200 кПа, 300 кПа, 400 кПа, что позволило определить частные значения φ и c для образца на каждом временном интервале. Образцы глинистого грунта нарушенной структуры выдерживались в форме в течение от 0 до 4 суток.

По результатам экспериментальных исследований получены графические зависимости увеличения прочности образца глинистого грунта нарушенной структуры при упрочнении. Установлено, что за счет восстановления структурных связей удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта увеличиваются от 5 % до 15 % (рис. 3-4), прочность образца в интегральном объеме увеличивается на 15 % (рис. 5). Длительность выдержки образца глинистого грунта до начала нагружения оказывает существенное влияние на механические свойства грунта, при этом, чем больше время выдержки ступени нагружения – тем большие механические характеристики имеет грунт. Однако, при увеличении времени выдержки более 4 суток существенного влияния на упрочнение образца грунта не установлено.

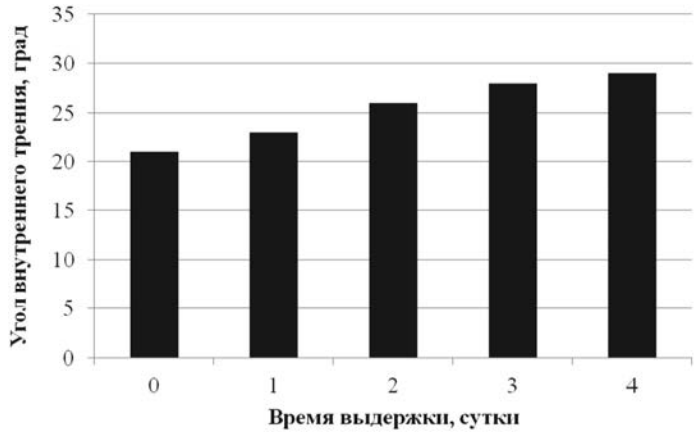


Рис. 3. Влияние процессов упрочнения на угол внутреннего трения глинистого грунта

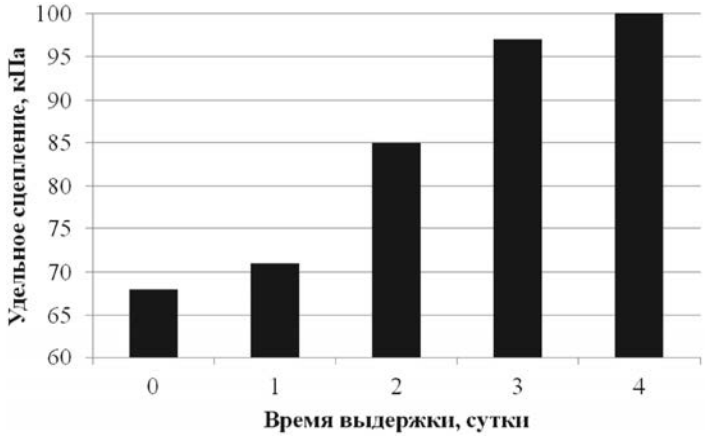


Рис. 4. Влияние процессов упрочнения на удельное сцепление глинистого грунта

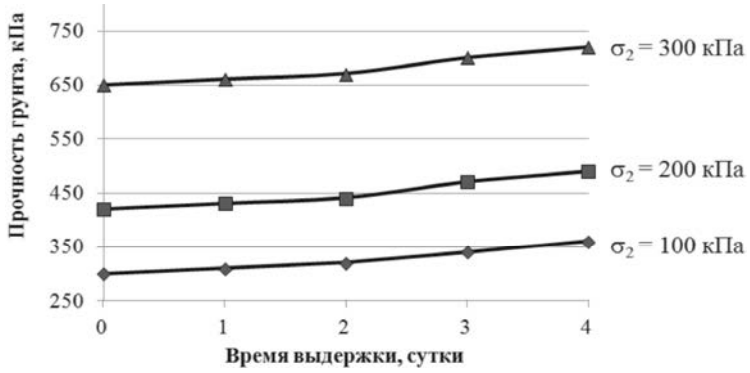


Рис. 5. Влияние процессов упрочнения на прочность глинистого грунта при различных значениях всестороннего обжатия

Заключение

Разработаны аналитические уравнения описания процесса упрочнения глинистого грунта при режимном трехосном сжатии за счет восстановления водно-коллоидных и структурных связей. В результате экспериментальных исследований установлено, что параметры, характеризующие прочность грунта, φ и *c* увеличиваются от 5 % до 15 %, прочность образца в интегральном объеме увеличивается на 15 %. Длительность выдержки образца нарушенного грунта до начала нагружения, а также режим нагружения оказывают существенное влияние на изменение механических свойств грунта при дальнейшем нагружении. Следует отметить, что максимальное упрочнение достигается при выдержке образца в ненагруженном состоянии 4 суток.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 16–23.
2. Тер-Мартиросян З. Г., Тер-Мартиросян А. З., Соболев Е. С. Ползучесть и виброползучесть грунтов : Труды XIV междунар. симп. по реологии грунтов – Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–23.
3. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
4. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : Труды XIII междунар. симп. по реологии грунтов – Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения / КГАСУ. Казань, 2012. С. 18–26.
5. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В., Иванова О. А. Малоцикловая выносливость и деформации глинистых грунтов при трехосном циклическом нагружении // Жилищное строительство. 2012. № 9. С. 6–8.
6. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
7. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 121–128.
8. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении // Известия КГАСУ. 2012. № 4 (22). С. 193–198.
9. Болотин В. В. Объединенные модели в механике разрушения // Известия АН СССР. Механика твердого тела, 1984, № 3. – С. 127–137.
10. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Volume 53. Issue 1. P. 5–11.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Koroleva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: 79178711218@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of the hardening process on the strength of clay soil under regime triaxial loading

Abstract

Problem statement. Under the conditions of the regime long-term loading in the ground at the same time arise changes in the deformation volume and shape, which influence to each other, leads to strain rate stabilization and even deformation attenuation or progressive soil creep. Herewith, in the calculation model, the effect of these processes on the soil mass deformation and strength is reflected insufficiently.

Results. The article presents theoretical and experimental study results of the hardening process effect to the clay strength under the regime triaxial loading. It is found that in the process of the regime triaxial loading occurs simultaneous clay soil hardening and softening, wherein the deformation process can lead to the destruction as a result of deformation

progressive or stabilization. The main criterion for the destruction of clay soil is a critical damage degree value by microcracks in the equilibrium zone limit.

Conclusions. At the regime triaxial loading of clay soil samples of disturbed structure by restoring the structural links, soil strength indicators are increased from 5 % to 15 %.

Keywords: clayey soil, hardening, stress-strain state of soil, loading modal, dilatancy, softening, micro-cracks.

References

1. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov. 2011. № 4. P. 16–23.
2. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sobolev Ye. S. Creep and vibrocreep of soils : Proc. XIV intern. symp. on the rheology of soils – Future directions of the theory and practice of rheology and soil mechanics / KGASU. Kazan, 2014. P. 8–23.
3. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
4. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : Proc. XIII intern. symp. on the rheology of soils – Achievements, Problems and Perspective Directions of Development for the Theory and Practice of Soil Mechanics and Foundation Engineering Problems / KGASU. Kazan, 2012. P. 18–26.
5. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V., Ivanova O. A. Low-Cycle Endurance and Deformations of Clay Soils in the Course of Three-Axial Cyclic Loading // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2012. № 9. P. 6–8.
6. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
7. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Designed model of long nonlinear deformation of clay soil in a complex stress state // Izvestiya KGASU. 2011. № 2 (16). P. 121–128.
8. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Features of deformation of clay soils during loading of regime // Izvestiya KGASU. 2012. № 4 (22). P. 193–198.
9. Bolotin V. V. The combined model in fracture mechanics // Izvestiya AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela, 1984, № 3. P. 127–137.
10. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Volume 53. Issue 1. P. 5–11.

УДК 624.154.5
Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Шарафутдинов Р.А. – аспирант
E-mail: rushan.sharafutdinov959@gmail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Напряжённо-деформированное состояние грунтового основания, армированного вертикальными и горизонтальными элементами

Аннотация

Постановка задачи. В статье приводятся результаты экспериментальных лотковых испытаний песчаного грунта при различных вариантах армирования. На основании данных экспериментальных исследований авторами проведен анализ влияния армирующих элементов на напряженно-деформируемое состояние песчаного грунтового основания.

Результаты. Результаты исследования показали, что армирование грунтового основания вертикальными и горизонтальными элементами уменьшает осадку и увеличивает несущую способность.

Выводы. Горизонтально и вертикально армирующие элементы препятствуют сдвиговым усилиям возникающим в грунтовом основании непосредственно под штампом, перераспределяют напряжения и передают их на глубину, что позволяет исключить выпоры на поверхности грунта.

Ключевые слова: напряженного-деформируемое состояние, несущая способность, осадки, лабораторные испытания, песчаный грунт, напряжения, армирующие элементы.

Важнейшей проблемой для Российской Федерации и Республики Татарстан является строительство на территориях, сложенных на слабых грунтах. Одним из способов увеличения несущей способности и уменьшения осадок является армирование вертикальными и горизонтальными элементами. В качестве горизонтально армирующих элементов могут использоваться различные виды геосинтетических материалов (геосетки, георешетки, геоячейки, геоматы и т.д. [5]. В качестве вертикально армирующих элементов могут быть практически любой вид свай, как по материалу, так и по устройству.

Для изучения напряженно-деформируемого состояния армированного грунтового основания были проведены штамповые испытания в лабораторных условиях и моделирование в программе Plaxis 2d при различных вариантах армирования.

Штамповые испытания проводились в металлическом лотке с размерами 1,0×1,0×1,0 м. В качестве модели грунта основания использовался песок средней крупности, рыхлый, маловлажный, со следующими физико-механическими характеристиками (табл.).

Таблица

Наименование	Обозн.	Знач.	Ед. изм.
Плотность	ρ	1,49	г/см^3
Плотность сух. гр.	ρd	1,27	г/см^3
Влажность	W	4	%
Угол внутр. трения	ϕ	23,8	град.
Удельное сцепление	C	0	кПа
Модуль деформации	E	1,3	МПа

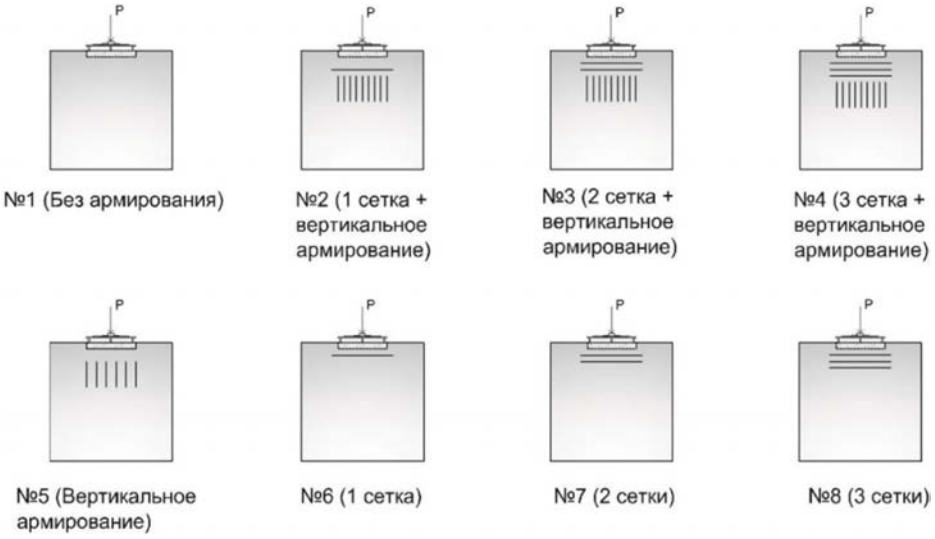


Рис. 1. Схемы лотковых испытаний при различных вариантах армирования

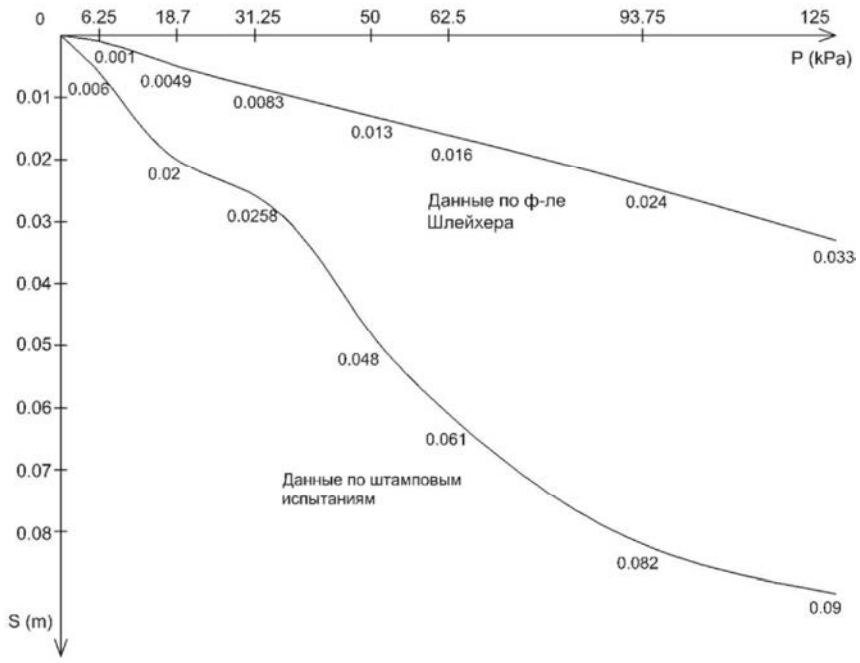


Рис. 2. График зависимости P(kPa) – S(m) для песчаного грунта без армирования

На рис. 2 представлены данные об изменении осадки штампа S (м) в зависимости от давления P (кПа). Из данного графика видно, что при нагрузках от 0 до 18,7 кПа деформации песчаного грунта без армирования линейные, песчаный грунт уплотняется. Далее на участке от 18,7 до 31,25 кПа идет развитие пластических деформаций, по торцам штампа развиваются касательные напряжения. И при повышении нагрузки более 31,25 кПа происходит разрушение грунта [6].

Так же на рис. 2 представлены данные об изменении осадки, посчитанные по формуле Шлейхера. Как видно из графика при повышении нагрузки теоретические данные отличаются от данных полученных при штамповых испытаниях, при P=125 кПа отличие в 3 раза.

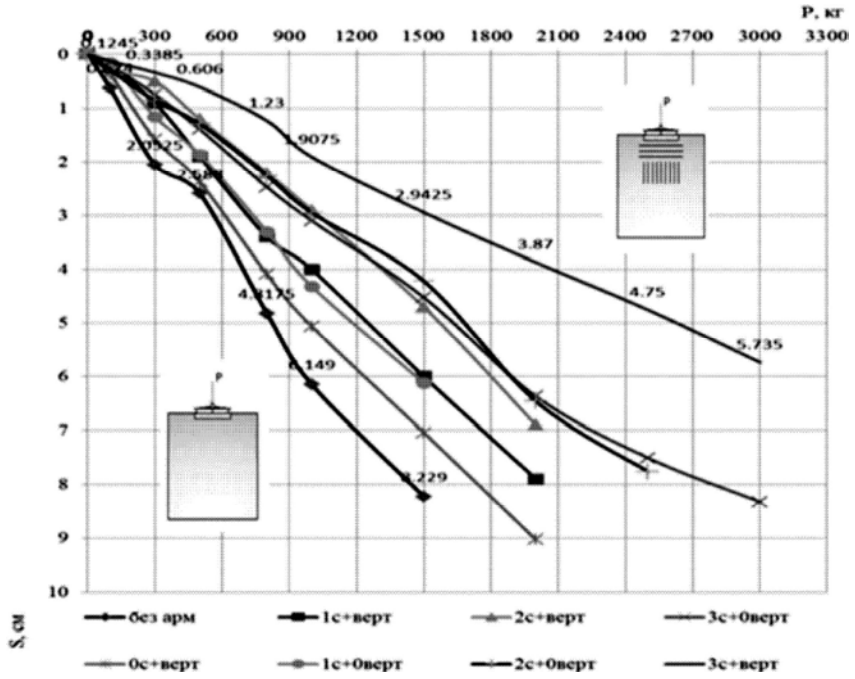
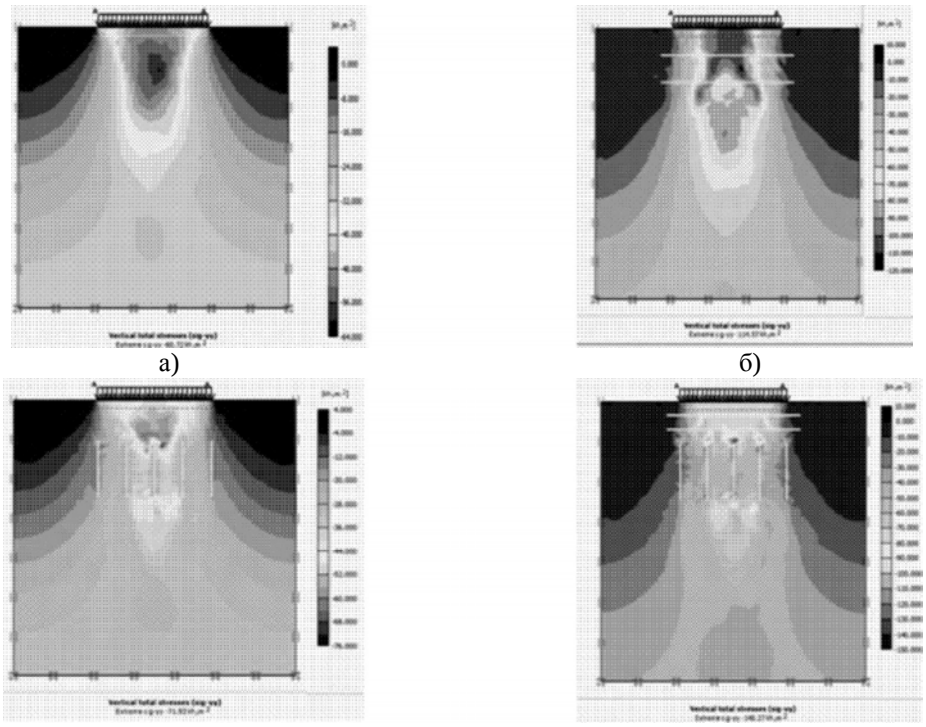


Рис. 3. График сравнения изменений осадок грунтового массива
с различными типами армирования

Сравнивая графики осадок песчаного грунта без армирования и при армировании вертикальными элементами, горизонтальными элементами и при комбинированном армировании можно сказать осадки уменьшаются в 1,3-3,3 раза в зависимости от варианта армирования.



а) б)

в) г)

Рис. 4. Напряжения в грунтовом массиве по результатам численного моделирования в Plaxis 2d
при различных вариантах армирования:
а) без армирования; б) 2 сетки; в) только вертикальное армирование;
г) 2 сетки и вертикальное армирование

В результате численного моделирования в программе Plaxis 2d были получены величины напряжений в грунтовом массиве при различных вариантах армирования. Как видно из рис. 4. с введением армирующих элементов в грунтовое основание напряженно-деформируемое состояние изменяется. Горизонтально и вертикально армирующие элементы препятствуют сдвиговым усилиям, возникающим в грунтовом основании непосредственно под штампом, перераспределяют напряжения создаваемое штампом и передают их на глубину, что позволяет исключить выпоры на поверхности грунта.

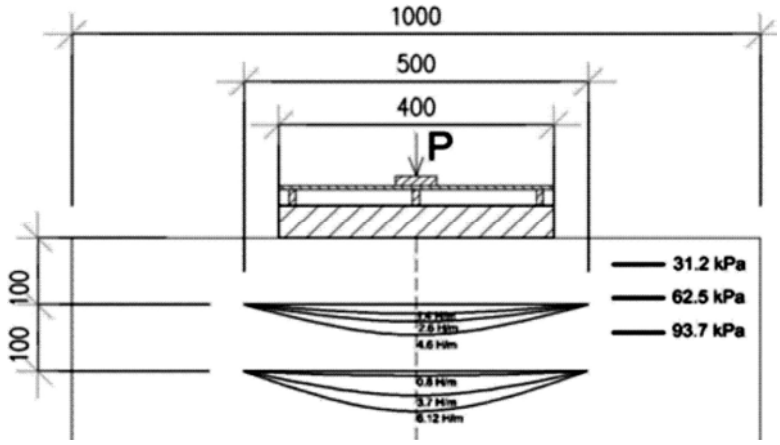


Рис. 5. Напряжения в армирующих элементах испытание № 7

При проведении штамповых испытаний были определены численные значения усилий в горизонтальных и вертикальных армирующих элементах, с помощью наклеенных на поверхность тензодатчиков.

На рис. 5. представлены величины усилий в горизонтально армирующих элементах при различных нагрузках при испытании № 7. Значение усилий в нижней сетке больше, чем в верхней. Это объясняется тем, что расположение вышележащей сетки приходит на уплотнённую зону (пирамида продавливания), нижняя сетка расположена в зоне сдвигов.

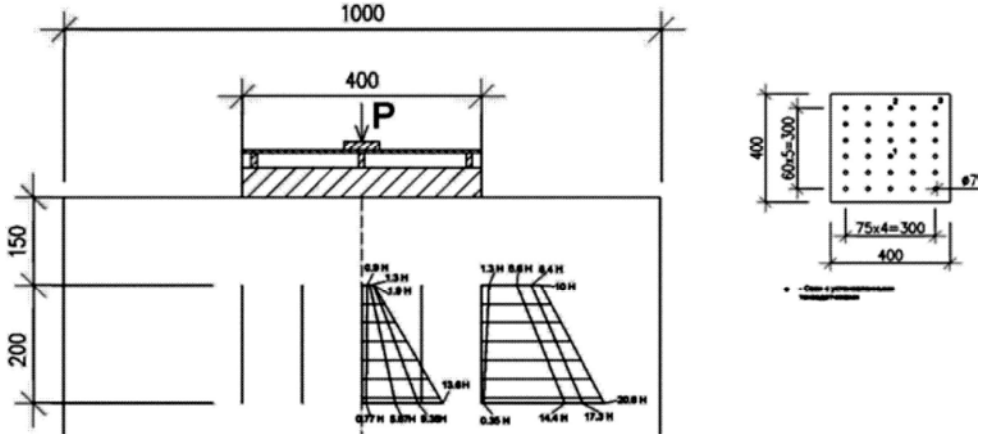


Рис. 6. Напряжения в армирующих элементах испытание № 5

На рис. 6. представлены значения усилий в вертикально армирующих элементах, (при нагрузках 31, 62, 93, 125 кПа), расположенных по середине и в угловой зоне армированного основания которые имеют следующий характер распределения: наименьшее значение в верхней зоне, наибольшее в нижней. Подобный характер распределения усилий в грунтовом массиве связан с тем, что усилие на армирующие элементы передаются через песчаную прослойку, вследствие чего происходит трение грунта по боковой поверхности и по обрезу вертикально армирующих элементов и поэтому усилия увеличиваются по глубине.

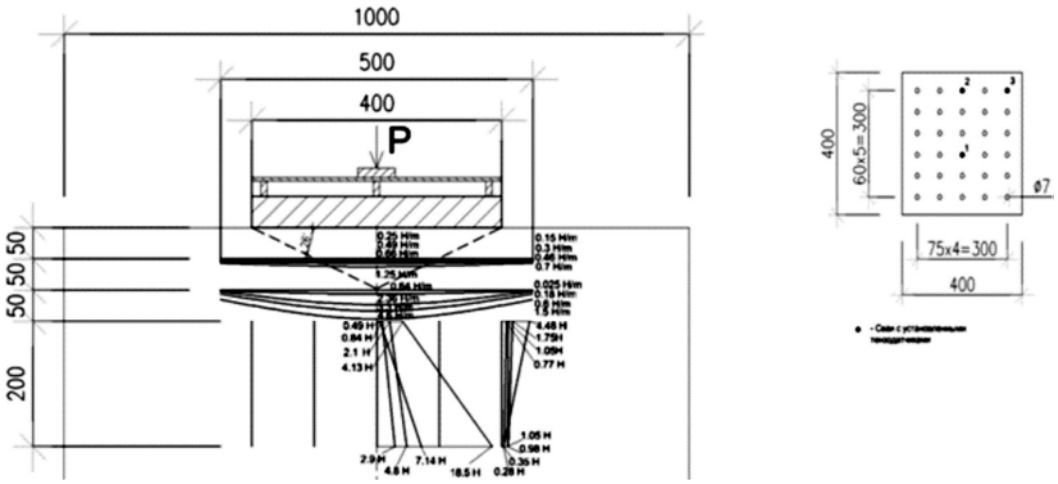


Рис. 7. Напряжения в армирующих элементах испытание № 3

Картина работы грунтового основания, армированного 2-мя геосетками и вертикальным армированием от воздействия внешней нагрузки такова, что увеличивая нагрузку на поверхность грунта до определенной величины, песчаная прослойка под ж.б. штампом уплотняется, и в работу включаются геосетки, которые воспринимают на себя большие усилия, передают на нижние слои (нижняя сетка получает большие усилия, чем верхняя, как в эксперименте, только с горизонтально армирующими элементами). Далее центральный вертикальный армирующий элемент, в силу своего расположения, воспринимает усилия сжатия (усилия возрастают по глубине), а крайние и угловые изгибаются, так как оказываются в зоне среза (большие усилия на оголовке).

Выводы

1. Использование армирующих элементов изменяет напряженно-деформируемое состояние грунтового основания.

2. Горизонтально и вертикально армирующие элементы препятствуют сдвиговым усилиям, возникающим в грунтовом основании непосредственно под штампом, перераспределяют напряжения и передают их на глубину, что позволяет исключить выпоры на поверхности грунта.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов И. Т., Шарафутдинов Р. А. Несущая способность и осадки грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами // Известия КГАСУ, 2016, № 1 (36). С. 111–116.
2. Мирсаяпов И. Т., Шарафутдинов Р. А. Расчетная модель несущей способности и осадок грунтового основания, армированного вертикальными и горизонтальными элементами // Известия КГАСУ, 2016, № 1 (37). С. 179–187.
3. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Расчетная модель несущей способности армированного основания при циклическом нагружении // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2014, № 4. С. 12–17.
4. Мирсаяпов И. Т., Попов А. О. Оценка прочности и деформативности армированных грунтовых оснований // Геотехника, 2010, № 4. С. 58–67.
5. Ильичев В. А., Мангушев Р. А.Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. С. 338–371.
6. Бартоломей А. А. Механика грунтов. М. : АСВ, 2003. С. 138–143.
7. Баданин А. Н., Колосов Е. С. Определение несущей способности армированного георешеткой грунтового основания // Инженерно-строительный журнал, 2012, № 4. – С. 25-32.
8. Джоунс К. Д. Сооружения из армированного грунта. Под ред. д-ра техн. Наук В.Г. Мельника. М. : Стройиздат, 1989. 268 с.

9. Panda S., Ray N.H.S. A study on behaviour of centrally loaded shallow foundation on sand bed reinforced with geogrid, failure and improvement: a literature review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), 2014. C. 1896–1903.
10. Panda S., Ray N.H.S. An Investigation on Behavior of Centrally Loaded Shallow Foundation on Sand Bed Reinforced with Geogrid // International Journal of Engineering Research and General Science, 2014. C. 128–146.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Sharafutdinov R.A. – post-graduate student
E-mail: rushan.1992@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Stress-strain state of soil foundation reinforced with vertical and horizontal elements

Abstract

Problem statement. The article presents the results of experimental tests through the sandy soil with different reinforcement options. On the basis of experimental studies the authors analyzed the effect of reinforcing elements in the stressed state of the sandy soil.

Results. Research results have shown that the reinforcement subgrade vertical and horizontal elements and reduces sediment increases the bearing capacity.

Conclusions. Horizontal and vertical reinforcing elements prevent shear forces occurring on ferro-concrete stamped, redistribute stress and transfer them to a depth that eliminates the air holes on the surface of the soil.

Keywords: the stress-strain state, carrying capacity, precipitation, laboratory tests, stress, sandy soil reinforcing elements.

References

1. Mirsayapov I. T., Sharafutdinov R. A. Bearing capacity and strains of the foundation soil reinforced with vertical and horizontal elements // Izvestiya KGASU, 2016, № 1 (36). P. 111–116.
2. Mirsayapov I. T., Sharafutdinov R. A. The analysis model of the bearing capacity and strains soil foundation reinforced with vertical and horizontal elements // Izvestiya KGASU, 2016, № 1 (37). P. 179–187.
3. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. The analysis model of the bearing capacity reinforced foundation under cyclic loading // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov. 2014. № 4. P. 12–17.
4. Mirsayapov I. T., Popov O. V. Evaluation of the strength and deformability of reinforced soil bases // Geotexnika. 2010. № 4. P. 58–67.
5. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. P. 338–371.
6. Bartolomey A. A. Soil mechanics. M. : ACB, 2003. P. 138–143.
7. Badanin A. N., Kolosov E. S. Determination of the bearing capacity of geogrid reinforced soil foundation // Ingenerno-stroitelny gurnal, 2012, № 4. P. 25–32.
8. Jones K. D. Structures of reinforced soil. M. : Strojizdat, 1983. 268 p.
9. Panda S., Ray N.H.S. A study on behaviour of centrally loaded shallow foundation on sand bed reinforced with geogrid, failure and improvement: a literature review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). 2014. P. 1896–1903.
10. Panda S., Ray N.H.S. An Investigation on Behavior of Centrally Loaded Shallow Foundation on Sand Bed Reinforced with Geogrid // International Journal of Engineering Research and General Science. 2014. P. 128–146.

УДК 628.8
Бабич Е.К. – студент
E-mail: babich.evgeniy1@mail.ru
Бройда В.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: broida@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Взаимодействие воздушно-струйного экрана со щелевым стоком

Аннотация

Постановка задачи. Исследуется воздушно-струйный экран над промышленной ванной, защищающий атмосферу помещения от вредных выделений. Методом CFD рассчитываются течения, сформированные плоской приточной струей и щелевым стоком при сложных граничных условиях. Учитываются: расстояние между приточным устройством и стоком l, расстояние от оси воздушно-струйного экрана до зеркала жидкости h, ширина щелевого стока B.

Результаты. Установлено, что в режиме полного улавливания струи минимальным расходом воздуха (предельное улавливание) при $h^*=h/l<0{,}4$ струя настилается на зеркало жидкости, вблизи приточного устройства формируется циркуляционная зона. При больших величинах h^* под воздушным экраном формируется сплошная зона циркуляции, покрывающая все зеркало жидкости. Увеличивая высоту h^* можно размещать под экраном детали на время стекания жидкости. Определено, что в режиме предельного улавливания относительный расход удаляемого воздуха изменяется в диапазоне от $L^*=L/L_П \approx 0{,}71$ до $L^* \approx 0{,}83$.

Выводы. В режиме предельного улавливания расход воздуха, удаляемого щелевым стоком, приблизительно соответствует расходу в полуограниченной приточной струе и слабо зависит от расстояния от оси «струя – сток» до зеркала жидкости и от ширины щели стока. Результаты исследования могут быть применены для расчета воздушно-струйных экранов у ванн с высокими бортами, обеспечивающими защиту от вредных выделений, как в режиме обработки деталей, так и в режиме стекания жидкости.

Ключевые слова: воздушно-струйный экран, плоская струя, сток, улавливание, расход.

Введение

В вентиляционной практике находят широкое применение воздушно-струйные экраны, которые используются для отделения зоны помещения с более благоприятными параметрами от зоны с менее благоприятными параметрами воздушной среды. Такими в частности являются разнообразные варианты воздушно-тепловых завес, защищающих внутреннюю среду помещения от втекания наружного холодного воздуха в зимний период и повышающих температуру воздуха в зоне открываемых проемов ворот и дверей [1 и др.].

В общественных зданиях воздушно-струйный экран, образованный плоской струей, истекающей из щелевого приточного воздухораспределителя, может отделять, например, зону помещения с разрешенным курением, от зоны помещения для некурящих [2].

Еще более разнообразны применения локализуемых воздушно-струйных экранов в производственных помещениях. Воздушный экран отделяет источник вредных выделений от воздушной среды помещения и транспортирует попавшие в воздушный поток вредные выделения к месту их локализации: по такому принципу работают многие разновидности активированных местных отсосов [1].

В основе работы локализирующего воздушно-струйного экрана лежит улавливание загрязненной примесями плоской струи щелевым стоком. Среди вариантов взаиморасположения воздушно-струйного экрана, щелевого стока и поверхности источника вредных выделений наиболее часто встречается расположенные на одной оси приточный насадок и щелевой сток над зеркалом жидкости в промышленной ванне.

В основу метода расчета активированных отсосов, представленного в [1] положено аналитическое исследование взаимодействия плоской струи и щелевого стока, использующее способ наложения потоков и базирующееся на методе интегральных соотношений. В основном рассмотрено взаимодействия струи и стока при их расположении на одной оси вдали от каких-либо ограничивающих поверхностей. Затем, полученные результаты с некоторыми допущениями применены к расчету воздушно-струйного экрана у промышленной ванны.

В реальных устройствах такого типа геометрические условия значительно сложнее – существенную роль играют ограничивающие поверхности: зеркало жидкости в ванне, борта ванны, которые заметно усложняют картину течения, затрудняя ее аналитическое исследование.

В настоящее время большое распространение для решения задач аэродинамики вентиляции, в частности для расчета струйных течений и течений вблизи стоков, получили численные методы CFD (Calculating Fluid Dynamics) [3-5 и др.].

Условия предельного улавливания – полного улавливания загрязненного примесями воздушного потока минимальным расходом удаляемого воздуха представлены и используются, например, в работе [6].

Исследования течений в воздушно-струйных экранах в виде завес у проемов дверей методом CFD выполнены в работах [7-9], результаты представлены расчетными линиями тока, полями скорости и температуры, экспериментальное исследование подобных течений приведено, например, в работе [10].

Целью данной работы является определение методом CFD основных количественных соотношений для локализующего воздушно-струйного экрана над зеркалом жидкости в ванне, сформированного плоской струей и щелевым стоком, расположенными на одной оси, и работающего в режиме предельного улавливания. Такие соотношения в основном зависят от расстояния от оси воздушного экрана до зеркала жидкости в ванне, от ширины всасывающей щели и составляют основу технического расчета этих устройств.

Основная часть

В данной работе рассматривается плоская (двухмерная) задача о взаимодействии приточной струи, истекающей из узкого щелевого отверстия в направлении, расположенного на одной оси с ней, щелевого стока. Расчетная область течения ограничивается поверхностью зеркала жидкости в ванне, бортами ванны и условными границами, показанными на рис. 1.

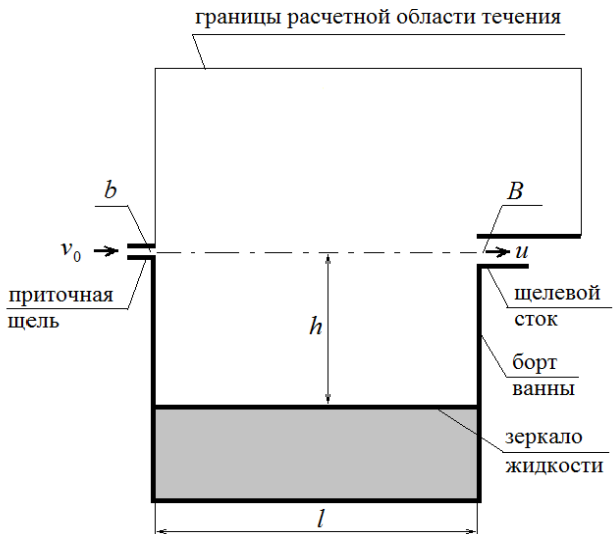


Рис. 1. Расчетная схема воздушно-струйного экрана со щелевым стоком над промышленной ванной

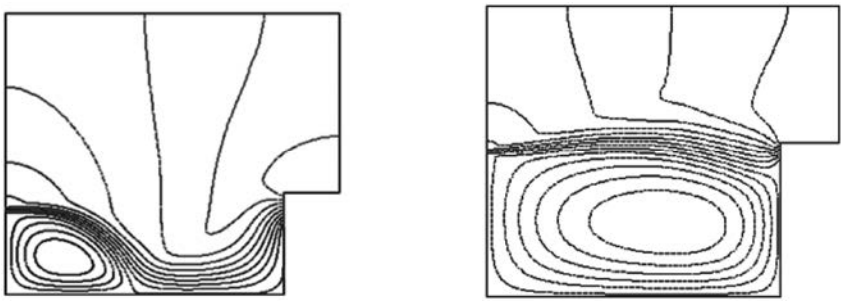
Расчеты выполнялись методом CFD для ванны шириной l=1 м. Ширина приточной щели была задана небольшой величиной b=0,02 м, что характерно для таких устройств и позволяет рассматривать плоскую приточную струю как струю-источник. Расстояние h от зеркала жидкости в ванне до оси системы струя-сток изменялось в диапазоне от 0,12 м до 0,5 м, вместе с которым соответственно изменялась высота бортов ванны.

Рассматривалась переменная ширина всасывающей щели в диапазоне B=0,06÷0,24 м, наибольшее значение которой приблизительно соответствует ширине приточной струи на расстоянии l=1 м от места истечения.

При выполнении численных расчетов скорость истечения приточной струи оставалась постоянной v_0=10 м/с.

Скорость всасывания в щелевом отверстии стока u изменялась. Находилась такая минимальная величина скорости u, при которой наблюдается предельное улавливание струи, когда струя улавливается полностью. Минимальной величине скорости всасывания при заданной ширине стока соответствует минимальный расход воздуха, удаляемого стоком. Такой расход воздуха обеспечивает полное улавливание загрязнений, попадающих в воздушно-струйный экран и, в то же время является наименьшим, наиболее выгодным по эксплуатационным затратам.

О полном или неполном улавливании струи можно судить по расчетной картине течения вблизи щелевого стока, которая представляется в виде линий тока (рис. 2.). При полном улавливании струи все линии тока замыкаются на всасывающей щели. Достаточно незначительно уменьшить скорость всасывания (в расчетах приблизительно на 1÷2 %) и часть линий тока будет уходить в пространство за всасывающей щелью стока, что свидетельствует о неполном улавливании притекающей загрязненной струи. Таким образом, при заданной геометрии варьируя скорость всасывания и анализируя расчетные картины течения вблизи стока можно отобрать режимы, соответствующие полному улавливанию воздушной струи, соответствующие минимальному расходу воздуха через сток – предельное улавливание.



а) б)

Рис. 2. Расчетная картина течения (в виде линий тока)
в воздушно-струйном экране со щелевым стоком над зеркалом жидкости в промышленной ванне
в режиме полного минимального улавливания при l=1 м, b=0,02 м, v_0=10 м/с:
а – h=0,3 м, B=0,12 м, u=4,9 м/с; б – h=0,5 м, B=0,06 м, u=9,0 м/с

При выполнении численных расчетов задавались границы области течения: непроницаемые твердые границы – это поверхность зеркала жидкости, борта ванны, внешняя поверхность всасывающей щели стока; свободные границы – в виде прямоугольной фигуры, охватывающей зону основного течения. На свободных границах давление принималось равным атмосферному, а линии тока направленными перпендикулярно этим границам. В плоскости приточного и всасывающего отверстий задавались соответственно величины скоростей истечения v_0 и всасывания u.

В данной задаче рассматривалось течение изотермической несжимаемой среды при температуре t=293 K, при плотности воздуха ρ=1,2 кг/м^3. Использовалась стандартная k-ε-модель турбулентности, причем считалось, что турбулентность порождается приточной струей и завихрениями на углах твердых стенок, а внешние потоки подтекающего воздуха к струе и к всасывающему отверстию на свободных границах области расчета не турбулизованы.

Для проведения численного решения вся область течения покрывалась расчетной сеткой, затем в ходе выполнения вычислений первоначальная сетка измельчалась, причем наибольшее измельчение проводилось в зонах наибольших изменений скорости течения. В ячейках расчетной сетки решается система уравнений турбулентного движения и неразрывности. Решение выполняется итерационным методом, невязки итерационного процесса для всех контролируемых параметров расчета (компоненты скорости, неразрывность потока, характеристики турбулентности течения k и ε) устанавливались величиной 0,0001.

О сходимости результатов расчета в ходе измельчения расчетной сетки можно судить по динамике изменения характерной величины, за которую в данной задаче принималась продольная составляющая скорости потока в точке, расположенной на уровне верха всасывающей щели и на расстоянии 0,1 м от нее. Точность расчета считалась достигнутой, если продольная компонента скорости в расчетной точке в ходе измельчения сетки не изменяется более чем на 0,5 % своего предшествующего значения, а картина течения в виде линий тока остается стабильной.

Характерные картины течения в режиме предельного улавливания минимальным расходом удаляемого через сток воздуха представлены на рис. 2. При небольших расстояниях до $h < 0{,}4$ м приточная струя настилается на поверхность зеркала жидкости, и у борта ванны, от которого истекает струя, образуется циркуляционная зона (рис. 2 а), причем с увеличением h длина циркуляционной зоны возрастает.

В режиме предельного улавливания при $h > 0{,}4$ м картина течения совершенно иная. Струя развивается практически в направлении ее выпуска, линия максимальных скоростей лишь немного искривляется и отклоняется от оси приточного и вытяжного отверстий. Между образовавшимся воздушно-струйным экраном и зеркалом жидкости располагается обширная зона циркуляционного движения воздуха, которая накрывает все зеркало жидкости в ванне (рис. 2 б).

Воздушный экран защищает среду помещения от попадания вредных выделений во время проведения технологического процесса в ванне и транспортирует попавшие в него вредные примеси в зону локализации щелевым стоком.

Обычно после обработки крупные детали или блоки мелких обработанных деталей помещают на некоторое время над зеркалом раствора для стекания жидкости. Эта фаза технологического процесса сопровождается интенсивными выделениями вредных веществ в воздушную среду помещения. Для того чтобы защитить воздушную среду помещения и в этой фазе технологического цикла можно предусмотреть большую высоту бортов ванны, такую, чтобы на время стекания блок обработанных деталей также оставался под воздушным экраном. Расчетная картина такого варианта воздушно-струйного экрана показана на рис. 3. В этом случае при наличии достаточного пространства, под воздушным экраном также формируется циркуляционная зона.

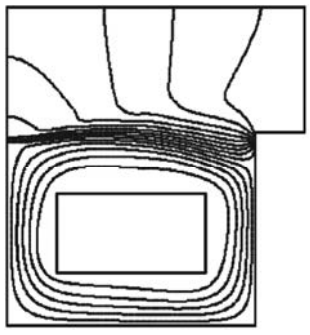


Рис. 3. Расчетная картина течения в воздушно-струйном экране со щелевым стоком над зеркалом жидкости в промышленной ванне в режиме полного минимального улавливания при размещении блока обработанных деталей над зеркалом жидкости:
l=1 м, v_0=10 м/с, b=0,02 м, h=0,7 м, B=0,06 м, u=9,0 м/с; поперечные размеры блока деталей 0,6×0,3 м; высота над зеркалом жидкости 0,2 м, расстояние до бортов ванны 0,2 м

Как известно, характеристики течения в турбулизованных потоках с плохо обтекаемыми границами приблизительно подобны при подобных соотношениях геометрических размеров. Поэтому обобщение результатов численного расчета, полученных при конкретных заданных условиях, возможно за счет введения безразмерных относительных величин.

За характерный геометрический размер выбрана ширина ванны – величина l, следовательно, безразмерными геометрическими характеристиками будут:

– относительная высота расположения оси струи и стока над зеркалом жидкости в ванне $h^*=h/l$;

– относительная ширина всасывающей щели стока $B^*=B/l$.

За характерный расход воздуха принят расход воздуха в свободной плоской приточной струе $L_П$ на расчетном расстоянии l от приточного устройства, (приходящийся на 1 м длины приточной щели), который рассчитывается по формуле:

$$L_{\Pi} = 0{,}537 \cdot v_0 \cdot \sqrt{b \cdot l}. \quad (1)$$

Тогда безразмерный относительный расход воздуха, удаляемого стоком равен:

$$L^*=L/L_П, \quad (2)$$

где L – расчетный расход воздуха, удаляемый щелевым стоком в режиме предельного улавливания:

$$L=B \cdot u. \quad (3)$$

Из анализа численных решений следует, что относительный расход удаляемого воздуха в режиме предельного улавливания изменяется в нешироких пределах от $L^*\approx0{,}71$ до $L^*\approx0{,}83$. Его наибольшее значение соответствует $h^*\approx0{,}3$ и наименьшему из рассмотренных размеров $B^*=0{,}06$. Вероятно, это связано с наибольшей длиной искривленной границы струи, к которой подтекает питающий ее воздух из объема помещения над воздушным экраном. Кроме того, у высокого борта приточная настилающаяся струя развивается вдоль борта, а не в направлении стока и ее захватывание, по-видимому, требует также небольшого увеличения расхода удаляемого воздуха.

Меньшее значение относительного расхода удаляемого воздуха $L^*\approx0{,}71$ хорошо согласуется с расходом воздуха в плоской полуограниченной струе $L_{П—ОГР}$ на расчетном расстоянии l, $L_{П—ОГР} = L_П/\sqrt{2} = 0{,}707 \cdot L_П$, тогда $L_{П—ОГР}/L_П = 0{,}707$.

В существующих методах расчета подобных устройств, представленных например, в [1 и др.] предполагается, что при относительной величине $h^*>0{,}15\div0{,}2$ плоская приточная струя имеет характеристики более близкие к свободной, чем к полуограниченной струе. И для такого случая относительный расход удаляемого воздуха следовало бы принимать $L^*> 1$.

Выполненные расчеты показывают, что и при больших величинах $h^*>0{,}4$ в режиме предельного улавливания расход воздуха, достаточный для улавливания подтекающей струи близок к расходу полуограниченной струи. Этот вывод распространяется и на случай размещения блока деталей под воздушно-струйным экраном для стекания жидкости, конечно если подвешенный блок деталей не перекрывает направление развития плоской струи, формирующей этот экран.

В исследованном диапазоне соотношения геометрических величин $h^*=0{,}12–0{,}5$ и $B^*=0{,}06–0{,}24$ относительный расход L^* не сильно зависит от ширины всасывающей щели B^*, что, по-видимому, связано с влиянием ограничивающих поверхностей. Тем не менее, при узкой всасывающей щели требуется немного увеличенный (на 2-5 %) расход удаляемого воздуха.

В реальных условиях часто над зеркалом жидкости в ванне имеются выступающие элементы в виде подвесов, электродов и т. п. При подаче струи на небольшом расстоянии от зеркала жидкости такие элементы препятствуют формированию воздушно-струйного экрана, а при повышенном расстоянии выступающие элементы обтекаются циркуляционным потоком и не мешают образованию воздушно-струйного экрана. Кроме того, как отмечено выше увеличенное расстояние от зеркала жидкости до оси воздушно-струйного экрана создает возможность размещать под экраном блоки обрабатываемых деталей на время стекания с них жидкости.

Для практических расчетов воздушно-струйных экранов над зеркалом жидкости в промышленных ваннах может быть рекомендована величина относительного расхода удаляемого воздуха, близкая к расходу полуограниченной струи L^*=0,83, которая обеспечивает полную локализацию воздушно-струйного экрана, сформированного плоской приточной струей и щелевым стоком при всех значениях h^* в рассмотренном диапазоне.

В остальном при техническом расчете локализующего воздушно-струйного экрана над зеркалом жидкости в промышленной ванне, можно пользоваться логикой и последовательностью методики расчета, представленной в [1]. В таком расчете используется понятие минимум результирующей скорости в системе струя-отсос, величина которой потребует небольшой коррекции с учетом значения относительного расхода L^*=0,83. Зависимости для определения минимум результирующей скорости от возмущающих факторов (температура нагретой жидкости в ванне, естественная скорость движения воздуха в помещении), по-видимому, сохраняются.

Заключение

В результате выполненного методом CFD исследования рассчитаны течения в локализуемых воздушно-струйных экранах, сформированных плоской приточной струей, истекающей из щелевого приточного отверстия и расположенным на одной оси с ним щелевым стоком над зеркалом жидкости в промышленной ванне. Установлено, что в режиме полного улавливания подтекающей струи минимальным расходом удаляемого воздуха при относительных расстояниях от зеркала жидкости до оси воздушного экрана h^*<0,4 происходит настилание струи на зеркало жидкости, вблизи приточной щели формируется циркуляционная зона. При больших величинах h^* в режиме предельного улавливания линия максимальных скоростей в воздушном экране не сильно отклоняется от оси приточное отверстие – сток, а под воздушным экраном формируется обширная зона циркуляционного движения воздуха. Увеличивая высоту бортов ванны и, соответственно, расстояние от воздушно-струйного экрана до зеркала жидкости в ванне можно размещать под экраном блок обработанных деталей на время стекания жидкости, защищая воздушную среду помещения от попадания в нее вредных примесей.

Расчетами установлено, что относительный расход удаляемого воздуха изменяется в нешироком диапазоне значений от L^*=0,71 до L^*=0,83 и почти не зависит от ширины щели стока, поэтому для технических расчетов с некоторым запасом может быть принята величина L^*=0,83.

Список библиографических ссылок

1. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. М. : АВОК-ПРЕСС, 2008. 209 с.
2. Bronsema B. Вентиляция и курение // АВОК. 2006. № 4. С. 60–69.
3. Посохин В. Н., Кареева Ю. Р. Осесимметричная турбулентная струя в тупике // Известия вузов. Строительство. 2011. № 3. С. 64–70.
4. Посохин В. Н., Кареева Ю. Р. Характеристики турбулентной плоской струи в тупике при разном расположении приточных и вытяжных отверстий // Известия вузов. Строительство. 2011. № 7. С. 27–33.
5. Цуляну К. Р., Гуцул В. Г., Зайцев О. Н., Богатикова Н. П. Моделирование работы щелевого отсоса взаимодействующего с плоской газовой струей // Строительство и безопасность. 2012. Вып. 41. С. 235–239.
6. Варсегова Е. В., Посохин В. Н. Об условии предельного улавливания потока вредных выделений местным отсосом // Известия вузов. Строительство. 2015. № 11-12. С. 18–22.
7. Wang. L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study. The Air Movement and control Association International, Inc. 2013. 16 p.
8. Georgiev E., Stankov P., Markov D. On the numerical study of air curtains. Technical University, Sofia, 2013. 7 p.
9. Nitin Kardekar, Dr. Bhojwani V. K., Dr. Sane N. K. Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. Volume 4, Issue 5, September-October. P. 150–155.
10. Polak J. Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment. Norwegian University of Science and Technology. 2015. September. 88 p.

Babich E.K. – student
E-mail: babich.evgeniy1@mail.ru
Broyda V.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: broida@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Interaction of air screen with a slot outlet

Abstract

Problem statement. We consider an air screen with a slot outlet up a liquid mirror in an industrial bath, which protects the room air from harmful emissions accompanying the process in the bath. The flow generated by the flat jet air supply and a slot outlet under complicated boundary conditions with the help of CFD method is calculated. We take into account: the distance between the supply device and the outlet l, the distance from the axis of the screen of the air to the liquid mirror h, the width of the slot outlet B.

Results. It is found that in the regime of the full capture of the jet with the minimum of air exhaust (limit capture) with $h^* = h/l < 0{,}4$ jet is laid on the liquid mirror, near the supply device the circulation zone is formed. For large values of h^* under the air-screen forms a continuous circulation area covering all the liquid mirror. By increasing the height h^* is possible to place the details under the screen at the time of fluid draining. It is determined that in the regime of limit capture the relative flow of exhaust air ranges from values of $L^* = L/L_{\Pi} \approx 0{,}71$ to $L^* \approx 0{,}83$.

Conclusions. In a regime of limit capture the air exhaust, removed from slot outlet, approximates a flow rate of a semi-bounded jet and weakly depends on the distance from the axis «jet – outlet» to the liquid mirror, and the width of the outlet. The results can be used to calculate the air-jet screen of baths with high sides, providing protection from harmful emissions as the regime of details treatment and a liquid draining mode.

Keywords: air screen, flat jet, flow, outlet, capture, air flow.

References

1. Posohin V. N. Aerodynamics of ventilation. M. : AVOC PRESS, 2008. 209 p.
2. Bronsema B. Ventilation and smoking // AVOK. 2006. № 4. P. 60–69.
3. Posokhin V. N., Kareeva Y. R. Axially symmetric turbulent jet in a deadlock // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2011. № 3. P. 64–70.
4. Posokhin V. N., Kareeva Y. R. Characteristics of a turbulent plane jet at a dead end at a different location in the supply and exhaust openings // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2011. № 7. P. 27–33.
5. Tsulyanu K. R., Hutsul V. G., Zaitsev O. N., Bogatikova N. P. Simulation of the suction slot cooperating with the plane gas jet // Stroitelstvo i bezopasnost. 2012. Issue 41. C. 235–239.
6. Varsegova E. V., Posokhin V. N. On a condition limiting the flow of harmful emissions capture local suction // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2015. № 11-12. P. 18–22.
7. Wang. L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study. The Air Movement and control Association International, Inc. 2013. 16 p.
8. Georgiev E., Stankov P., Markov D. On the numerical study of air curtains. Technical University, Sofia. 2013. 7 p.
9. Nitin Kardekar, Dr. Bhojwani V. K., Dr. Sane N. K. Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. Volume 4, Issue 5, September-October, P. 150–155.
10. Polak J. Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment. Norwegian University of Science and Technology. 2015. September. 88 p.

УДК 536.27
Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: obbars@mail.ru
Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: a0an@mail.ru
Вагизов А.З. – студент
E-mail: 3almaz@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Математическая модель расчета химически неравновесного состава для утилизации твердых бытовых отходов

Аннотация

Постановка задачи. Для большинства агрегатов, в которых процессы протекают при высокой температуре, свойственны различного рода неравновесные эффекты. Важнейшим из них является неравновесное изменение состава рабочего тела продуктов сгорания, нагрева или разложения, вызванное конечными скоростями протекающих химических реакций, приводящих к существенному влиянию на основные энергетические параметры процесса. Авторами было принято решение создать математическую модель расчета химически неравновесного состава для утилизации твердых бытовых отходов.

Результаты. Авторами рассмотрен процесс утилизации твердых бытовых и промышленных отходов. На основе имеющихся методов расчета разработан альтернативный метод, позволяющий находить состав продуктов сгорания в условиях неравновесности в процессе сгорания строительного мусора. Полученные разработанным методом расчета данные состава и свойств ТБО позволяют прогнозировать выход суперэкотоксикантов в продуктах сгорания.

Выводы. На основе уравнений формальной химической кинетики мы создали альтернативную методику расчета состава продуктов сгорания с учетом скоростей химических реакций. Данная методика заключаются в определении состава рабочего тела по заданному механизму и константам скоростей реакций. Принимается, что все превращения в газовой фазе элементарны, то есть протекают в одну стадию. Любые химические взаимодействия могут быть представлены совокупностью этих элементарных стадий. Рассматривались наиболее вероятны химические реакции трех типов: моно-, би- и тримолекулярные. Данная методика позволяет найти состав продуктов сгорания твердых бытовых отходов еще до процесса сжигания топлива.

Ключевые слова: неравновесные процессы, химическая кинетика, равновесие, состав, твердые бытовые отходы.

Диоксины на частицах дыма, образующегося при сжигании ТБО, обнаружены почти четверть века назад. Однако, несмотря на многочисленные лабораторные и натурные исследования в настоящее время отсутствует полное количественное описание процессов образования и распада полихлорированных диосинов, фуранов, бефинилов. Концентрации диоксинов, образующихся при сжигании ТБО обычно малы, а публикуемые результаты исследований имеют широкий разброс в измеренных концентрациях [1, 2]. Поскольку образование диоксинов является лишь незначительной побочной реакцией в общем процессе распада и синтеза органических соединений, интерпретация экспериментальных результатов является гораздо более сложной процедурой по сравнению с исследованиями основного реакционного процесса.

Важным результатом анализа состава диоксинов на частицах дыма и направляемых в дымовую трубу газов было установление распределения атомов хлора в дибензо-*p*-диоксинах. В большинстве случаев предпочтительнее образуются более сильно хлорированные соединения, и часто максимум распределения соответствует шести замещений атомами хлора атомов водорода [3, 4].

В некоторых случаях предпочтительными оказываются октохлорзамещенные соединения. Изомер 2,3,7,8-тетрахлордибензо-*p*-диоксин образуется не в самом большом количестве. Пока нет общепринятой теоретической модели механизма образования диоксинов, воспроизводящей наблюдаемое распределение. Это связано в частности со сложным набором физико-химических процессов, протекающих в установках для сжигания ТБО [5, 6].

Обобщенно процесс преобразования ТБО в конечные продукты можно представить следующим образом. Отходы загружаются различными способами на колосниковую решетку, где они продуваются горячим воздухом. Это ведет к выпариванию воды и пиролитическому разложению органики при низкой температуре в обедненной кислородом области вблизи решетки, что способствует дополнительному образованию воды и низкомолекулярных органических соединений, которые выносятся в газовую фазу [7]. Происходит значительная олигомеризация продуктов, некоторые из которых могут остаться в конденсированной фазе и продолжать пиролизоваться. При контакте органических соединений с кислородом при достаточно высоких температурах начинается процесс горения, который продолжается до конца расходования кислорода. Некоторые из твердых и жидких веществ, находящихся на решетке или в виде мелких частиц, также могут гореть, а те, которые не горят, в результате дальнейших пиролитических реакций преобразуются во все более ненасыщенные структуры. Процесс полимеризации в конечном итоге приводит к образованию углерода. Чтобы минимизировать такие пиролитические процессы при сжигании, естественным является желание осуществлять весь процесс горения при избытке кислорода, а это может способствовать большей эмиссии диоксинов. Непосредственно в камере сгорания, если образуются диоксины, то при прохождении через высокотемпературные зоны происходит их разложение [8]. Поэтому концентрация диоксинов в камере сгорания незначительна. Результаты взятия проб указывают на образование все более хлорированных веществ в направлении от выхода из камеры сгорания к выпускной трубе. Роль самой камеры сгорания состоит в поставке молекул – предвестников, образования диоксинов. Отсюда важным является определение оптимальных условий для минимизации процесса образования этих предвестников, что может ограничить и процесс образования диоксинов.

Анализ литературных источников показывает [9, 10], что образование диоксинов происходит в диапазоне температур 500-800 К. В присутствии частиц дыма, хлора и при избытке кислорода многие ароматические соединения могут образовывать соединения типа диоксинов с соответствующим распределением по семейству хлорзамещенных диоксинов. Наиболее вероятными предвестниками могут быть хлорированные фенолы и высокохлорированные ароматические эфиры. Эксперименты показывают, что образование диоксинов легче всего происходит при наличии пентохлорфенола (C_6Cl_5OH).

С помощью объектно-ориентированного языка программирования C++ нами создана программа расчета состава продуктов сгорания топлива для локального термодинамического равновесия. Однако, процессы, протекающие в мусоросжигательных печах, носят неравновесный характер, поэтому прогнозировать выход диоксинов и суперэкотоксикантов практически невозможно. Можно лишь обнаружить предвестников диоксинов. Поэтому наша цель запрограммировать метод расчета продуктов сгорания с учетом неравновесности.

Рассмотрим метод расчета состава продуктов сгорания ТБО в условиях неравновесности:

$$\sum_{i=1}^{n} n'_{ij} B_i \underset{\rightarrow}{\leftarrow} \sum_{i=1}^{n} n''_{ij} B_i,\ j = 1, \dots, m, \qquad (1)$$

где B_i (i=1,…,n) – компонент (реагирующая система состоит из n – компонентов, между которыми протекают m обратимых химических реакций, то есть протекающих как в прямом, так и в обратном направлении); n'_{ij}, n''_{ij} – стехиометрические коэффициенты j-й реакции.

Основным законом формальной химической кинетики является закон действующих масс, согласно которому скорость изменения содержания i-го компонента по прямому направлению j-й реакции есть соотношение:

$$W_{ij}^{+} = \left(n''_{ij} - n'_{ij}\right) k_j^{+} \prod_{k=1}^{n} C_k^{n'_{kj}}. \qquad (2)$$

Аналогично для обратного направления:

$$W_{ij}^{-} = \left(n_{ij}^{'} - n_{ij}^{''}\right)k_j^{-} \prod_{k=1}^{n} C_k^{n_{kj}^{'}}, \quad (3)$$

где k_j^{+},k_j^{-} – константы скорости j-й реакции в прямом и обратном направлении.

В формальной химической кинетики константы скоростей как прямых, так и обратных химических реакций обычно принято представлять в аррениусовой форме, так для прямого направления:

$$k_j^{+} = A_j^{+} T^{n_j^{+}} \exp\left(-\frac{E_j^{+}}{R_0 T}\right), \quad (4)$$

где A_j^{+}, n_j^{+}, E_j^{+} – коэффициенты характеризующие прямое направление j-й реакции: предэкспоненциальный множитель, температурный коэффициент и энергию активации. В зависимости (4) размерность A_j^{+} определяется порядком реакции, n_j^{+} – безразмерная величина, E_j^{+} – имеет размерность обычно Дж/моль. В этом случае R_0 = 8,314 $\frac{Дж}{(моль \cdot К)}$ – универсальная газовая постоянная. Коэффициенты A_j^{+}, n_j^{+}, E_j^{+} – определяются эмпирически.

Константы скорости прямого и обратного направления реакций связаны через константы равновесия последних:

$$K_{pj} = k_j^{+} / k_j^{-}. \quad (5)$$

Константа равновесия, являясь функцией температуры, определяет вместе с тем отношение равновесных значений концентраций реагирующих компонентов, т.е. концентраций, при которых $W_{ij}^{+} = W_{ij}^{-}$. В этом случае:

$$K_{pj} = \prod_k C_k^{n_{kj}^{''}} / \prod_k C_k^{n_{kj}^{'}}. \quad (6)$$

Константу равновесия целесообразно представить в виде комбинации констант диссоциации, выраженных через парциальные давления:

$$K_{pj} = \prod_k (K_k^D)^{n_{kj}^{''}} / \prod_k (K_k^D)^{n_{kj}^{'}} R_0 T \sum_k \left(n_{kj}^{'} - n_{kj}^{''}\right), \quad (7)$$

где $K_k^D = p_k / \prod_s p_s^{a_{sk}}$, a_{sk} – стехиометрические коэффициенты в реакции диссоциации вещества на атомы.

В формальной химической кинетике предусматривается принцип независимости протекания элементарных химических реакций в реагирующей смеси. То есть, общая скорость изменения любого компонента в смеси равна алгебраической сумме скоростей его изменения в результате протекания всех элементарных реакций, идущих при постоянном объеме:

$$\frac{dC_i}{d\tau} = W_i = \sum_{j=1}^{m} W_{ij}^{+} + \sum_{j=1}^{m} W_{ij}^{-}, \quad (8)$$

где i=1,…, n, j=1,…, m, n – число индивидуальных веществ; m – количество химических реакций.

С использованием формул (2) и (3) формулу (8) можно записать в следующем виде:

$$\frac{dC_i}{d\tau} = \sum_{j=1}^{m} \left(n_{ij}^{''} - n_{ij}^{'}\right) k_j^{+} \sum_k^n C_k^{n_{kj}^{'}} + \sum_{j=1}^{m} \left(n_{ij}^{'} - n_{ij}^{''}\right) k_j^{-} \sum_k^n C_k^{n_{kj}^{''}}. \quad (9)$$

Химическая реакция характеризуется порядком, который равен сумме показателей степеней при всех концентрациях, стоящих в правой части кинетического уравнения.

Метод решения уравнений химической кинетики

Рассматривается реагирующая газовая система, в которой между компонентами A_i(i=1,…, n) протекают обратимые элементарные химические реакции (S=1,…, m).

Каждая обратимая химическая реакция рассматривается как совокупность двух односторонних. Введем следующие обозначения:

$$\begin{gathered} n_{ij} = n_{is}^{''} - n_{is}^{'}, n_{ij} = n_{is}^{'}, j = s, s = 1, \ldots, m, \\ n_{ij} = n_{is}^{'} - n_{is}^{''}, n_{ij} = n_{is}^{''}, j = s + m, s = 1, \ldots, m. \end{gathered} \quad (10)$$

В соответствии с принятыми обозначениями прямые направления химических реакций имеют индексы j=1,…, m обратные направления-индексы j=(m+1),…, 2m.

Применяя соотношение $C_i = n_i / V$ и $r_i = n_i / N = C_i / C = p_i / p$ можно уравнение (9) переписать в следующем виде:

$$\frac{1}{V}\frac{dn_i}{d\tau} = \sum_j n_{ij}^{''} k_j \left(\prod_p C_p^{n_{pj}}\right) C^{m_j}, \quad (11)$$

где i, p=1,…,n, j=1,…,2m, C – мольная концентрация газовой смеси; C_p – мольная парциальная концентрация p-го компонента газовой смеси; m_j – признак участия в j-ой реакции каталитической частицы M(m_j=1), реакция протекает с участием этой частицы, в противном случае m_j=0); n_i – количество молей i-го компонента в объеме V, k – константа скорости обратимых химических реакций.

Используя соотношения n_i=Nr_i, C_i=pr_i/(R_0T), где N – общее число молей в объеме V, получим:

$$\frac{1}{V}\frac{dn_i}{d\tau} = \frac{1}{V}\left(r_i\frac{dN}{d\tau} + N\frac{dr_i}{d\tau}\right) = \sum_j n_{ij}^{''}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{m_j}\prod_p\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{n_{pj}} r_p^{n_{pj}} = \\ = \sum_j n_{ij}^{''}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\sum_p n_{pj}+m_j}\prod_p r_p^{n_{pj}},\ i,p = 1,\dots,n. \quad (12)$$

Число уравнений (12) равно числу компонент газовой смеси. Суммируя по i все эти уравнения, получим:

$$\sum_i\frac{r_i}{V}\frac{dN}{d\tau} + \sum_i\frac{N}{V}\frac{dr_i}{d\tau} = \frac{1}{V}\frac{dN}{d\tau} + \frac{N}{V}\frac{d(\sum_i r_i)}{d\tau} = \sum_q\sum_j n_{qj}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{m_j+\sum_p n_{pj}}\prod_p r_p^{n_{pj}}, \quad (13)$$

где q=1,…, n.

Введя обозначение, $\overline{m}_j = m_j + \sum n_{pj} - 1$ и, используя равенство N/V=p/(R_0T) получим:

$$\frac{dr_i}{d\tau} = \sum_j n_{ij}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\overline{m}_j}\prod_p r_p^{n_{pj}} - r_i\sum_q\sum_p n_{ij}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\overline{m}_j}\prod_p r_p^{n_{pj}}, \quad (14)$$

где i, p, q=1,…, n, j=1,…, 2m.

Соотношение (14) является нелинейным дифференциальным уравнением, которое интегрируется с помощью численных методов, и в этом случае для достаточно малых концентраций r_i ошибки округления могут привести к получению физически нереальных отрицательных концентраций r_i. Для предотвращения этого вводится следующая замена:

$$g_i = -\ln r_i.$$

Тогда уравнение изменения состава примет следующий вид:

$$\frac{d\gamma_i}{d\tau} = e^{-\gamma_i}\sum_j n_{ij}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\overline{m}_j}\exp\left(-\sum_p n_{pj}\gamma_p\right) + + \sum_q\sum_j n_{ij}k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\overline{m}_j}\exp\left(-\sum_p n_{pj}\gamma_p\right), \quad (15)$$

где i, p, q=1,…, n, j=1,…, 2m.

Одно из уравнений (15) можно заменить уравнением нормировки:

$$\sum_i e^{-\gamma_i} = 1. \quad (16)$$

Заменяется уравнение, которое описывает изменение компонента, содержащегося в газовой смеси в максимальной концентрации.

Изменение температуры рабочего тела влияет на его термодинамические и теплофизические свойства и на скорости химических реакций. Поэтому требуется в математическую модель включить соотношение, которое связывает состав рабочего тела с температурой. Это делается на основе формулы для энтальпии смеси:

$$i = \sum_i I_i r_i / \sum_i \mu_i r_i, \quad (17)$$

где I_i, m_i – значения мольной энтальпии и молекулярная масса i-го компонента.

Значения мольной энтальпии, энтропии и теплоемкость индивидуальных веществ смеси аппроксимируется полиномами базы ИВТАНТЕРМО, отличающихся тем, что рабочий диапазон 298,15…20000 К разбит на шесть температурных диапазонов, каждый из которых описан полиномами с уникальными коэффициентами $\langle a_{-2}, a_{-1}, a_0, a_L, a_1, a_2, a_3\rangle$:

$$I_i(T) = [H(T) - H(0)]_i + \Delta H_{f0i}\cdot 10^3,$$
$$[H(T) - H(0)]_i = 10^4[-2a_{-2}x^{-1} + a_{-1} + a_L x + a_1x^2 + 2a_2x^3 + 3a_3x^4],$$
$$S_i(T) = -a_{-2}x^{-2} + a_L\ln x + a_0 + a_L + a_1x^2 + 2a_1x + 3a_2x^2 + 4a_3x^3,$$
$$c_{pi} = -2a_{-2}x^{-2} + a_L + 2a_1x + 6a_2x^2 + 12a_3x^3,\ x = T/10000.$$

В ходе выполнения расчетов приходится очень часто обращаться к этим соотношениям, поэтому для уменьшения объема вычислений их целесообразно аппроксимировать кусочно-линейными зависимостями типа:

$$I_i = I_{i\,\text{оп}} + c_{pi}^{\text{оп}}(T - T_{\text{оп}}), \quad (18)$$

где $I_{i\,on}$ – «опорное» значение мольной энтальпии i-го компонента, $T_{\text{оп}}$ – опорное значение температуры; c_{pi}^{on} – опорная мольная теплоемкость, равная среднему значению

на интервале линеаризации. С достаточной для решения прикладных задач точностью этот интервал ΔT можно принять 100 К.

При использовании (18) соотношение (17) принимает следующий вид:

$$i = \sum_i \left(I_{i\,on} + c_{pi}^{on}(T - T_{on})\right) r_i \,/\, \sum_i \mu_i r_i. \quad (19)$$

После простых преобразований получим:

$$T - T_{on} - \sum_i (i\mu_i - I_{ion}) \,/\, \sum_i c_{pi}^{on} r_i = 0. \quad (20)$$

Система уравнений, использованная для определения состава продуктов сгорания твердых бытовых отходов, включает в себя уравнения (15), (16), (20):

$$\frac{d\gamma_i}{d\tau} = -e^{\gamma_i} \sum_j n_{ij} k_j \left(\frac{p}{R_0 T}\right)^{\overline{m}_j} \exp\left(-\sum_p n_{pj}\gamma_p\right) + + \sum_q \sum_j n_{ij} k_j \left(\frac{p}{R_0 T}\right)^{\overline{m}_j} \exp\left(-\sum_p n_{pj}\gamma_p\right),$$
$$\sum_i e^{-\gamma_i} = 1, \quad (21)$$
$$T - T_{on} - \frac{\sum_i (i\mu_i - I_{ion})}{\sum_i c_{pi}^{on} r_i} = 0.$$

где i, p, q=1,…, n, j=1,…, $2m$.

Неизвестными в системе (21) являются n-мольных концентраций индивидуальных веществ, составляющих газовую смесь и значение температуры T. Для индивидуальных веществ составляющих газовую смесь и для всей смеси в целом справедливо уравнение состояния идеального газа:

$$pV=R_0T. \quad (22)$$

Система (21) представляет собой (n-1) обыкновенных дифференциальных уравнений и 1 алгебраическое уравнение.

Специфика решения системы (21) заключается в «жесткости» уравнений изменения состава (15). Получение решений для таких уравнений возможно только при использовании неявных разностных методов. Эффективным неявным методом конечно-разностной аппроксимации дифференциальных уравнений является метод У.Г. Пирумова с последующим использованием метода Ньютона.

Для применения метода Ньютона дифференциальные уравнения предварительно представляются в виде однородных конечно-разностных уравнений вида:

$$F_i^s \equiv X_{ks}^{n+1} - X_{ks}^n - h[(\langle X_{ks}^n \rangle) + (1-a) f_i^s(\langle X_{ks}^{n+1} \rangle)] \equiv 0, \quad (23)$$

где i, k=1,…, q, q – число неизвестных; h – шаг интегрирования; a – параметр аппроксимации (обычно a=0,4); X_{ks}^n, X_{ks}^{n+1} – значения неизвестной величины в начале и конце шага интегрирования.

Полученная система представляет собой нелинейные алгебраические уравнения, которые преобразовываются для реализации схемы Ньютона к виду:

$$\left[\frac{\partial F_i^s}{\partial X_{ks}}\right][\Delta X_{ks}] = [F_k^{ms}], \quad (24)$$

где $\left[\frac{\partial F_i^s}{\partial X_{ks}}\right]$ – матрица частных производных (матрица Якоби).

Система вида (24) является системой линейных уравнений относительно поправок ΔX_k^m, которая решается методом Гаусса. Для нахождения неизвестных применяется итерационная схема:

$$X_i^{n+1,m+1} = X_i^{n+1,m} + \Delta X_i^{n+1,m}, \quad (25)$$

где m – номер итерации; $\Delta X_i^{n+1,m}$ – поправки на m-ой итерации; n+1 – номер шага интегрирования, на котором реализуется схема; i=1,…, q, q – число неизвестных.

На шаге интегрирования итерации выполняются до получения таких значений (X_i^m), которые отличаются от своих предыдущих значений $\left(X_i^{m-1}\right)$ на заранее заданную малую величину. Затем осуществляется переход на следующий шаг интегрирования. При этом в качестве схемы интегрирования принята схема с «замороженным» на ряде шагов якобианом, что существенно сокращает время вычислительного процесса.

Наиболее трудоемкой частью алгоритма является вычисление матрицы Якоби. Применение для нее аналитического вычисления позволяет сохранять «замороженный» якобиан на большем числе шагов интегрирования.

Особые требования предъявляются к уравнениям изменения состава: они должны быть вычислены в обобщенном виде. Это позволит создать программу расчета независимую от набора реагирующих веществ и совокупности химических реакций.

Для системы (21), приведенная к конечноразностной форме матрица Якоби имеет следующие элементы:

$$\frac{dF_{\gamma_i}}{d\gamma_k} = \delta_i^k + h(1-a)e^{\gamma_i}\sum_j n_{ij}\left(\delta_i^k - n_{kj}\right)\Omega_j - \sum_p\sum_j n_{pj}n_{kj}\Omega_j,$$
$$i = 1,\dots,(L-1),(L+1),\dots,n, \qquad (26)$$
$$p,k = 1,\dots,n,\ j = 1,\dots,2m,$$

где δ_i^k – символ Кронекера,

$$\frac{dF_{\gamma_i}}{d\gamma_i} = \exp(-\gamma_i), \qquad (27)$$

$$\frac{dF_{\gamma_i}}{dT} = h(1-a)e^{\gamma_i}\sum_j n_{ij}\Omega_j\left[\left(\frac{1}{A_j}\frac{\partial A_j}{\partial T} + \frac{n_j-\overline{m}_j}{T} + \frac{E_j}{R_0T^2}\right) - \right.$$
$$\left. - \sum_p\sum_j n_{pj}\Omega_j\left(\frac{1}{A_j}\frac{\partial A_j}{\partial T} + \frac{n_j-\overline{m}_j}{T} + \frac{E_j}{R_0T^2}\right)\right]. \qquad (28)$$
$$\Omega_j = k_j\left(\frac{p}{R_0T}\right)^{\overline{m}_j}\exp\left(-\sum_p n_{pj}\gamma_p\right).$$

В алгоритме расчета предусмотрено вычисление констант скоростей обратных химических реакций, причем константы скоростей прямых реакций относятся к исходным данным, а константы равновесия находятся как комбинации констант диссоциации.

Константы диссоциации определяются по аппроксимирующим коэффициентам, которые позволяют представлять эти константы в виде усеченной зависимости вида Аррениусовой:

$$K_i^D = A_i^D\exp(-E_i^D/(R_0T)). \qquad (29)$$

Для сокращения времени расчета весь рабочий температурный интервал (300…4200 К) разбит 20 «опорными» точками на равные температурные интервалы. В этих опорных точках для каждого индивидуального вещества, принимающего участие в расчетах, предварительно рассчитываются и записываются в соответствующий массив «опорные» значения констант диссоциации:

$$\ln K_{on}^D = (\sum_i a_{im}S_i^0 - S_m^0)/R_0 - (\sum_i a_{im}I_i^0 - I_m^0)/R_0T, \qquad (30)$$

где a_{im} – число атомов «i» в молекуле диссоциирущего вещества «m».

По опорным значениям констант диссоциации рассчитываются аппроксимирующие коэффициенты для определения констант диссоциации на правых и левых границах температурных интервалов:

$$T_1=T_{\text{оп}}+100\text{ К},\ T_1=T_{\text{оп}}-100\text{ К},\ (A^{+D}, A^{-D}, E^{+D}, E^{-D}).$$

Этот метод позволяет спрогнозировать выход диоксинов и суперэкотоксикантов еще до самого процесса утилизации ТБО.

Список библиографических ссылок

1. Подавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.
2. Савельева В. А., Попова М. Н., Андронова М. М. Экологическая безопасность учреждений УИС в сфере обращения с отходами. М. : ВИПЭ ФСИН России, 2010. 250 с.
3. Бычкова В. А. Коробко В. И. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство. М. : Юнити-Дана, 2014. 132 с.
4. Муравьев А. Г., Родин А. А. Другов Ю. С. Экспресс-анализ экологических проб. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. 424 с.
5. Почекаева Е. И. Экология и безопасность жизнедеятельности. М. : Феникс, 2010. 560 с.
6. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
7. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
8. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2008. 256 p.
9. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2010. 338 p.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.

Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: obbars@mail.ru
Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: a0an@mail.ru
Vagizov A.Z. – student
E-mail: 3almaz@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1

A mathematical model for calculating the chemical nonequilibrium components for solid waste management

Abstract

Problem statement. For the majority of units in which processes occur at high temperatures characteristic of various types of non-equilibrium effects. The most important of these is the change in non-equilibrium of the working fluid composition of the products of combustion, heating or decomposition caused by finite speed the chemical reactions that lead to a significant impact on the basic energy parameters of the process. The authors decided to create a mathematical model for calculating the chemical nonequilibrium components for solid waste management.

Results. The authors reviewed the process of solid waste and industrial waste. On the basis of calculation methods developed an alternative method to find the composition of the combustion products in the non-equilibrium conditions during the combustion of construction debris. The resulting method of calculation of the data structure and properties of solid waste can be predictive superecotoxicants access to the products of combustion.

Conclusions. On the basis of the formal chemical kinetics equations, we have created an alternative methodology for calculating the composition of the combustion products, taking into account the rates of chemical reactions. This technique consists in the definition of the working fluid composition for a given mechanism and rate constants of reactions. It is assumed that all of the conversions in the gas phase – elementary, i.e. occur in one step. Any chemical interactions may be represented by a set of elementary stages. They were considered the most likely chemical reactions of three types: a mono-, bi- and trimolecular. This technique allows you to find the composition of the products of combustion of municipal solid waste before combustion.

Keywords: nonequilibrium processes, chemical kinetics, balance, composition, municipal solid waste.

References

1. Podavalov Ju. A. Oil and Gas Production Ecology. M. : Infra-Engineering, 2010. 416 p.
2. Saveleva V. A., Popova M. N., Andronova M. M. Environmental security penal institutions in the field of waste management. M. : VIPE FSIN of Russia, 2010. 250 p.
3. Bychkova V. A., Korobko V. I. Municipal solid waste. Economy. Ecology. Entrepreneurship. M. : Unity-Dana, 2014. 132 p.
4. Muravev A. G., Rodin A. A., Drugov Ju. S. Rapid analysis of environmental samples. M. : Binom. Laboratory znanij, 2010. 424 p.
5. Pochekaeva E. I. Ecology and life safety. M. : Fenix, 2010. 560 p.
6. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
7. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
8. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2008. 256 p.
9. Odum Yu. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2010. 338 p.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.

УДК 697.922.563+532.525.2
Посохин В.Н. – доктор технических наук, профессор
E-mail: posohin@kgasu.ru
Зиганшин А.М. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: amziganshin@kgasu.ru
Варсегова Е.В. – кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

О численном определении характеристик приточного насадка

Аннотация

Постановка задачи. При расчете воздухораспределения используются данные о характеристиках струи, полученные экспериментально. Также считается, что распределение характеристик течения на выходе из приточного насадка равномерное или симметричное, что обычно не так. Предлагается методика определения кинематического и теплового коэффициентов приточных насадков, основанная на расчете характеристик течений с помощью пакета программ Fluent. Методика проиллюстрирована на примере расчета коэффициентов для струйного течения из щелевого отверстия, расположенного в стенке воздуховода в ряду других последовательно размещенных щелей. Учитывается неравномерность полей скорости, статического давления, избыточной температуры на истечении.

Результаты. В рамках предлагаемой методики определены кинематический коэффициент приточного насадка, профили продольной скорости в поперечных сечениях струи, а также угол, который составляет направление истечения струи с образующей воздуховода. Установлены факты отсутствия подобия профилей продольной скорости в сечениях основного участка струи, наличие поля избыточного статического давления на истечении.

Выводы. Возможно расчетное определение кинематических и тепловых характеристик воздухораспределителей. Полученные результаты указывают на необходимость корректировки подходов к анализу турбулентных струйных течений.

Ключевые слова: приточный насадок, кинематический и тепловой коэффициенты, отверстие в стенке, транзитный расход, направление истечения, численный метод.

Общеприняты формулы для расчета скорости $u_{\text{ос}}$ и избыточной температуры $\Delta t_{\text{ос}}$ на оси плоской слабонеизотермической струи-источника в виде [1-3]:

$$u_{\text{ос}} = \frac{1}{\sqrt[4]{p}\sqrt{c}}\sqrt{\frac{J_{\text{о}}}{l r_{\infty}}}\frac{1}{\sqrt{s}}, \qquad (1)$$

$$\Delta t_{\text{ос}} = t_{\text{ос}} - t_{\infty} = \sqrt{\frac{1+\text{Pr}_{\text{т}}}{2\sqrt{p}c}}\frac{Q_{\text{о}}}{l c_p r_{\infty}}\frac{1}{\sqrt{J_{\text{о}}/(l r_{\infty})}}, \qquad (2)$$

где $J_{\text{о}}$ – начальный импульс струи (количество движения на единицу массового расхода воздуха); $Q_{\text{о}}$ – тепловая мощность струи на истечении; c_p и ρ – удельная теплоемкость и плотность воздуха; l – длина щели, s – расстояние до сечения, в котором определяются осевые характеристики струи; $\text{Pr}_{\text{т}}$ – турбулентное число Прандтля. Индекс «о» относится к значениям параметров на истечении, индекс «∞» – к значению плотности воздуха окружающего струю; c – экспериментальная константа.

Обычно считают, что статическое давление на выходе из отверстия равно нулю и тогда, если струя прямоточная:

$$J_{\text{о}} / l = q r_{\text{о}} u_{\text{о}}^2 h. \qquad (3)$$

Здесь $q = \int_h u^2 dx / (u_{\text{о}}^2 h) = \int_0^1 \bar{u}^2 d\bar{x}$ коэффициент, учитывающий неравномерность поля скорости на истечении; u – локальная скорость на истечении; $u_{\text{о}}$ – средняя по площади скорость истечения; h – ширина щели; x – переменная интегрирования.

Для Q_o имеем:

$$Q_o / l = q_1 c_p r_o h u_o \Delta t_o, \quad (4)$$

где

$$q_1 = \int_h \Delta t\, u_s dx / (\Delta t_o u_o h) = \int_0^1 \Delta\bar{t}\, \bar{u} d\bar{x}.$$

В последних формулах $\bar{u} = u / u_o$, $\Delta\bar{t} = \Delta t / \Delta t_o$, $\bar{x} = x / h$. Объединяя равенства (1)-(4), получим:

$$u_{oc} = \frac{m u_o \sqrt{h}}{\sqrt{s}}, \quad (5)$$

где m – кинематический коэффициент приточного отверстия (насадка):

$$m = \frac{\sqrt{q}}{\sqrt[4]{p}\sqrt{c}}, \quad (6)$$

$$\Delta t_{oc} = \frac{n \Delta t_o \sqrt{h}}{\sqrt{s}}, \quad (7)$$

где n – тепловой коэффициент приточного отверстия:

$$n = \sqrt{\frac{1 + \mathrm{Pr_т}}{\sqrt{p}\, c}} \frac{q_1}{\sqrt{q}}. \quad (8)$$

Поскольку непосредственное измерение полей скорости и температуры на выходе из насадка затруднительно, коэффициенты m и n обычно определяют, измеряя осевые характеристики в основном участке струи и обращая формулы (5), (7). Значения коэффициентов m и n для разных воздухораспределителей приведены, например в [2, 4]

Используя современные *CFD* – программы можно рассчитать поля скорости, температуры на выходе из насадка и определить значения m и n численно. Такой подход демонстрируется в работах [5-9]. Подобные расчеты показывают, что статическое давление на выходе из насадков может быть весьма существенным и значит, приведенные выше формулы, нуждаются в соответствующей корректировке.

Обратимся к конкретному примеру, когда струя формируется истечением из щелевого отверстия, расположенного в стенке воздуховода в ряду других последовательно размещенных щелей (рис. 1). Здесь мы имеем существенно более сложное течение, чем прямоточная струя. Наличие транзитного потока, проходящего мимо отверстия, обуславливает появление на истечении поперечной компоненты скорости, а также статического давления p_c отличного от нуля. Эти факторы нужно учитывать при определении начального импульса.

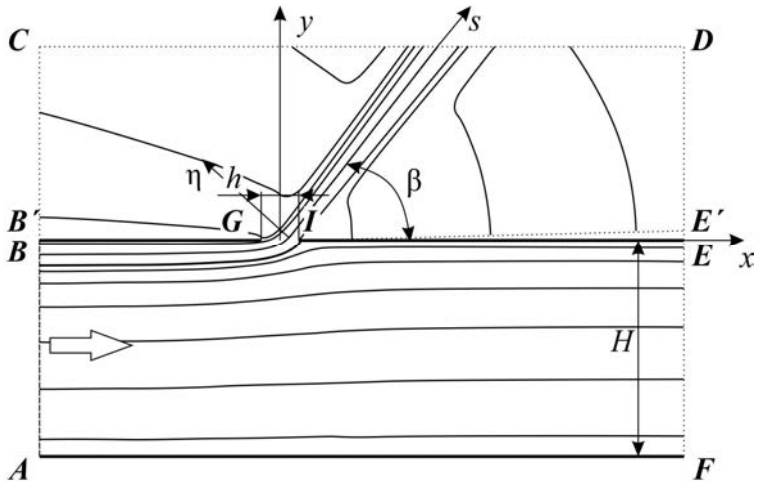


Рис. 1. Линии тока течения

Система уравнений плоского турбулентного движения замыкалась с помощью «стандартной» *k*-ε модели; при моделировании течения в пристеночных погранслоях использовались стандартные пристеночные функции.

Важно сделать одно замечание. При выборе границ расчетной области необходимо учитывать следующее обстоятельство. Разность давлений на границах струи, связанная с неодинаковыми размерами подобластей справа и слева от струи, приводит к тому, что она искривляется и настилается на стенку воздуховода – эффект Коанды (рис. 2). Практически этого не происходит, потому что реальная струя, строго говоря, не является плоской и поэтому разность давлений в подобластях справа и слева несущественна.

Чтобы избежать описанного эффекта, граница подобласти меньшего размера отклоняется от стенки на некоторой малый угол (рис. 1). Такой прием позволяет уравновесить давления в подобластях и исключить возможность искривления струи.

Итак, на границах расчетной области приняты следующие граничные условия: проницаемая граница *AB* – скорость u_x = 1 м/с (число Рейнольдса Re = $6{,}7\cdot10^4$); проницаемая граница *BCDE′I* – избыточное статическое давление $\Delta P_c = 0$; проницаемая граница *EF*, через которую транзитный поток выходит из канала – изменением избыточного давления ΔP_c моделируется нужное соотношение $\bar{L}_o$; *BG*, *B′G*, *IE*, *AF* – твердые непроницаемые границы (ГУ – «стенка»).

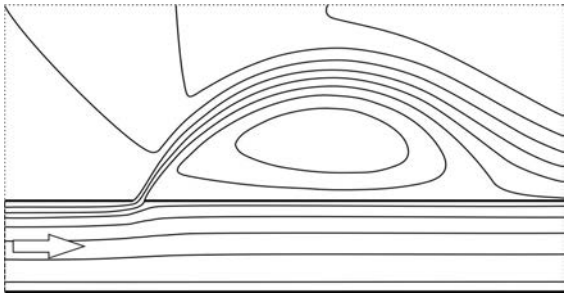


Рис. 2. Струя настилается на стенку

Картина течения, полученная с помощью пакета программ *Fluent* приведена на рис. 1. Здесь ширина отверстия h = 0,015 м, высота воздуховода H = 0,1 м, расход воздуха L_o = 0,15 м^2/с (соответственно u_o = 10 м/с, $P_{до}$ = 61,3 Па), транзитный удельный расход воздуха протекающего мимо отверстия $L_т$ = 1,35 м^2/с, общий удельный расход в стволе $L_c = L_o + L_т$ = 1,5 м^2/с. Значения безразмерных параметров $\bar{h}=h/H=0{,}15$, $\bar{L}_0=L_0/L_c=0{,}1$. Эти параметры определяют не только значения коэффициентов m и n, но также и угол β на истечении, и коэффициенты потерь давления для потока, выходящего из отверстия ζ_o и транзитного $\zeta_т$.

На рис. 3 показаны поля относительных компонент скорости $\bar{u}=u/u_0$, и статического давления $\bar{p}_c=p_c/p_\partial$ на истечении ($p_д = \frac{r}{2}u_o^2$ – динамическое давление, определенное по средней скорости потока на истечении и плотности воздуха ρ = 1,225 кг/м^3). Мы видим, что поля эти неравномерны, статическое давление заметно отличается от нуля и эти обстоятельства необходимо учитывать при определении J_o.

Объединяя выражения (1), (9) и (2), (4), (9) получим:

$$m = \frac{\sqrt{\int\limits_{-0,5}^{0,5}\left(\bar{u}_x^2\cos b + \bar{u}_y^2\sin b + \frac{\bar{p}_c}{2}\sin b\right)d\bar{x}}}{\sqrt[4]{p}\,\sqrt{c}}; \tag{10}$$

$$n = \sqrt{\frac{1+\mathrm{Pr}_т}{\sqrt{p}\,c}}\,\frac{\int\limits_{-0,5}^{0,5}\Delta\bar{t}\,\bar{u}\,d\bar{x}}{\sqrt{\int\limits_{-0,5}^{0,5}\left(\bar{u}_x^2\cos b + \bar{u}_y^2\sin b + \frac{\bar{p}_c}{2}\sin b\right)d\bar{x}}}. \tag{11}$$

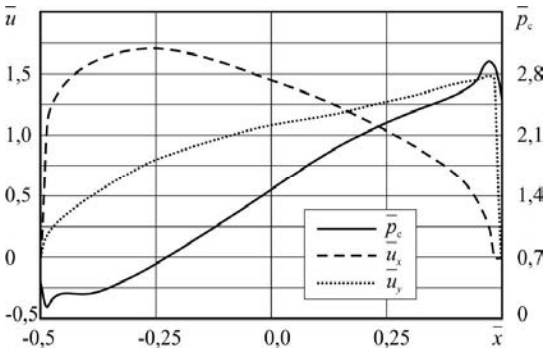


Рис. 3. Распределение статического давления $\bar{p}_c$ и компонент скорости $\bar{u}$ в отверстии при $\bar{L}_0=0,1$

Для значений параметров $\bar{h}$, $\bar{L}_0$, имевших место в численном эксперименте β=56,6°, $\int_{-0,5}^{0,5} \bar{u}_x d\bar{x} = 1,78$, $\int_{-0,5}^{0,5} \bar{u}_y^2 d\bar{x} = 1,12$, $\int_{-0,5}^{0,5} \frac{\bar{p}_c}{2} d\bar{x} = 0,72$, θ=2,52.

Из формул (5-6) следует, что $c = \frac{\theta u_o^2 h}{u_{oc}^2 s\sqrt{\pi}}$. Вычисления показывают, что в нашем случае $u_{oc}^2 s \approx \text{const}=26$. Тогда $c = \frac{2,52 \cdot 10^2 \cdot 0,015}{26 \cdot \sqrt{\pi}} = 0,082$; $m = \frac{\sqrt{\theta}}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{c}} = \frac{\sqrt{2,52}}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{0,082}} = 4,16$.

Заметим, что для обычного щелевого отверстия с равномерным профилем скорости и отсутствием избыточного статического давления на истечении m = 2,62. Следовательно, рассматриваемая струя затухает заметно медленнее.

Значение c можно определить и из рассмотрения профилей продольной скорости u_s, которые приведены на рис. 4.

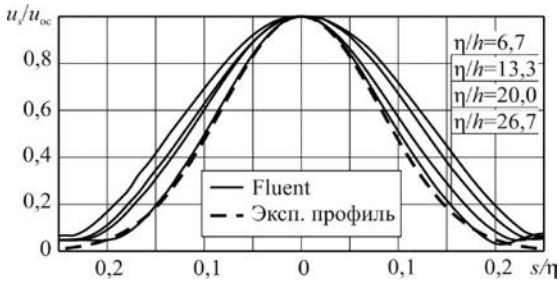
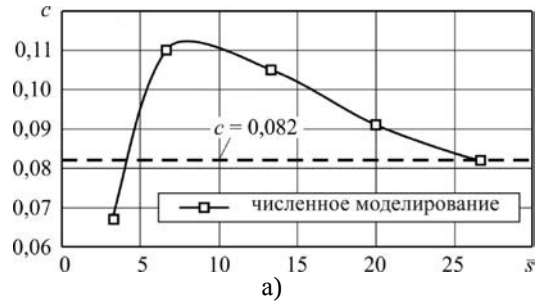


Рис. 4. Профили продольной скорости в сечениях струи

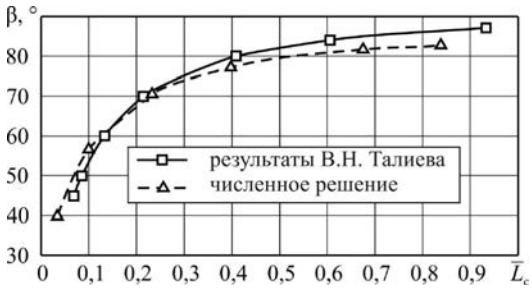
Штриховой линией здесь нанесен экспоненциальный профиль при c = 0,082:

$$\frac{u_s}{u_{oc}} = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta}{cs}\right)^2}.$$

Видно, что профили u_s в сечениях струи также близки к экспоненциальным, однако подобие профилей отсутствует. Это означает, что значение c по длине струи меняется (рис. 5 а).



а)



б)

Рис. 5. Результаты расчетов:
а) изменение коэффициента *c* по длине струи; б) зависимость $\beta=\beta(\bar{L}_0)$ при $\bar{h}=0{,}15$

Остановимся еще на проблеме теоретического определения угла β, который образует ось струи со стенкой воздуховода. Эту задачу в рамках допущений теории струй идеальной жидкости решали разные авторы [3, 10]. Конечно, такой подход не позволял определить кинематические характеристики струи, однако зависимость угла β от условий истечения $\bar{h}$, $\bar{L}_0$ была найдена. Приведем здесь результаты анализа В.Н. Талиева [3], который получил искомую связь в неявном виде:

$$\bar{h}=\frac{\cos b}{p\,(1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}})}\left\{p\,\bar{L}_{\text{o}}\cdot\sin b-\bar{L}_{\text{o}}\cos b\cdot\ln\frac{1-\cos b}{1+\cos b}-\right.$$
$$\left.-2\left[\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)a+\bar{L}_{\text{o}}\cos b\right]\ln b+2a\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)\ln d\right\}. \qquad (12)$$

Здесь

$$a=\frac{\left(1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}\right)^2+\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)^2\cos^2 b}{2\left(1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}\right)\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)\cos b};\ b=\frac{1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}-\cos\beta}{1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}+\cos\beta};\ d=\frac{1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}-\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)\cos b}{1-0{,}5\bar{L}_{\text{o}}+\left(1-\bar{L}_{\text{o}}\right)\cos b};\ \bar{L}_{\text{o}}<1,\ \bar{h}<1.$$

Заметим, что значения комплексов b и c под знаком логарифма при некоторых сочетаниях значений параметра $\bar{L}_0$ и искомой переменной β могут быть отрицательными и в этих случаях формула (12) теряет смысл.

Значения β, определенные численно и по формулам В.Н. Талиева при $\bar{h}$ = 0,15 весьма близки, что показывает рис. 5 *б*.

Заключение

Предлагаемый подход к расчетному определению кинематической и тепловой характеристик воздухораспределителей может служить приемлемой альтернативой трудоемкому, дорогостоящему и не всегда надежному физическому эксперименту. В рамках численного метода определяются и другие важные характеристики струи: направление истечения, коэффициенты местного сопротивления приточного отверстия на истечение и на проход; профили продольной скорости и избыточной температуры. Важными результатами проделанных вычислений являются установленные факты отсутствия подобия профилей продольной скорости в сечениях основного участка струи, наличие поля избыточного статического давления на истечении.

Все эти обстоятельства указывают на необходимость корректировки подходов к анализу турбулентных струйных течений.

Список библиографических ссылок

1. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. М. : АВОК-ПРЕСС, 2008. 209 с.
2. Воздухораспределители компании «Арктос». Указания по расчету и практическому применению: методический материал / «Арктос», компания. 5-е изд. 2008. 215 с.
3. Бройда В. А., Посохин В. Н., Сафиуллин Р. Г. Вентиляция. М. : АСВ, 2015. 624 с.
4. 2013 ASHRAE Handbook-Fundamentals. SI edition. 2013. 1000 p.

5. Barringer M. Manufacturing Influences on Pressure Losses of Channel Fed Holes // J. Turbomach. 2013. Vol. 136, № 5. P. 51012-051012-10.
6. Hussain A., Ahmad Z., Ojha C. S. P. Analysis of flow through lateral rectangular orifices in open channels // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2014. Vol. 36. P. 32–35.
7. Hussain A., Ahmad Z., Ojha C. S. P. Flow through lateral circular orifice under free and submerged flow conditions // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2016. Vol. 52. P. 57–66.
8. Saito Y., Ikohagi T. Dividing and Combining Flows through Orifice Set on Side Wall of Square Duct // Trans. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. B. 1994. Vol. 60, № 574. P. 1959–1964.
9. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Варсегова Е. В. К расчету потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщение 3 // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 6. С. 58–65.
10. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Варсегова Е. В. О направлении истечения струи из отверстия в стенке воздуховода: сб. ст. Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции / ЧГУ, Чебоксары, 2016. С. 481–486.

Posokhin V.N. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: posohin@kgasu.ru
Ziganshin A.M. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: amziganshin@kgasu.ru
Varsegova E.V. – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Numerical determination of the supply of air terminal characteristics

Abstract

Problem statement. In the calculation of air distribution data on the jet characteristics obtained experimentally are used. It is also considered that the distribution of the flow characteristics at the air nozzle outlet is equal or symmetrical, which is usually not the case. The methods of determining the kinematic and thermal coefficients of air nozzle outlets, based on the calculation of flow parameters using Fluent software are proposed. Methodology is illustrated in example of calculating the coefficients for the jet stream from slot orifice located in the wall of the duct among the other consistently placed slots. Taken into account the uneven velocity fields, static pressure, excess temperature in the supply orifice.

Results. Within the proposed methodology defined kinematic coefficient of air nozzle outlet, profiles of longitudinal velocity in the cross-section of the jet, as well as the angle which amounts with a duct forming the direction of the jet expiration. The facts of the absence of longitudinal velocity profiles similarity in the jet cross-sections in the main region of the jet, the presence of excess static pressure field on expiry are determined.

Conclusions. The computational definition of kinematic and thermal characteristics of the air terminals is possible. The results indicate the need to adjust the approaches to the analysis of turbulent jet flows.

Keywords: air nozzle outlet, kinematic and thermal coefficients, lateral orifice, the transit flow, the direction of the jet expiration, numerical method.

References

1. Posokhin V. N. Aerodynamics of ventilation. – M. : AVOK-PRESS, 2008. 209 p.
2. Air Terminal of «Arktos» company. Guidelines for the calculation and practical application: methodological material / «Arktos» company. 5th ed. 2008. 215 p.
3. Broida V. A., Posokhin V. N., Safiullin R. G. Ventilation. M. : ASV, 2015. 624 p.

4. Barringer M. Manufacturing Influences on Pressure Losses of Channel Fed Holes // J. Turbomach. 2013. Vol. 136, № 5. P. 51012-051012-10.
5. Hussain A., Ahmad Z., Ojha C. S. P. Analysis of flow through lateral rectangular orifices in open channels // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2014. Vol. 36. P. 32–35.
6. Hussain A., Ahmad Z., Ojha C. S. P. Flow through lateral circular orifice under free and submerged flow conditions // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2016. Vol. 52. P. 57–66.
7. Saito Y., Ikohagi T. Dividing and Combining Flows through Orifice Set on Side Wall of Square Duct // Trans. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. B. 1994. Vol. 60, № 574. P. 1959–1964.
8. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Varsegova E. V. The calculation of the pressure losses in local resistances. Message 3 // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. № 6. P. 58–65.
9. 2013 ASHRAE Handbook-Fundamentals. SI edition. 2013. 1000 p.
10. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Varsegova E. V. About direction of flow from the outlet opening: dig. of art. New in architecture,design construction and renovation. The III International Conference (IX All-Russian Conference) / Chuvash state university, Cheboksary, 2016. P. 481–486.

УДК 662.995:662.61
Таймаров М.А. – доктор технических наук, профессор
E-mail: taimarovma@yandex.ru
Ахметова Р.В. – старший преподаватель
E-mail: electric-station@mail.ru
Сунгатуллин Р.Г. – старший преподаватель
E-mail: ee-kgeu@mail.ru
Казанский государственный энергетический университет
Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
Лавирко Ю.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: lav.yu55@gmail.com
Желтухина Е.С. – студент
E-mail: lizaetoile@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования статьи является оптимизации режимных параметров работы котлов ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1 и снижения выбросов оксидов азота при сжигании попутного газа с применением малотоксичных горелок и с рециркуляцией дымовых газов, подаваемых в количестве до 8 % дымососом рециркуляции из опускного газохода в смеситель воздуховода перед горелками. Состав попутного газа при экспериментах был следующий: метан CH_4 = 92,37 % (объемных), этан C_2H_6 = 4,74 %, пропан C_3H_8 = 0,77 %. Использовались прямоточно-вихревые горелки ГМПВ-50 в количестве 12 штук на один котел. Горелки расположены на фронтальной стене топочной камеры в 2 яруса: первый нижний ярус на отметке 11,1 м, второй ярус на отметке 14,1 м. Котлы ТГ-104 имеют однокорпусное исполнение и П-образную компоновку поверхностей нагрева. Стены топки полностью экранированы трубами наружным диаметром 60 мм и толщиной стенки 6 мм из стали 20 с шагом 64 мм. Под топки образован панелями заднего экрана, имеет наклон к горизонту 15 ° и защищен от излучения факела слоем огнеупорной кладки.

Результаты. В результате проведенной работы было получено существенное снижение выбросов оксидов азота при малых паровых нагрузках. С ростом нагрузки доля рециркуляции уменьшалась из-за необходимости поддержания высокой температуры вторичного перегрева пара. Это приводило к сильному возрастанию выбросов оксидов азота из-за повышения температуры факела в зоне горения топлива.

Выводы. Было выявлено, что влияние изменения коэффициента избытка воздуха на образование оксидов азота с ростом нагрузки незначительное. Эффект увеличения аксиальной периферийной и внутренней круток воздуха в горелках на снижение образования оксидов азота проявляется при всех значениях нагрузки котлов.

Ключевые слова: оксиды азота, горение топлива, теплота сгорания, температура, котел, КПД, коэффициент избытка воздуха, уходящие газы, выбросы.

Введение

Котлы ТЭС являются главными источниками вредных выбросов оксидов азота в атмосферу практически при всех видах сжигаемого органического топлива при всех режимах работы [1-10]. Меры оперативного контроля над концентрацией оксидов азота в дымовых газах и прилегающей в атмосфере достаточно хорошо разработаны. Погрешность экспериментов при измерении концентрации оксидов азота с помощью известных газоаналитических приборов лежит в пределах ± 10 %. Основным способом является оптический, который в силу своей относительной простоты и дешевизны имеет несомненное преимущество перед электрохимическим способом. Точка отбора дымовых

газов для анализа содержания в них оксидов азота обычно выбирается после конвективного пароперегревателя в опускном газоходе котла. Такой точкой является рассечка водяного экономайзера. В этой точке, определяемой как режимное сечение, измеряется содержание кислорода и подсчитывается коэффициент избытка воздуха, значение которого составляет α=1, 08…1, 12. Причинами повышенного образования оксидов азота является высокая температура факела и большой избыток воздуха в зоне горения топлива. Измерить с высокой точностью эти два параметра непосредственно при процессе горения в зоне факела невозможно. Так как размеры топки энергетических котлов достаточно велики, а процесс сгорания происходит с большой скоростью порядка долей секунды и имеются перемещения зоны горения по высоте топки со скоростью порядка 5…8 м/с. Измеряемыми режимными параметрами являются паровая нагрузка котла, от которой зависит расход топлива и количество подаваемого воздуха на горение. Помимо этих двух параметров, локальная температура продуктов горения по объему топки зависит от крутки воздуха и системы газораздачи в горелках. Для уменьшения выбросов оксидов азота на котлах ТЭС применяют два основных способа. Первый способ заключается в снижении эмиссии оксидов азота в факеле посредством внешнего воздействия на процесс сжигания топлива. Второй способ состоит в применении химических методов очистки дымовых газов перед выбросом их в дымовую трубу. Вредные для здоровья человека оксиды азота улавливаются в очистных аппаратах специальными сорбентами. Второй способ характеризуется значительными капитальными и эксплуатационными затратами и на практике не всегда конструктивно осуществим. Первый способ доступен для использования и имеет несколько разновидностей по его применению. Так как в котлах ТЭС при высоких температурах в топке образуются термические оксиды, то снижение температуры осуществляется за счет двухступенчатого или трехступенчатого сжигания при двух или трех ярусном расположении горелок. При этом достигается разбаланс между количеством подаваемого топлива и воздуха на горение. При ступенчатом сжигании в горелках первого нижнего яруса сжигание топлива происходит с недостатком кислорода, и догорание оставшегося топлива происходит в факеле горелок второго яруса. При трехступенчатом сжигании при наличии трех ярусного расположения горелок необходимый для горения оставшегося топлива после первого яруса кислород поступает в горелки второго и третьего ярусов. Однако ступенчатое сжигание не всегда на котлах осуществимо, так как требуются специальные сопла для подвода дополнительного воздуха в горелки второго и третьего ярусов. Наиболее приемлемым подходом снижения локальной температуры в зоне горения является использование крутки воздуха в периферийной части за счет аксиальных лопаточных завихрителей. Этот подход на практике осуществим во время капитального ремонта котлов. В сочетании с рециркуляцией газов, суть которой заключается в отборе части дымовых газов из опускного газохода после водяного экономайзера и подачи этих газов в смеситель воздуховода перед горелками, применение лопаточных аксиальных завихрителей воздуха в горелках котлов ТГ-104 выполнено на Сургутской ГРЭС-1. Результаты экспериментов по испытаниям аксиальных периферийных лопаточных завихрителей для снижения концентрации оксидов азота в дымовых газах на Сургутской ГРЭС-1 представлены в данной статье.

Описание объекта исследования и методики измерений

Эксперименты по измерению выбросов оксидов азота проведены на Сургутской ГРЭС-1 на котлах ТГ-104, имеющих однокорпусное исполнение и П-образную компоновку поверхностей нагрева. Ширина фронта котла по осям колонн составляет 20,3 м, с учетом крайних ферм каркаса 26,7 м, глубина котла в осях колонн составляет 21,95 м. Наивысшая отметка котла по перепускным, трубам – 37,5 м. Топочная камера имеет призматическую форму, в плане представляет собой прямоугольник, с размером в осях труб по фронту – 18,62 м и по глубине – 7,23 м. Объем топки – 2640 м^3, удельное теплонапряжение (до ширмового пароперегревателя) – 208 кВт/м^3. Проектное теплонапряжение сечения топки равно 7070 кВт/м^2. Стены топки полностью экранированы трубами наружным диаметром 60 мм и толщиной стенки 6 мм из стали 20 с шагом 64 мм. Под топки образован панелями заднего экрана, имеет наклон к горизонту 15° и защищен от излучения факела слоем

огнеупорной кладки. Эксперименты по влиянию режимных параметров на образование оксидов азота проведены на Сургутской ГРЭС-1 на котле ТГ-104 со станционным № 3, оснащенным горелками ГМПВ-50 в количестве 12 шт. на котел.

Горелки расположены на фронтальной стене топочной камеры в 2 яруса: первый нижний ярус на отметке 11,1 м, второй ярус на отметке 14,1 м. Дымовые газы отбираются из опускных газоходов и подаются дымососами рециркуляции газов (ДРГ) через смесители в общий воздуховод подвода нагретого воздуха в горелки ГМПВ-50. Схема котла ТГ-104 с точками отбора дымовых газов на рециркуляцию и измерений концентрации диоксида азота приведена на рис. 1.

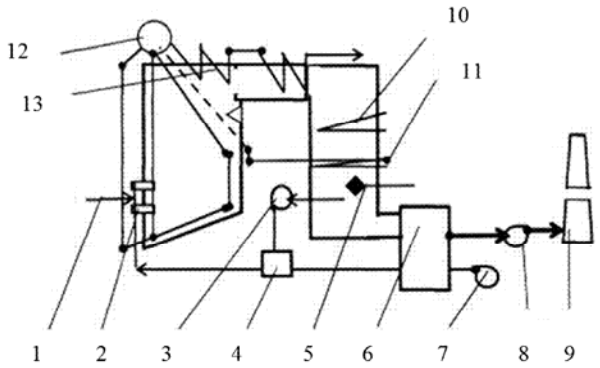


Рис. 1. Схема котла ТГ-104 с точками отбора дымовых газов
на рециркуляцию и измерение концентрации оксида азота:
1 – топливный газ, 2 – горелка, 3 – дымосос рециркуляции газов, 4 – узел смешения,
5 – точка отбора дымовых газов для определения их состава и измерения концентрации оксида азота,
6 – регенеративный воздухоподогреватель, 7 – дутьевой вентилятор, 8 – дымосос,
9 – дымовая труба, 10 – промежуточный пароперегреватель 11 – водяной экономайзер,
12 – барабан, 13 – конвективный пароперегреватель

Газомазутные прямоточно-вихревые горелки ГМПВ-50 мощностью 50 МВт для котла ТГ-104 (станционный № 3) Сургутской ГРЭС-1 по воздуху выполнены двухпоточными (рис. 2).

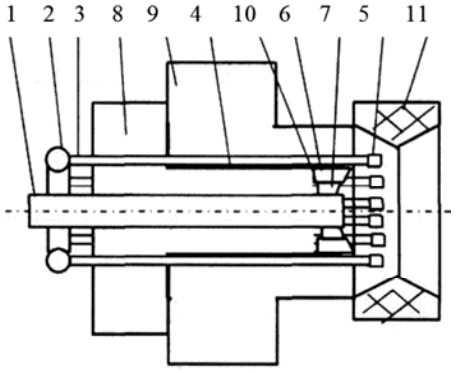


Рис. 2. Схема прямоточно-вихревой горелки ГМПВ-50:
1 – центральная труба для размещения мазутной форсунки 2 – газовый коллектор,
3 – газораздающие трубы, 4 – обечайка аксиального воздушного завихрителя, 5 – газовые насадки,
6 – внешние лопатки аксиального завихрителя, 7 – внутренние лопатки аксиального завихрителя,
8 – патрубок внутреннего 8 подвода воздуха, 9 – патрубок периферийного подвода воздуха,
10 – втулка, 11 – амбразура

Она состоит из воздухонаправляющей части и газораздающего устройства, включающего газовый коллектор 2, двенадцать газораздающих труб 3, симметрично установленных по наружной обечайке 4 аксиального воздушного завихрителя и газовые насадки 5. В торцевой части каждой газовой насадки 5 выполнены 4 газоподающих от-

верстия, ориентированные следующим образом: два вдоль и два под углом 45° к оси горелки. Воздухонаправляющая часть горелки состоит из патрубков внутреннего 8 и периферийного 9 подводов воздуха и лопаточного завихрнтеля аксиального типа, который делит поток воздуха на две закрученные части и служит для подвода воздуха в виде закрученных поток к корню факела. Завихритель состоит из наружного обода 4, втулки 10, внешних 6 и внутренних 7 лопаток, установленных под углом 45° к оси горелки. Выходным участком проточной части горелки является амбразура 11, которая конструктивно относится к топке котла и изготовляется на монтаже по чертежам обмуровки. Центральная труба 1 служит для размещения мазутной форсунки. Схема круток в горелках котла ТГ-104 со станционным № 3 на Сургутской ГРЭС-1 приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схемы направлений круток воздуха по горелкам ГМПВ-50 котла ТГ-104 (станционный № 3) Сургутской ГРЭС-1

№ ярусов и отметок размещения горелок	Номера горелок и направления крутки воздуха в горелках					
2-й верхний ярус, отметка 14,1 м	1	2	3	4	5	6
1-й нижний ярус, отметка 11,1 м	7	8	9	10	11	12

Для организации нестехиометрического сжигания в насадках горелок нижнего яруса, диаметр отверстий равен 12,5 мм, верхнего – 11,0 мм, что соответствует расчетному расходу газа через верхние горелки – 44 % , через нижние – 56 %.

В горелке предусмотрены трубы для установки запально зажигательного устройства (ЗЗУ), контроля факела и лючки для наблюдения за горением. Расчетная номинальная тепловая мощность горелки составляет около 50 МВт при среднем расходе газа 4971 нм ^{3}/час и низшей теплотой сгорания 8100 ккал/нм^3. Номинальное давление газа перед горелками 0,23 кг/см^2. Измерения оксидов азота проводились на котле ТГ-104 в опускном газоходе в режимном сечении в рассечке водяного экономайзера (РВЭ) при помощи газоанализатора ДАГ-500. КПД котла брутто, коэффициенты избытка воздуха, температура уходящих газов и другие режимные параметры определялись по методикам, описанным в (ОСТ 108.836.05-82. Горелки газомазутные и амбразуры стационарных паровых котлов. М.: Минэнергомаш СССР, 1982. – 55 с.) и работе [11]. Погрешность опытов при определении КПД составляла ±3,51 %. Во время экспериментов сжигался попутный газ с теплотой сгорания $Q_н^р$ = 8023 ккал/нм³ с плотностью 0,696 кг/нм³.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели работы котла ТГ-104 (станционный № 3) с горелками ГМПВ-50 на Сургутской ГРЭС-1 во время экспериментов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что содержание оксидов азота NO_x в продуктах сгорания в режимном сечении при уменьшении рециркуляции дымовых газов при нагрузках 600 и 670 т/ч возрастает в среднем в 1,67 и 2,33 раза по сравнению с выбросами при нагрузках 335 т/ч. При нагрузках 670 т/ч по рециркуляции дымовых газов в общий короб воздуховода перед горелками нитка А опускного газохода выключена, а нитка Б загружена соответственно на 50 %. Уменьшение рециркуляции дымовых газов при повышенных нагрузках связана с необходимостью поддержания высокой температуры вторичного промежуточного перегрева пара равной 545 °С. При уменьшении рециркуляции температура в топке достаточно сильно повышается, что способствует образованию термических оксидов азота. Значения КПД котла брутто $\eta_{к.бр}$ и выбросов оксидов азота NO_x для котла ТГ-104 (ст. № 3) Сургутской ГРЭС-1 при различных нагрузках при изменении рециркуляции дымовых газов r приведены на рис. 3.

Таблица 2

Показатели работы котла ТГ-104 (станционный № 3) с горелками ГМПВ-50 во время опытов

Наименование параметра		Обозначение	Размерность	Паровая нагрузка, т/ч					
				670	600	515	470	400	335
Давление пара в барабане		$P_Б$	кгс/см²	151	146	143	140	139	135
Давление острого пара за котлом		$P_{ПЕ}$	кгс/см²	130					
Температура острого пара за котлом		$T_{ОП}$	°С	545					
Температура вторичного пара за котлом		$T_{ВП}$	°С	545					
Температура питательной воды		$T_{ПВ}$	°С	248	243	237	232	225	219
Температура пара до 2-го впрыска		$t'_{ВП2}$	°С	397/410	402/415	394/416	404/420	408/425	410/424
Температура пара после 2-го впрыска		$t''_{ВП2}$	°С	368/387	368/384	378/382	372/382	372/382	379/386
Температура пара до 3-го впрыска		$t'_{ВП3}$	°С	482/487	486/484	490/477	483/480	481/465	487/480
Температура пара после 3-го впрыска		$t''_{ВП3}$	°С	-/483	-/480	-/474	-/478	-/481	-/478
Расход газа на котёл при Тг = 0°С и Рг = 2,3 кг/см²		$G_Г$	тыс. м³/ч	48,5	42	37	33,5	29,5	24,5
Давление газа за регулирующим клапаном		$P_{РК}$	кгс/см²	0,34	0,29	0,2	0,17	0,14	0,11
Давление газа перед горелками	верхний ярус	$P'_Г$	кгс/см²	0,26	0,22	0,15	0,13	0,1	0,09
	нижний ярус			0,2	0,17	0,12	0,1	0,08	0,06
Открытие заслонок перед горелками по указателю поворота	верхний ярус	УП	%	100	100	100	100	100	100
	нижний ярус			100	100	100	100	100	100
Ток эл. двигателя ДРГ, А/Б		I ДРГ	А	0/15	28/28	68/15	78/14	78/14	78/14
УП направляющих аппаратов ДРГ, А/Б		$УП_{ДРГ}$	%	0/50	10/100	100/100	100/100	100/100	100 / 100
Открытие шибера горячего воздуха ШГВ-А/Б		УП	%	100/20	100/30	100/80	100/80	100/100	100/70
Давление воздуха в общем коробе		$P_{В.ОБЩ}$	кгс/м²	150	140	155	180	165	180
Перепад давления воздуха на РВП-А/Б		$\Delta P_{РВП}$	кгс/м²	90/80	70/70	70/50	70/60	65/40	65/55
Содержание кислорода в режимном сечении		O_2	%	1,7	1,7	2	4	5,1	6,1
Открытие шиберов по воздуху перед горелками	верхний ярус	УП	%	100	100	100	100	100	100
	нижний ярус			100	100	100	100	100	100
Разрежение «вверху» топки		$S''_Т$	кгс/м²	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Температура газов в поворотной камере		$T''_{КПП3}$	°С	744	707	673	646	622	602
Температура уходящих газов		$T_{УХ.Г}$	°С	134	130	128	126	125	125
Ток эл. двигателей дымососов, А/Б		$I_{ДС}$	А	75/70	60/55	55/50	55/50	55/50	55/50
УП направляющих аппаратов дымососов, А/Б		$УП_{ДС}$	%	87/73	65/60	60/50	60/50	60/50	60/55
Содержание NO_x в дымовых газах, приведенное к α = 1,4		C_{NO}	мг/м³	140	100	60	60	60	60
Потери тепла с уходящими газами		q_2	%	5,34	4,98	5,04	5,57	5,94	6,78
КПД котла «брутто»		$\eta_{к.бр}$	%	94,3	94,61	94,48	93,91	93,45	92,5

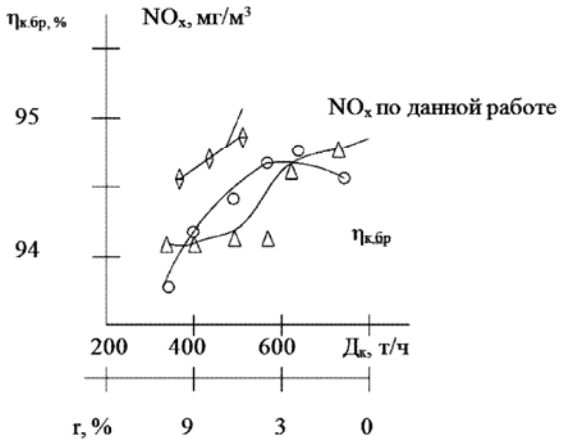


Рис. 3. Значения КПД котла брутто $\eta_{к.бр}$ и выбросов оксидов азота NO_X, при сжигании газа в горелках ГМПВ-50 котла ТГ-104 (ст. № 3) Сургутской ГРЭС-1, при различных нагрузках $Д_к$, при изменении рециркуляции дымовых газов r, в сравнении с данными Рослякова П.В. [11], полученными, при ступенчатом сжигании природного газа с рециркуляцией в котле ТГМ-96Б со стандартными горелками ХФ ЦКБ-ВТИ-ТКЗ

На рис. 3 видно, что применение рециркуляции r дымовых газов свыше 6 %, при уменьшении нагрузки ниже 500 т/ч сопровождается резким снижением КПД котла $\eta_{к.бр}$. При этом выбросы оксидов азота NO_x практически не изменяются. Анализ сопоставления результатов экспериментов с данными Рослякова П.В. [3] показывает, что применение горелок ГМПВ-50 в котле ТГ-104 в сочетании с рециркуляцией дает больший эффект по снижению вредных выбросов оксидов азота по сравнению со ступенчатым сжиганием и рециркуляцией дымовых газов в котле ТГМ-96Б со стандартными горелками ХФ ЦКБ-ВТИ-ТКЗ.

Выводы

1. Применение горелок ГМПВ-50 с трубчатой периферийной газораздачей с использованием большого и малого внутренних лопаточных аксиальных воздухозавихрителей при сжигании попутного газа в котлах ТГ-104 устраняет зоны факела с повышенной температурой и способствует снижению эмиссии оксидов азота 2 раза по сравнению с обычными горелками типа ТКЗ.

2. Использование рециркуляции дымовых газов до значений r = 6 % для горелок ГМПВ-50 в котле ТГ-104 не снижает КПД. При более высоких значениях рециркуляции до r = 9 % КПД котла снижается на 0,5…0,6 %.

Список библиографических ссылок

1. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. М. : Наука, 1980. 478 с.
2. Росляков П. В., Егорова Л. Е. Влияние основных характеристик зоны активного горения на выход оксидов азота // Теплоэнергетика. 1996. № 9. С. 22–26.
3. Росляков П. В., Бэйцзин Чжун, Тимофеева С. А. Минимально достижимый выход оксидов азота в топках котла // Теплоэнергетика. 1992. № 8. С. 47–49.
4. Таймаров М. А., Чикляев Д. Е. Образование термических окислов азота при сжигании газа // Вестник Казанского технического университета. 2013. № 23 (16). С. 73–75.
5. Прохоров В. Б., Рогалев Н. Д., Лысков М. Г. Образование и методы снижения выбросов оксидов азота при сжигании топлив на ТЭС. М. : МЭИ, 2001. 32 с.
6. Росляков П. В., Зинина В. Н. Влияние условий теплообмена в топочных камерах на образование термических оксидов азота // Теплоэнергетика. 1991. № 12. С. 60–62.

7. Росляков П. В., Двойнишников В. А. и др. Разработка рекомендаций по снижению выбросов оксидов азота для газомазутных котлов ТЭС // Электрические станции. 1991. № 9. С. 9–17.
8. Chiu W. S., Shahed S. M., Lin W. T. A Transient Spray Mixing Model for Diesel Combustion // SAE Paper. 1999. № 760128. P. 534–542.
9. Christensen M. Supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition // SAE Teen. Pap. Ser. 1998. № 980787. P. 1–18.
10. Fennimore C. P., Jones G. W. Oxidation of soot by hydroxyl radicals // Journal of Physical Chemistry. 1976. № 71. P. 593–597.
11. Таймаров М. А. Практические занятия на ТЭЦ. Казань, 2003. 64 с.

Taymarov M.A. – doctor of the technical sciences, professor
E-mail: taimarovma@yandex.ru
Akhmetova R.V. – senior lecturer
E-mail: electric-station@mail.ru
Sungatullin R.G. – senior lecturer
E-mail: ee-kgeu@mail.ru
Kazan State Power Engineering University
The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya st., 51
Lavirko Yu.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: lav.yu55@gmail.com
Zheltukhina E.S. – student
E-mail: lizaetoile@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Reduction of harmful emissions of nitrogen oxides in atmosphere by coppers at thermal power stations

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to optimize the regime parameters of boilers TG-104 of Surgut GRES-1 and reduce emissions of nitrogen oxides during the combustion of associated gas with the use of low-emission burners and flue gas recirculation, fed in an amount up to 8 % by smoke exhaust recirculation of dropping gas pipeline in the air mixer before burners.

Composition associated gas in the experiments as follows: methane CH4 = 92,37 % (by volume), ethane = 4,74 % C2H6, C3H8 Propane = 0,77 %. We used direct swirl burner GMPV-50 in the amount of 12 pieces in one pot. Burners are located on the front of the combustion chamber wall in 2 tiers: the first tier below the level of 11.1 m, the second tier at around 14.1 m TG-104 boilers have an efficiency of one and a U-shaped arrangement of the heating surfaces.The wall of the furnace fully shielded by tubes of outer diameter 60 mm and a wall thickness of 6 mm, made of steel 20 in steps of 64 mm. Under the furnace rear screen panel is formed, it is inclined to the horizontal 15 °, and also protected from the flame radiation layer of refractory brickwork.

Results. Essential reduction surge oxides of the nitrogen is received under small steam load. With growing of the load share recirculation decreased because of need of the maintenance of the high temperature of the secondary overheat pair. This brought about strong growth surge oxides of the nitrogen because of increasing of the temperature of the torchlight in zone of the combustion fuel.

Conclusions. It was found that the effect of changes excess air ratio in the formation of nitrogen oxides with increasing load is insignificant. The effect of increased axial and circumferential inner air twists in burners to reduce the formation of nitrogen oxides is shown for all values of boiler load.

Keywords: nitrogen oxides, fuel burning, heat of combustion, temperature, copper, coefficient of efficiency, coefficient of air excess, leaving gases, emissions.

References

1. Zeldovich Ya. B., Barenblatt G. I., Librovich V. B., Makhviladze G. M. The mathematical theory of combustion and explosion. M. : Nauka, 1980. 478 p.
2. Roslyakov P. V, Egorova L. E. Influence of the basic characteristics of the active burning zone on the yield of nitrogen oxides // Teploenergetika. 1996. № 9. P. 22–26.
3. Roslyakov P. V, Beiching Zhong, Timofeeva S. A. The minimum attainable yield of nitrogen oxides in boiler furnaces // Teploenergetika. 1992. № 8. P. 47–49.
4. Taymarov M. A., Chiklyaev D. E. The formation of thermal NOx from the combustion gas // Vestnik Kazanskogo technicheskogo universiteta. 2013. № 23 (16). P. 73–75.
5. Prokhorov V. B, Rogalev N. D., Lyskov M. G. Education and methods for reducing nitrogen oxide emissions from the combustion of fuels at thermal power stations. M. : MEI, 2001. 32 p.
6. Roslyakov P. V., Zinina V. N. Effect of heat transfer conditions in the combustion chambers on the thermal formation of nitrogen oxides // Teploenergetika. 1991. № 12. P. 60–62.
7. Roslyakov P. V. Dvoinishnikov V. A. Development of recommendations to reduce NO_x emissions for gas-oil thermal power plant boilers // Electricheskie stanczii. 1991. № 9. P. 9–17.
8. Chiu W. S., Shahed S. M., Lin W. T. A Transient Spray Mixing Model for Diesel Combustion // SAE Paper. 1999. № 760128. P. 534–542.
9. Christensen M., et all. Supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition // SAE Teen. Pap. Ser. 1998. № 980787. P. 1–18.
10. Fennimore C. P., Jones G. W. Oxidation of soot by hydroxyl radicals // Journal of Physical Chemistry. 1976. № 71. P. 593–597.
11. Taymarov M. A. Workshops on TPS. Kazan, 2003. 64 p.

УДК 691:614
Вахнина Т.Н. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: t_vachnina@mail.ru
Сусоева И.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: i.susoeva@yandex.ru
Костромской государственный университет
Адрес организации: 156005, Россия, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17
Аносова Е.Б. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru
Капранов А.В. – аспирант
E-mail: alex15109@yandex.ru
Академия гражданской защиты МЧС России
Адрес организации: 141435, Россия, г. Химки, мкрн. Новогорск

Оценка термодеструкции лигноцеллюлозных наполнителей и композиционных материалов на их основе

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась оценка пожароопасных свойств лигноцеллюлозных наполнителей и композиционных плит на их основе для снижения горючести материала.

Результаты. В работе получены результаты определения степени повреждения по массе при горении в «керамическом коробе» образцов композиционного материала с наполнителем из невозвратных пылевидных отходов производства хлопкового волокна. Для оценки горючести материала наполнителя использован термический анализ хлопкового волокна и невозвратных отходов его производства – построены кривые термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии, получены ИК-спектры продуктов термолиза материалов.

Выводы. Высокая (более 50 %) степень повреждения по массе при горении композиционных плит на основе невозвратных отходов хлопка обусловлена повышенной горючестью материала наполнителя, в основе которой лежат процессы дегидратации, окисления и термической деструкции целлюлозы. Рекомендовано для изготовления огнезащищенных композиционных плитных материалов из невозвратных отходов производства хлопкового волокна использовать алюмохромфосфатное связующее. Это позволяет получить композиционный плитный материал на основе невозвратных пылевидных отходов прядения хлопкового волокна, имеющий потерю массы при термическом воздействии, отвечающую группе горючести Г1 согласно ГОСТ 30244-94.

Ключевые слова: лигноцеллюлозные отходы, композиционные материалы, дифференциально-сканирующая калориметрия.

Лигноцеллюлозные материалы (древесина, дискретные частицы из однолетников и т.п.) традиционно используются в строительстве. Это объясняется доступностью, воспроизводимостью, экологичностью и ценными техническими качествами растительного сырья. Вторичное лигноцеллюлозное сырье прядильных производств, наряду с первичными отходами однолетников (такими как костра, солома), может использоваться для изготовления теплоизоляционных материалов, используемых в строительной индустрии в качестве утеплителя стен и перекрытий зданий и сооружений [1, 2], в том числе на основе гибридных органо-неорганических связующих [3].

Основным недостатком лигноцеллюлозных материалов является их горючесть, способность легко воспламеняться и распространять пламя с выделением большого количества тепла, дыма и токсичных газообразных продуктов. Все это повышает риск возникновения пожароопасной ситуации. Распространение пожара, приобретая характер техногенной катастрофы, приводит к человеческим жертвам, поэтому особую значимость имеют исследования в области повышения огнезащищенности материалов.

Химический состав и плотность лигноцеллюлозного материала значимо влияют на характеристики пожарной опасности. Так лигнин, в силу своего химического строения (ароматической природы), обладает повышенной способностью к карбонизации и выходу нелетучего коксового остатка при разложении [4]. В отходах однолетников содержится меньше лигнина, чем в древесине. Особенности физико-химических свойств лигноцеллюлозных материалов приводят к предположению, что наполнитель композиционных материалов из однолетников, таких, как хлопок, будет иметь большую горючесть, чем древесина.

Потеря массы за определенный период горения является важнейшей характеристикой горючести материалов, входящей во многие стандарты в качестве классификационного критерия [5]. Не менее важным показателем термостабильности материала является скорость потери массы при термолизе, позволяющая оценить процесс его термодеструкции. К современным методам определения показателей пожарной опасности твердых веществ, в том числе строительных материалов, относятся термический анализ и инфракрасная спектроскопия [6]. Применение этих методов для исследования процессов термоокисления материала дает возможность оценить выделение летучих продуктов распада, динамику потери массы, а также вид исследуемых огнезащитных средств [7, 8].

Использованный в настоящей работе метод дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) является современной разновидностью термического анализа и также получил широкое распространение для определения характеристик веществ и материалов, влияющих на их пожароопасные свойства [9]. В методе ДСК теплоту определяют через тепловой поток – производную теплоты по времени (отсюда в названии термин «дифференциальный»). Тепловые потоки измеряются по разнице температур в двух точках измерительной системы в один момент времени. В современных приборах предусмотрена возможность задавать различные температурные программы.

Одним из важных показателей, которые с большой точностью можно определить с использованием метода ДСК, является температура начала уменьшения массы ($t_{н.у}$), соответствующая разнообразным физико-химическим процессам, происходящим в исследуемом образце: испарению, возгонке, термической деструкции. Эти процессы предваряют воспламенение.

Кроме того, на пожарную опасность веществ и материалов оказывают влияние скорость и характер (одно- и многоступенчатый) термического уменьшения массы.

По данным M. Rahman с коллегами, начало процесса термодеструкции хлопкового пуха соответствует температуре 300 ^{0}C, причем термостойкость хлопкового волокна повышается при его модифицировании перекисью водорода, уксусным ангидридом [10]. A. H. Portella относит начальную потерю веса хлопкового наполнителя к интервалу 30…110 °C, а максимальную скорость разложения – к температуре 348 °C [11]. Работы исследователей еще раз подтверждают значимость влияния соотношения «лигнин-целлюлоза» на термостойкость материала. Т. Лоан относит начало деструкции лигнина лигноцеллюлозных волокон к области около 200 °C [12].

В качестве метода повышения термостабильности целлюлозных материалов традиционно применяют технологии ацетилирования [13]. В исследованиях Т. Зханга использован метод снижения горючести нетканого композита из хлопка и отходов сахарного тростника путем пластификации волокна ацетилирующими смесями, при этом интервал термического разложения сдвигается до 250…370 °C, а максимальная скорость разложения до 600 °C [14].

Эффективными являются методы снижения горючести лигноцеллюлозных материалов путем использования фосфор- и кремнийорганических соединений [15], галоген- и азотсодержащих антипиренов, а также неорганических – боратов [16], фосфатов, гидратов оксидов металлов, азотсодержащих и комплексных соединений.

Обработка целлюлозных материалов щелочью (при концентрации 5 %) также повышает термическую стабильность материала за счет изменения кристаллической структуры целлюлозы [17]; однако, по данным В. И. Азарова, этот процесс возможен только при обработке высококонцентрированными растворами NaOH (10…16 %) [13].

Вопросы разработки новых композиционных строительных материалов с лигноцеллюлозными наполнителями [18] должны решаться системно, в комплексе с исследованием их пожароопасных свойств. Противоречивость данных о термическом сопротивлении волокон и дискретных частиц однолетников свидетельствует о необходимости проведения экспериментальных исследований пожароопасных свойств применительно к каждому конкретному виду лигноцеллюлозного наполнителя композиционных материалов.

В исследовании были изготовлены композиционные плиты теплоизоляционного назначения из невозвратных пылевидных отходов производства хлопкового волокна и фенолоформальдегидного связующего СФЖ-3014 по технологии древесноволокнистых плит мокрого способа производства (по ГОСТ 4598-86. Плиты древесноволокнистые). Для образцов плитных материалов определялись физико-механические показатели и потеря массы при горении. В соответствии с нормативными требованиями (ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть), испытания проводились в установке «керамический короб» по ГОСТ Р 53292-2009. Результаты определения показателя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения горючести образцов

Показатель горючести	Значение показателя при доле добавки связующего в композицию, %							
	2	4	8	12	16	20	24	30
Степень повреждения образцов по массе при горении, %	56,15	56,24	57,81	58,89	59,67	60,92	61,74	63,34

Испытание показало, что композиционный плитный материал из пылевидных отходов хлопка и фенолоформальдегидного связующего СФЖ-3014 по показателю «степень повреждения по массе при горении» относится к группе горючести Г4. Увеличение доли добавки фенольного связующего положительно сказывается на физико-механических показателях композита, но приводит к ухудшению пожароопасных свойств, однако и при минимальной доле добавки фенольного связующего потеря массы композита при горении превышает 50 %.

Для получения информации о физических и химических процессах, протекающих при нагревании в материале наполнителя (хлопковое волокно, отходы хлопкового волокна и коробочки, стебель), был использован метод дифференциально-сканирующей калориметрии. Термографические кривые снимали на установке синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter, совмещенной с приставкой ИК-Фурье. Термический анализ проводился в интервале 20…600 °С при скорости нагрева 10 °С/мин, масса испытуемых образцов составляла 1…5 мг.

Результаты термического анализа хлопкового волокна – кривые термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) представлены на рис. 1.

В интервале 50…232,9 °С (кривая ТГ) идет удаление сорбционной влаги, потеря массы материала составляет 10 %. Наличие в ИК-спектре характеристической частоты около 1550 $см^{-1}$ свидетельствует о скелетных колебаниях С-С в ароматическом кольце ксилана, который активно распадается при температуре свыше 200 °С. Кроме удаления сорбционной влаги и термической деструкции гемицеллюлоз на потерю массы влияют начинающиеся в интервале 200…230 °С процессы деструкции аморфной части целлюлозы. При дегидратации идет расщепление цепей целлюлозы по гликозидным связям и частичный распад глюкопиранозных звеньев, о чем свидетельствует образование CO_2 (табл. 2), причем проявляются и ассиметричные колебания связей О-С-О (2353 $см^{-1}$), и деформационные колебания (665 $см^{-1}$).

Первый экзотермический пик при температуре 326,75 °С характеризует удельную теплоту процесса термолиза 861,3 Дж/г. Данный пик свидетельствует о фазовом превращении – начале декристаллизации, т.е. разрушении кристаллической части целлюлозы. Интенсивное термическое разложение хлопкового волокна характеризуется максимальным углом наклона кривой потери массы ТГ.

При температуре около 360 °С (рис. 1) происходит полная аморфизация целлюлозы хлопкового волокна с потерей массы около 50 %. Первый пик характеризует поверхностное воспламенение материала.

Второй пик интенсивности термического разложения в области температур около 429,29 °С. Он обусловлен продвижением фронта термолиза вглубь материала. Начинается переход аморфизированной целлюлозы в карбонизированную. Формируется структура угля. Второй период термического разложения сопровождается удельной теплотой термического разложения 805 Дж/г, резким снижением энтальпии системы и переходом в новое равновесное состояние. Второй период термического разложения характеризуется полной деструкцией хлопкового волокна.

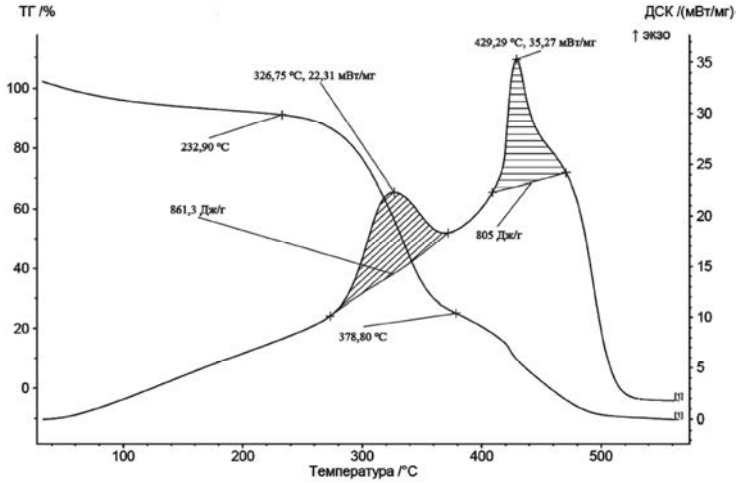


Рис. 1. Кривые ТГ и ДСК хлопкового волокна

ИК-спектры продуктов термолиза хлопкового волокна и отходов его производства представлены на рис. 2-3, значения полос поглощения продуктов термолиза волокна – в табл. 2.

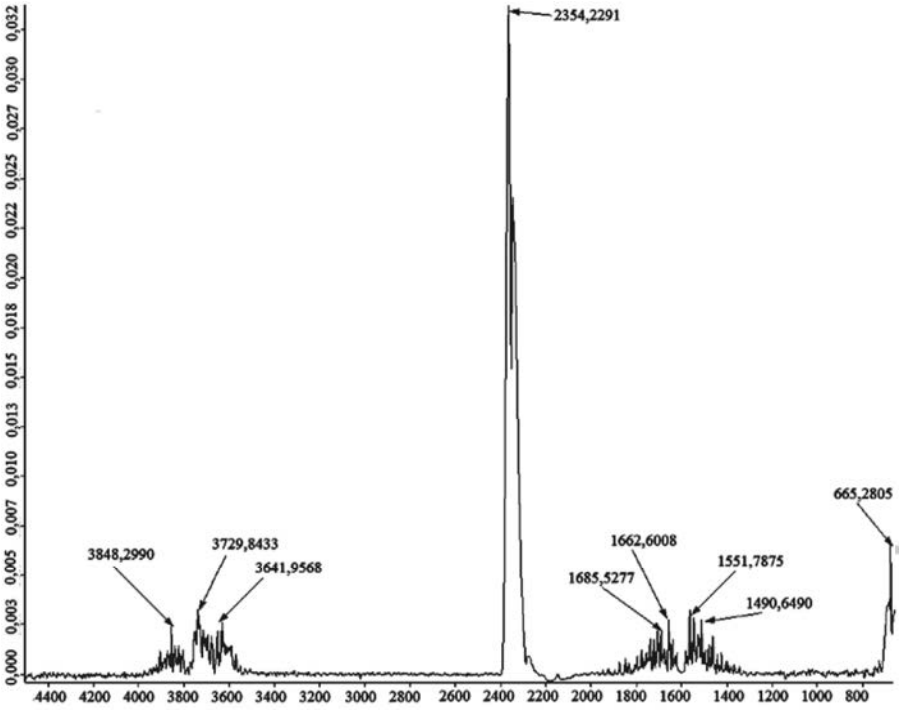


Рис. 2. ИК-спектр продуктов термолиза хлопкового волокна

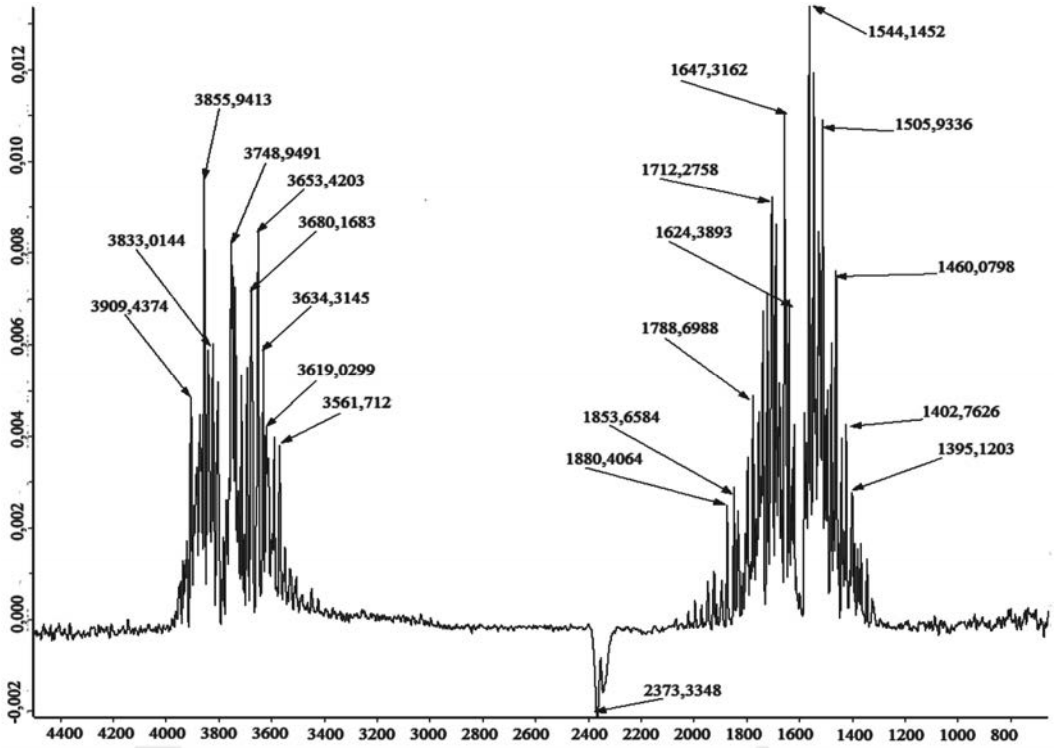


Рис. 3. ИК-спектр продуктов термолиза отходов производства хлопкового волокна

Таблица 2

Полосы поглощения продуктов термолиза хлопкового волокна

Положение полосы, $см^{-1}$	Интенсивность поглощения, %	Группы
3848,2990	0,0029	Валентные колебания свободных ОН-группы
3729,8433	0,0039	Валентные колебания свободных ОН-группы
3641,9568	0,0031	Валентные колебания свободных ОН-группы
2354,2291	0,035	Асимметричные валентные колебания CO_2
1685,5277	0,028	Несопряженные колебания С=С
1662,6008	0,0031	Деформационные колебания связей в молекулах Н-О-Н
1551,7875	0,0038	Скелетные колебания С-С
1490,6490	0,003	Деформационные колебания групп CH_2
665,2805	0,0065	CO_2 с деформационными колебаниями молекулы

При нагревании хлопкового волокна целлюлоза пластифицируется, ее цепи приобретают сегментальную подвижность. Поэтому полоса валентных колебаний свободных ОН-групп, участвующих в межмолекулярных и внутримолекулярных Н-связях (в области 4000…3000 $см^{-1}$), которая практически отсутствует в спектре целлюлозы, в спектре продуктов термолиза хлопкового волокна имеет высокую интенсивность поглощения. Деформационные колебания связей в молекулах Н-О-Н обусловлены удалением в процессе термолиза прочно связанной воды. Деформационные колебания групп CH_2 в области 1400…1500 $см^{-1}$ вызваны структурными превращениями групп, чувствительных к окислению. ИК-спектр термолиза хлопкового волокна характеризует происходящие при нагреве химические изменения компонентов хлопка – реакции дегидратации, окисления и термической деструкции.

В спектре продуктов термолиза отходов хлопкового волокна менее выражена интенсивность поглощения асимметричных валентных колебаний CO_2 и отсутствует пик с деформационными колебаниями молекулы. Это может объяснять наличие большого

количества минеральных веществ в отходах хлопка, вызванное загрязнением в процессах сбора и транспортировки отходов.

Кривые термического анализа отходов хлопкового волокна (термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии) представлены на рис. 4.

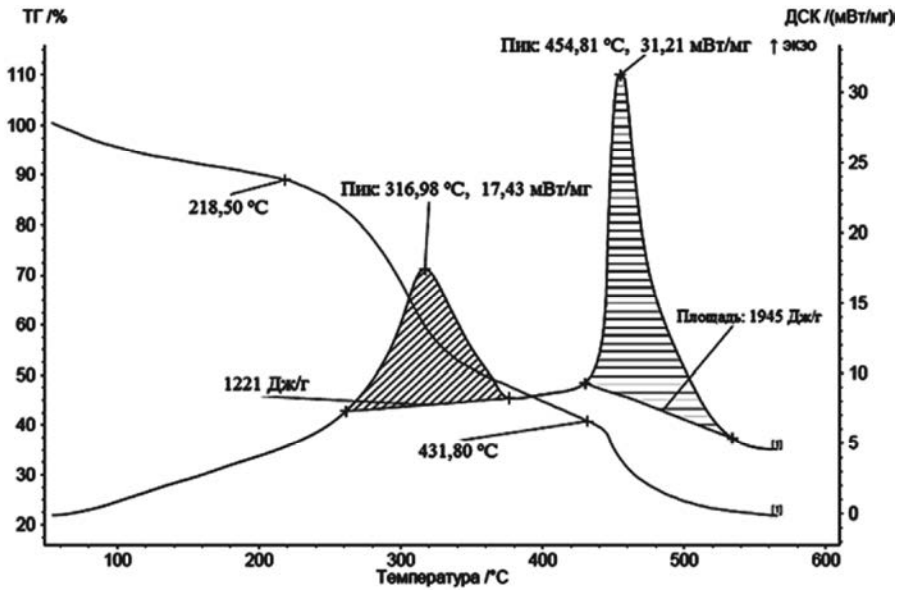


Рис. 4. Кривые ТГ и ДСК отходов хлопкового волокна

Процесс термолиза отходов имеет те же закономерности, что и для хлопкового волокна, но удельная теплота процесса намного выше для обоих периодов (1221 Дж/г и 1945 Дж/г). Температура первого пика термического разложения отходов ниже на 10 °С, чем для волокна, что, возможно, обусловлено меньшим размером дискретных частиц, но при этом выше температура второго пика из-за наличия большого количества минеральных веществ в отходах.

Таким образом, включение в композицию хлопковых отходов значительно повышает пожароопасные свойства материала. Одним из рациональных путей снижения пожарной опасности разрабатываемых композиционных плитных материалов с лигноцеллюлозным наполнителем является использование в качестве матрицы алюмохромфосфатного связующего $CrAl_3(H_2PO_4)_n$, (n = 8,8…9,6). Алюмохромфосфаты (АХФ) относятся к полифункциональным соединениям, снижающим горючесть материала. Они обладают способностью подавления реакции тлеющего горения лигноцеллюлозных материалов [5].

Были изготовлены образцы плитных материалов на основе наполнителя из невозвратных отходов прядения хлопка с добавкой алюмохромфосфатного связующего. Кривые ТГ и ДТГ образцов с добавкой АХФ представлены на рис. 5. При использовании АХФ тепловой эффект реакции термолиза снижается до 1300 Дж/г (в 2,4 раза меньше, чем эффект термолиза отходов хлопкового волокна).

Результаты определения степени повреждения по массе при горении образцов с добавкой АХФ представлены в табл. 3.

Использование алюмохромфосфатного связующего (при доле добавки не менее 4 % от массы наполнителя) позволяет снизить потерю массы при горении композита до 14…19 %, при удалении пламени образцы не поддерживают горения. Данные показатели соответствуют группе горючести Г1. Нормативные значения параметров горючести строительных материалов (согласно статье 13 Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») представлены в табл. 4.

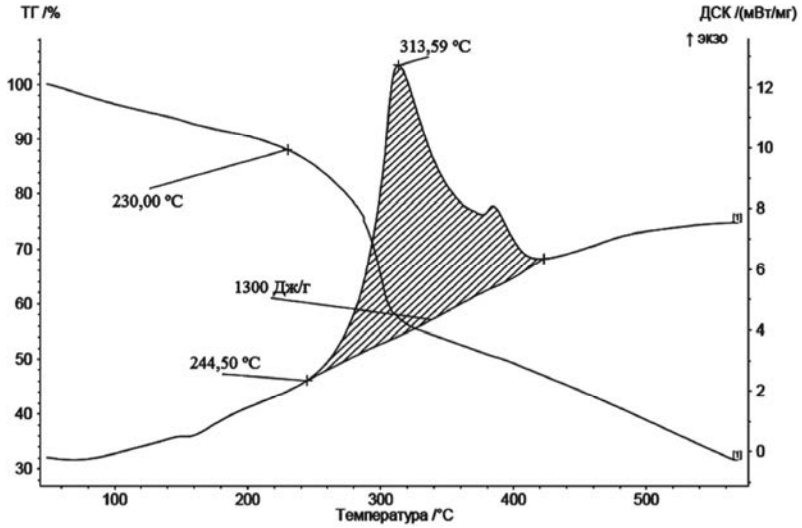


Рис. 5. Кривые ТГ и ДТГ композита с наполнителем из отходов хлопкового волокна

Таблица 3

Результаты определения степени повреждения по массе при горении

Показатель	Расход АХФ, % от массы наполнителя							
	2	4	8	12	16	20	24	30
Степень повреждения по массе при горении, %	20,34	19,12	18,54	17,48	16,76	16,39	14,67	14,37

Таблица 4

Параметры и группы горючести материалов

Группа горючести	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов, °С	Степень повреждения по длине, %	Степень повреждения по массе, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	≤ 135	≤ 65	≤20	0
Г2	≤ 125	≤ 85	≤50	≤30
Г3	≤ 450	>85	≤50	≤300
Г4	>450	>85	>50	>300

Высокая (более 50 %) степень повреждения по массе при горении композиционных плит на основе невозвратных отходов хлопка обусловлена повышенной горючестью материала наполнителя, в основе которой лежат процессы дегидратации, окисления и термической деструкции целлюлозы.

Таким образом, для изготовления теплоизоляционных композиционных плитных материалов из невозвратных отходов производства хлопкового волокна рационально использовать алюмохромфосфатное связующее, что позволяет получить материал с продолжительностью самостоятельного горения 0 с, со степенью повреждения по массе не более 20 %; значения показателей отвечают группе горючести материалов Г1.

Список библиографических ссылок

1. Сусоева И. В., Вахнина Т. Н., Ибрагимов А. М. Исследование физико-механических свойств строительных композиционных материалов на основе пылевидных лигноцеллюлозных отходов текстильных предприятий // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2016. № 1 (36). С. 73–75.
2. Солдатов Д. А., Хозин В. Г. Теплоизоляционные материалы на основе соломы // Известия КГАСУ. 2013. № 1 (23). С. 197–202.
3. Солдатов Д. А., Абдрахманова Л. А., Старовойтова И. А. Модификация гибридных связующих для получения теплоизоляционных и конструкционных материалов // Известия КГАСУ. 2013. № 1 (23). С. 192–197.

4. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние естественного старения на физико-химические и пожароопасные свойства древесины // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 9 (158) С. 206–217.
5. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
6. Принцева М. Ю., Чешко И. Д. Термический анализ и инфракрасная спектроскопия газообразных продуктов термической деструкции в экспертном исследовании антипирированной древесины // Пожарная безопасность. 2014. № 3. С. 96–101.
7. Шестак Я. Теория термического анализа. М. : Мир, 1987. 456 с.
8. Андреева Е. Д., Принцева М. Ю., Чешко И. Д. Применение метода инфракрасной спектроскопии для исследования антипирированной древесины // Пожарная безопасность. 2013. № 4. С. 69–73.
9. Аносова Е. Б., Васин А. Я., Ляшенко С. М., Маринина Л. К., Гаджиев Г. Г. Термическая устойчивость и пожаровзрывоопасность продуктов и полупродуктов синтеза лекарственных препаратов // Пожарная безопасность. 2016. № 1. С. 163–169.
10. Rahman M. Chemical treatments of cotton linter cellulose fiber for composite application // American chemical science journal. 2016. № 16 (4). P. 1–7.
11. Emanoel Henrique Portella Influence of stacking sequence on the mechanical and dynamic mechanical properties of cotton/glass fiber reinforced polyester // Composites Materials Research. 2016. № 19 (3). P. 542–547.
12. Thi Thu Loan. Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices // Composites Science and Technology. 2006. Vol. 66, Issues 7-8. P. 952–963.
13. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб. : Лань, 2010. 624 с.
14. Zhang T. Investigation of biodegradablen on woven composites based on cotton, bagasse and other annual plants. 2004. URL: http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-07072004-124535/unrestricted/Zhang_thesis.pdf (дата обращения: 12.12.2016).
15. Портнов Ф. А., Покровская Е. Н. Термодинамические параметры поверхностного модифицирования древесины : сб. ст. Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса сборник научных трудов III Международной научно-технической конференции / КГТУ. Кострома, 2015. С. 29–32.
16. Вахнина Т. Н., Тихомиров Л. А. Повышение огнестойкости древесных композитов : сб. ст. Полимерные материалы пониженной горючести / ВоГТУ. Вологда, 2011. С. 96–98.
17. Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview // Composite Interfaces. 2001. Vol. 8. P. 313–343.
18. Сусоева И. В., Вахнина Т. Н., Ибрагимов А. М. Исследование интенсивности образования пылевидных отходов текстильных предприятий, используемых для производства строительных лигноцеллюлозных композиционных материалов // Технология текстильной промышленности. 2016. № 2 (362). С. 219–222.

Vachnina T.N. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: t_vachnina@mail.ru
Susoeva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: i.susoeva@yandex.ru
Kostroma state University
The organization address: 156005, Russia, Kostroma, Dzerzhinsky st., 17
Anosowa E.B. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru
Kapranov A.V. – post-graduate student, assistant
E-mail: alex15109@ yandex.ru
Civil Defence Academy EMERCOM of Russia
The organization address: 141435, Russia, Himki, microdistrict Novogorsk

Rating of thermal degradation of lignocellulosic fillers and composite materials on their basis

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to assess the fire properties of lignocellulosic fillers and composite plates based on them to reduce the Flammability of the material.

Results. In the work the obtained results determine the degree of damage by weight when burning in «ceramic box» samples of composite material with a filler of non-refundable pulverized waste production of cotton fiber. To assess the combustibility of the material of the filler used, thermal analysis of cotton fiber and non-waste production – the curves of thermogravimetry and differential scanning calorimetry, obtained IR spectra of thermolysis products of materials.

Conclusions. High (50 %) damage degree in mass during the combustion of composite panels based on non-returnable cotton waste due to increased Flammability of the material filler, which is based on the processes of dehydration, oxidation and thermal degradation of cellulose. Recommended for the manufacture of flameproof composite plate materials of unrecoverable waste production of cotton fiber to use lomographische binder. This allows to obtain a composite Board material on the basis of irrevocable pulverized waste carded, cotton fibres, having a loss of mass during heat exposure corresponding to the Flammability group G1 according to GOST 30244-94.

Keywords: lignocellulosic waste, composite materials, differential scanning calorimetry.

References

1. Susoeva I. V., Vahnina T. N., Ibragimov A. M. The study of physical and mechanical properties construction of composite materials on the basis of powdered lignocellulosic waste textile enterprises // Vestnik KGTU. 2016. № 1 (36). P. 73–75.
2. Soldatov D. A., Hozin V. G. Heat-Insulating materials based on straw // Izvestiya KGASU. 2013. № 1 (23). P. 197–202.
3. Soldatov D. A., Abdrahmanova L. A., Starovoitova I. A. Modification of the hybrid binder for insulation and construction materials // Izvestiya KGASU. 2013. № 1 (23). P. 192–197.
4. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Influence of natural aging on the physico-chemical and fire properties of wood // Izvestiya UFU. Tehnicheskie nauki. 2014. № 9 (158) P. 206–217.
5. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Combustion of wood and its flammable properties. M. : Academia GPS MCHS Russia, 2010. 262 p.
6. Printsev M. Yu., Cheshko I. D. Thermal analysis and infrared spectroscopy of gaseous products of thermal degradation in expertise fireproof wood // Pojarnay bezopasnost. 2014. № 3. P. 96–101.
7. Shestak J. Thermal analysis theory. M. : Mir, 1987. 456 p.
8. Andreeva E. D., Printsev M. Yu., Cheshko I. D. Application of the method of infrared spectroscopy for the study fireproof wood // Pojarnay bezopasnost. 2013. № 4. P. 69–73.
9. Anosova E. B., Vasin A. I., Lyashenko S. M., Marinin L. K., Gadzhiev G. G. Thermal stability and fire and explosion hazard products and intermediates for the synthesis of drugs // Pojarnay bezopasnost. 2016. № 1. P. 163–169.
10. Rahman M. Chemical treatments of cotton linter cellulose fiber for composite application // American chemical science journal. 2016. № 16 (4). P. 1–7.
11. Emanoel Henrique Portella Influence of stacking sequence on the mechanical and dynamic mechanical properties of cotton/glass fiber reinforced polyester // Composites Materials Research. 2016. № 19 (3). P. 542–547.
12. Thi Thu Loan. Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices // Composites Science and Technology. 2006. Vol. 66, Issues 7-8. P. 952–963.

13. Azarov V. I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. Wood Chemistry and synthetic polymers. SPb. : Lan, 2010. 624 p.
14. Zhang T. Investigation of biodegradablen on woven composites based on cotton, bagasse and other annual plants. 2004. URL: http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-07072004-124535/unrestricted/Zhang_thesis.pdf (reference date: 12.12.2016).
15. Portnov F. A., Pokrovskaya E. N. Thermodynamic parameters of surface modification of wood : collection of articles of Topical problems and prospects of timber industry complex development collection of scientific papers III International scientific and technical conference / KGTU. Kostroma, 2015. P. 29–32.
16. Vahnina T. N., Tihomirov L. A. Improvement of the fire resistance of wood composites : a collection of articles of Polymeric materials of low Flammability / VSTU. Vologda, 2011. P. 96–98.
17. Mohanty A K, Misra M., Drzal L. T. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview // Composite Interfaces. 2001. Vol. 8. P. 313–343.
18. Susoeva I. V., Vahnina T. N., Ibragimov A. M. Education research intensity of dust waste textile companies used for the production of lignocellulosic construction composite materials // Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2016. № 2 (362). P. 219–222.

УДК 691.545
Ермилова Е.Ю. – аспирант
E-mail: lizabeta_91@list.ru
Камалова З.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: zlesik@mail.ru
Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор
E-mail: rahimov@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Гуляева Р.И. – кандидат химических наук, старший научный сотрудник
E-mail: gulroza@mail.ru
Институт металлургии Уральского отделения Российской Академии Наук
Адрес организации: 620016, Россия, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101

Исследование влияния комплексных добавок на основе карбонатных пород и термоактивированной полиминеральной глины на состав продуктов гидратации композиционного цементного камня

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы явилось исследование влияния комплексных добавок на основе термоактивированной глины Новоорского месторождения Оренбургской области и известняка Добрятинского месторождения Владимирской области (с содержанием кальцита 99 %) на продукты гидратации композиционного цементного камня в возрасте 28 суток.

Результаты. С помощью рентгенофазового анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии установлен состав продуктов гидратации композиционного цементного камня с комплексной добавкой на основе термоактивированной глины и известняка в возрасте 28 суток твердения.

Выводы. Установлено, что введение 20 % комплексной добавки на основе термоактивированной полиминеральной глины и известняка приводит к существенному снижению содержания портландита, увеличению количества новообразований в виде низкоосновных гидросиликатов кальция и гидрокарбоалюминатов кальция, стабилизирующих эттрингит, а также гидрокарбосиликатов кальция, находящихся в аморфной фазе, что приводит к увеличению прочностных характеристик. Это также возможно благодаря доступному алюминию из термоактивированных глин.

Ключевые слова: комплексные добавки, карбонатные породы, известняк, полиминеральная термоактивированная глина, композиционный цемент, цементный камень, РФА, ДСК.

Введение

Несмотря на введение с 2003 года в России ГОСТа 31108-2003, согласно которому из 12 возможных разновидностей портландцемента, 11 – портландцементы с содержанием минеральных добавок до 65 %, на сегодняшний день среднее содержание минеральных добавок в портландцементах в России составляет всего лишь 13 % [1], в то время как общемировой показатель находится на уровне 20 % [2]. Причиной этому является, с одной стороны, неумение и осторожность производителей портландцемента использовать научно-технические разработки, с другой, отсутствие доступных минеральных добавок, обладающих большими запасами, которые бы смогли удовлетворить растущую в них потребность.

В качестве одной из наиболее эффективных минеральных добавок учеными считается продукт прокаливания каолиновых глин – метакаолин, однако, его запасы ограниченны не только территориально, но и количественно. Так, на долю РФ, занимающей примерно 1/9 площади суши всего земного шара, приходится всего лишь 3 % от общемировых запасов каолина. Поэтому, труды ученых в последнее время направлены на поиск и разработку эффективных пуццолановых материалов из термоактивированных

полиминеральных глин с малым содержанием каолинита и его полным отсутствием [3-5]. Вместе с тем, установлено, что совместное использование полиминеральных глин с добавками карбонатных пород приводит к возникновению синергетического эффекта, выражающегося в повышении технико-эксплуатационных показателей получаемых материалов [6-10]. В предыдущей статье [8] нами были опубликованы результаты исследований комплексных добавок на основе полиминеральной каолиновой глины и карбонатных пород на свойства композиционного цементного камня, согласно которым наибольшая эффективность была достигнута для карбонатной породы с содержанием кальцита 99 %. Для изучения влияния комплексных добавок на продукты гидратации композиционного цементного камня были проведены рентгенофазовый анализ и дифференциально-сканирующая калориметрия.

Цель работы

Исследование влияния комплексных добавок на основе термоактивированной глины и известняка на состав продуктов гидратации композиционного цементного камня в возрасте 28 суток.

Экспериментальная часть

Образцы изготавливались на портландцементе ОАО «Вольскцемент» марки ЦЕМ I 42,5 Н (табл. 1), химический состав которого представлен в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики Вольского портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н

Прочность на сжатие МПа		**Свойства**	
3 суток	33,5	Уд. поверхность (по Блейну)	345 $м^2$/кг
28 суток	51,0	Насыпная плотность	1000 г/л
После пропаривания	42,0	Нормальная густота	27,5 %
		Начало схватывания	2:50 ч:мин
		Конец схватывания	4:10 ч:мин
Минералогический состав			
Алит C_3S	Белит C_2S	Алюминаты C_3A	Алюмоферриты C_4AF
67,0	11,0	4,0	15,0

Таблица 2

Химический состав экспериментальных материалов

Химический состав (%)	**Вольский ЦЕМ I 42,5Н**	**Новоорская глина**	**Добрятинский известняк**
CaO	63,0	-	54,7
SiO_2	20,5	54,1	1,1
Al_2O_3	4,5	44,8	0,1
Fe_2O_3	4,5	0,1	0,07
MgO	1,5	-	1,0
SO_3	3,0	-	-
Na_2O	-	-	-
K_2O	-	-	-
$Na_2O_{экв}$	0,7	-	-
TiO_2	-	-	-
FeO	-	-	-
MnO	-	-	-
P_2O_5	-	-	-

Для исследований была принята глина Новоорского месторождения Оренбургской области с содержанием каолинита 82,3 % и кварца 17,7 %. Химический состав исходного глинистого сырья приведен в табл. 2. Термоактивация глины выполнялась в лабораторной камерной электропечи SNOL-7,2/1100 по подобранному ранее режиму

обжига – 720 ºС 1 час. В качестве карбонатной породы был выбран известняк Добрятинского месторождения Владимирской области с содержанием кальцита 100 % (средняя плотность 2500 кг/м^3). Химический состав приведен в табл. 2. Выбранные материалы размалывались в шаровой лабораторной мельнице до оптимальной удельной поверхности 500 м^2/кг, подобранной экспериментально.

Для проведения эксперимента из теста нормальной густоты готовились образцы-кубики размерами 2х2х2 см, которые хранились в воде в течение 28 суток. Определение минералогического состава выбранных добавок, изменения и идентификация продуктов новообразований в процессе твердения производились с помощью рентгенофазового анализа на автоматическом рентгенодифрактометре D2 Phaser (фирмы Bruker). Использовалось CuKα излучение, монохроматизированное (λ(Cu-Kα) = 1,54184 Å) германиевым изогнутым монохроматором Йохансона, режим работы рентгеновской трубки 40 kV, 40 mA. Эксперименты выполнялись при комнатной температуре в геометрии Брэгг-Брентано с плоским образцом. Анализ и построение дифрактограмм производились с использованием программы Bruker Diffrac Eva.

Эксперименты по термическому анализу образцов цементного камня проведились методом совмещенной термогравиметрии (ТГ) и сканирующей дифференциальной калориметрии (ДСК) с использованием термоанализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter при непрерывном нагреве (от 40 до 1000^{o}C) образцов массой около 35-40 мг со скоростью 10^{o}C/мин в потоке (50 мл/мин) воздуха в тиглях из алунда с масс-спектрометрическим контролем газовой фазы.

Результаты и обсуждение

Комплексная добавка вводилась в количестве 20 % от массы портландцемента. Содержание карбонатной породы в комплексной добавке на основе полученных данных [8] составило 30 % от массы добавки.

Рентгенофазовый анализ образцов цементного камня

На рис. 1 представлен минеральный состав бездобавочного контрольного образца цементного камня по данным рентгенофазового анализа. Его состав характеризуется большими пиками непрореагировавших минералов клинкера – алита (d =(2,748; 2,609; 2,316; 2,188)·Å) и белита (d=(4,655; 2,787; 2,777; 2,293; 2,195; 2,050; 2,028; 1,980)·Å). Дифракционные максимумы с межплоскостными расстояниями d=(7,312; 4,260; 3,178; 2,672)·Å соответствуют гидроалюмосиликатам кальция. Наблюдается присутствие небольшого содержания кальцита (d=(3,037; 2,494; 1,913; 1,877)·Å), непрореагировавшего гипса (d=(7,818; 4,113; 3,058)·Å) и образовавшегося эттрингита (d=(9,826; 5,934)·Å). Присутствие гидромоносульфоалюмината кальция характеризуется дифракционными максимумами с межплоскостными расстояниями d=(9,002; 3,432; 2,973)·Å.

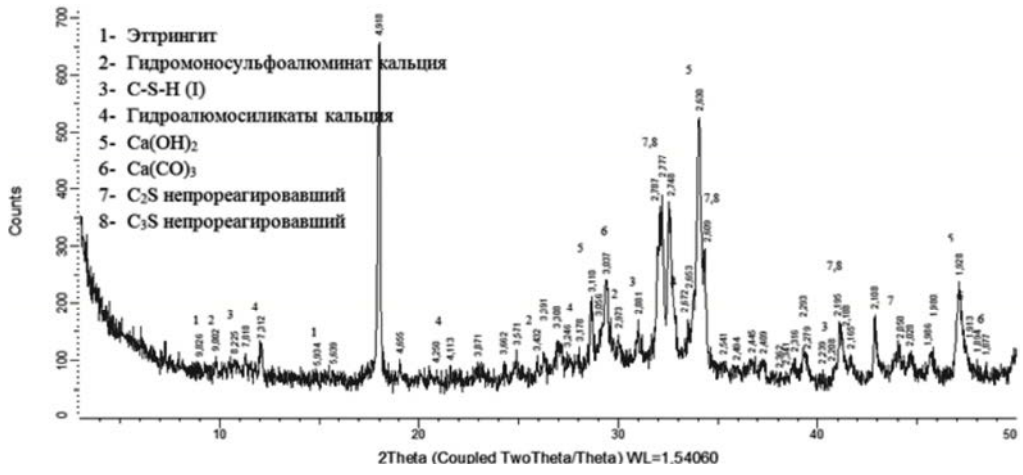


Рис. 1. Рентгенограмма образца контрольного состава цементного камня

Дифракционные максимумы с межплоскостными расстояниями d=(8,225; 3,871; 2,881; 2,208)·Å характерны для низкоосновных гидросиликатов кальция C–S–H (I).

Как видно на рис. 1, количество портландита значительно, чему соответствуют дифракционные максимумы с межплоскостными расстояниями d=(4,918; 3,110; 2,630; 1,928)·Å. Содержание аморфной фазы составляет 34,7 % от массы образца.

На рис. 2 представлена рентгенограмма образца композиционного цементного камня с 20 % комплексной минеральной добавкой на основе термоактивированной каолиновой Новоорской глины и Добрятинского известняка с содержанием кальцита 99 %. Большая часть дифракционных максимумов с наибольшей интенсивностью относится к карбонату кальция известняка с межплоскостными расстояниями d=(3,859; 3,041; 2,494; 2,283; 2,096; 1,877)·Å.

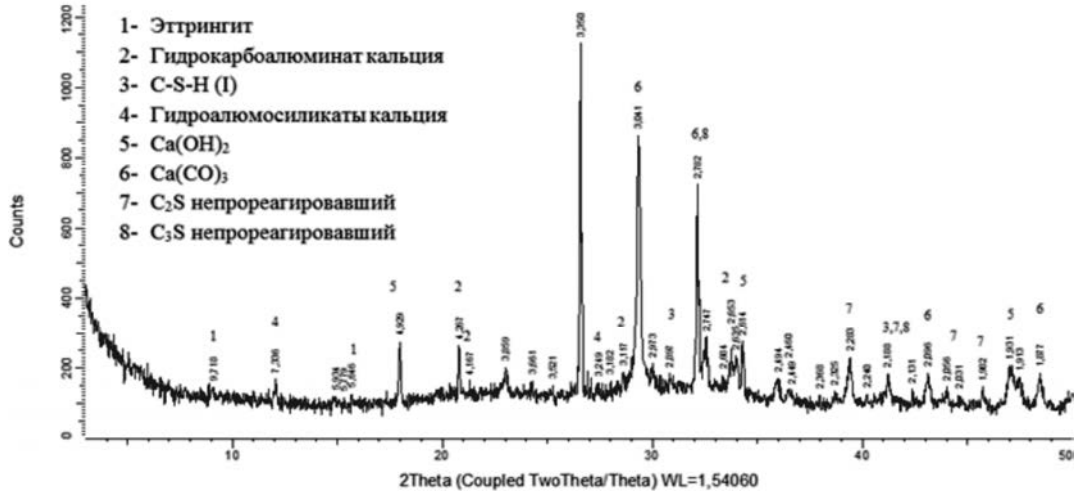


Рис. 2. Рентгенограмма образца композиционного цементного камня с 20 % комплексной добавки

Дифрактограмма указывает на большое наличие карбоалюминатных фаз. Наблюдается полный переход гидромоносульфоалюмината кальция ($3CaO·Al_2O_3·CaSO_4·(11\text{-}12)H_2O$) в портландцементе на поверхности частиц $CaCO_3$ в гидромонокарбоалюминаты кальция ($3CaO·Al_2O_3·CaCO_3·(11\text{-}12)H_2O$) [11], которые характеризуются дифракционными максимумами с межплоскостными расстояниями d=(4,267; 4,167; 3,661; 3,521; 3,117; 2,653)·Å [10]. Стоит отметить, количество известняка и его активность достаточны, чтобы весь гидрополукарбоалюминат ($3CaO·Al_2O_3·0{,}5CaCO_3·(11\text{-}12)H_2O$) превратился в гидромонокарбоалюминат кальция [10].

В составе композиционного цементного камня с комплексной добавкой наблюдается небольшое содержание эттрингита (d=(9,718; 5,646)·Å), примерно такое же, как и у контрольного состава. Содержание портландита (d=(4,929; 2,614; 1,931)·Å) почти в 5 раз ниже по сравнению с контрольным образцом. Дифракционные максимумы с межплоскостными расстояниями d=(7,336; 3,249)·Å соответствуют гидроалюмосиликатам кальция, содержание которых меньше, чем в контрольном образце. Практически такое же количество клинкерных минералов, как в составе контрольного образца, остается негидратированными, о чем свидетельствуют дифракционные максимумы с межплоскостными расстояниями d=(2,782; 2,449; 2,188; 1,982)·Å, характерными для белита и d=(2,747; 2,635)·Å, характерными для алита. Большая часть новообразований находится в виде низкоосновных слабозакристаллизованных гидросиликатов C–S–H (I) (d=(2,897; 2,188)·Å) и аморфных гидроалюмосиликатов типа C–A–S–H и гидрокарбосиликатов [12], что подтверждается увеличением аморфной фазы до 43 %, что на 10 % выше по сравнению с контрольным образцом.

Дифференциально-сканирующая калориметрия образцов цементного камня

На рис. 3 представлена термограмма образца контрольного состава цементного камня. При 70,03 ºС наблюдается эндотермический эффект, который может быть связан с потерей свободной воды из цементного камня [13]. Также на кривой ДТГ видно, что

рядом находится еще один эндоэффект (100-125 ºС), который не совсем четко выражен на кривой ДСК. Он связан с потерей адсорбционной воды [13]. Небольшой эндотермический пик на кривой ДСК в диапазоне температур 125-150 ºС связан с дегидратацией эттрингита [13,14]. Эндотермический эффект с температурном максимумом при 460,65 ºС характеризуется разложением гидроксида кальция с потерей массы 1,86 %.

Эндотермический эффект с температурным максимумом при 680,0 ºС характеризуется разложением карбоната кальция, образовавшегося при твердении образца, с потерей массы 4,82 % [14]. В целом, при нагревании образца до 1000 ºС общая потеря массы составляет 20,54 %.

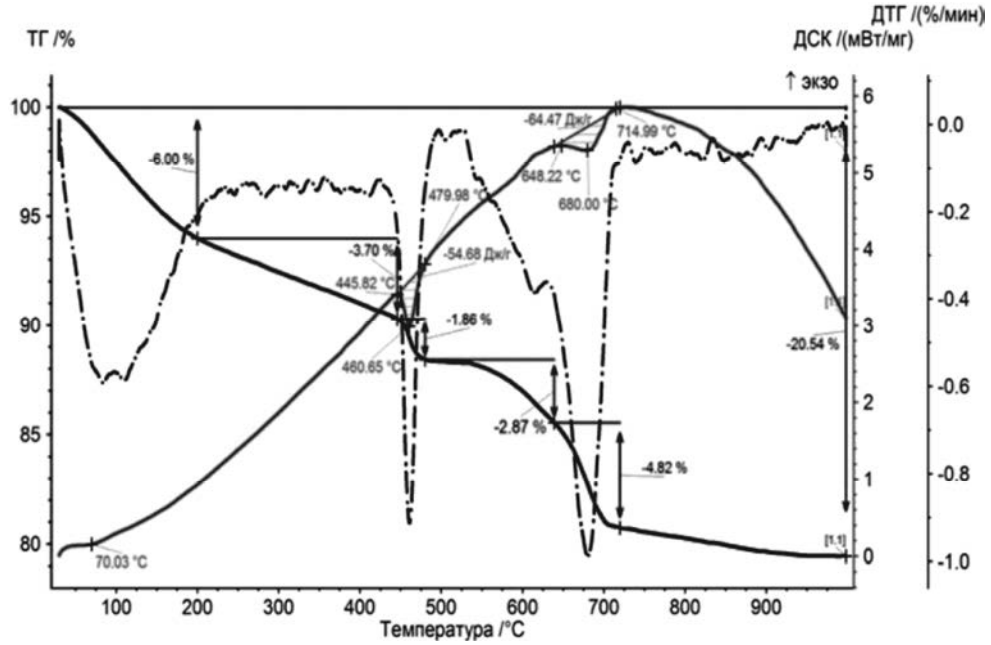


Рис. 3. Термограмма образца цементного камня контрольного состава

На рис. 4 на термограмме образца композиционного цементного камня с 20 % комплексной добавкой наблюдается эндотермический эффект с температурным максимумом при 108,1 ºС, который объединяет несколько эндоэффектов, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Он связан с потерей свободной и адсорбционной воды низкоосновными гидросиликатами типа С–S–H (I) [13], а также алюминийзамещенными гидросиликатами. В диапазоне температур 150-175 ºС небольшой эндоэффект связан с дегидратацией эттрингита. Потеря массы при до 317,4 ºС составляет 8,96 %.

Следующий эндотермический эффект наблюдается при температурном максимуме при 449,0 ºС и характеризуется разложением портландита [14]. Величина теплового эффекта разложения портландита составляет 42,03 Дж/г, что на 13 Дж/г меньше по сравнению с образцом контрольного состава. Этот факт свидетельствует о происходящей пуццолановой реакции.

Эндотермический эффект с температурным максимумом при 740,6 ºС характеризуется разложением реликтового карбоната кальция известняка. Небольшой выступ в диапазоне температур 680-700 ºС характеризует разложение образовавшегося карбоната кальция в процессе гидратации и твердения цеметного камня с комплексной добавкой. Потеря массы составляет 6,78 %. В целом, при нагревании образца до 1000 ºС общая потеря массы составляет 19,44 %.

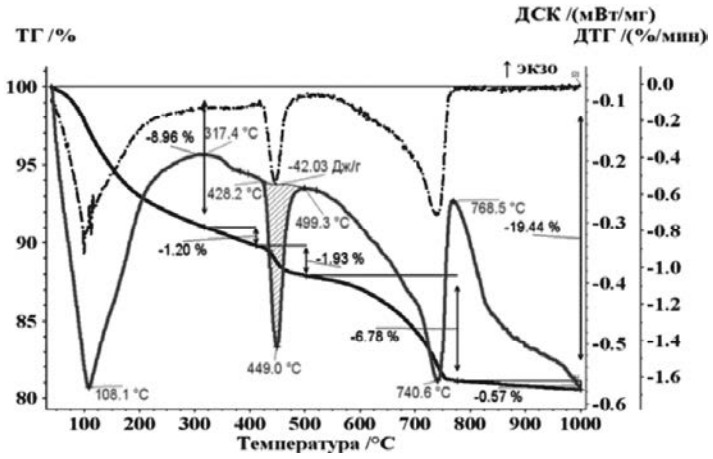


Рис. 4. Термограмма образца композиционного цементного камня с 20 % комплексной добавкой

Заключение

С помощью методов рентгенофазоваого анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии показано, что введение комплексных добавок на основе полиминеральной термоактивированной глины с содержанием каолинита 82 % и карбонатной породы с содержанием кальцита 99 % приводит к образованию гидрокарбоалюминатов кальция, стабилизирующих образование эттрингита и придающих прочность цементному камню. Также установлено, что введение комплексных добавок приводит к увеличению количества низкоосновных гидросиликатов кальция типа C–S–H (I) и гидрокарбосиликатов кальция, находящихся в аморфном состоянии.

Список библиографических ссылок

1. Fleiger K., Hoenig V., Wolter A. Oxyfuel: prospects and limits // International Cement Review. 2014. № 8. P. 71–74.
2. Скобло Л. И. Цементная промышленность на постсоветском пространстве – сегодня: взгляд изнутри // Цемент и его применение. 2016. № 1. С. 28–29.
3. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R. D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 1244–1256.
4. Шульце С. Е., Рикерт Й. Свойства цементов с прокаленными глинами в качестве основного компонента // Цемент и его применение. 2016. № 1. С. 152–156.
5. Ермилова Е. Ю., Камалова З. А., Рахимов Р. З., Стоянов О. В., Савинков С. А. Термически-активированная глина как альтернативная замена метакаолина в композиционных портландцементах // Вестник Казанского технологического университета. 2015. т. 18. № 4. С. 175–179.
6. Скибстед Й., Даи З., Расмуссен К. Е., Гарг Н. Термическая активация и пуццолановая активность кальцинированных глин для использования в портландцементах с добавками // Цемент и его применение. 2016. № 1. С. 144–151.
7. Кунтер В., Даи Ч., Скибстед Й. Термодинамическое моделирование в системе портландцемент–метакаолин–известняк: потенциальные факторы, влияющие на механические свойства // Цемент и его применение. 2015. № 3. С. 119–124.
8. Ермилова Е. Ю., Камалова З. А., Гильфанов Р. М. Исследование влияния комплексных добавок на основе термоактивированных глин и карбонатных пород на свойства композиционного цемента // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 344–350.
9. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone// Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. P. 1579–1589.
10. Стеенберг М., Херфорт Д., Поульсен С. Л., Скибстед Й., Дамтофт Й. С. Композиционный цемент на основе портландцемента, известняка и прокаленной глины // Цемент и его применение. 2014. № 5. С. 44–49.

11. Ramachandran V. C., Chun mei Z. Influence of $CaCO_3$ on hydration and microstructural charakteristies of tricalcium silicate, Cemento. 1986. № 3. P. 129–152.
12. Козлова В. К., Маноха А. М., Скакун В. П., Малова Е. Ю., Божок Е. В. Особенности состава продуктов гидратации композиционных портландцементов с карбонатсодержащими добавками // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 102–105.
13. Макарова И. А., Лохова Н. А. Физико-химические методы исследования строительных материалов: учебное пособие. 2-е изд. перераб. и доп. Братск: Издательство Братского государственного университета, 2011. 139 с.
14. Рамачандран В. С. Применение дифференциально-термического анализа в химии цементов. М. : Стройиздат, 1977. 408 с.

Ermilova E.Yu. – post-graduate student
E-mail: lizabeta_91@list.ru
Kamalova Z.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zlesik@mail.ru
Rakhimov R.Z. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: rahimov@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Gulyaeva R.I. – candidate of chemical sciences, senior researcher
E-mail: gulroza@mail.ru
Institute of Metallurgy Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
The organization address: 620016, Russia, Ekaterinburg, Amundsen st., 101

The research of the influence of complex additives based on calcined clays and carbonate fillers on the composition of hydration products of blended cement stone

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to study the influence of complex additives based on the calcined clay of Novoorsk deposits from Orenburg region and limestone of Dobryatinsk deposits from the Vladimir region (with a content of calcite 99 %) on the hydration products of blended cement stone at the age of 28 days.

Results. Using X-ray diffraction and differential scanning calorimetry the composition of hydration products of blended cement stone with a complex additive based on the calcined clay and limestone at the age of 28 days of curing was studied.

Conclusions. It is established that the introduction the 20 % of the complex additive based on the calcined clay and limestone leads to a significant decrease the content of portlandite, an increase in the number of tumors in the form of low-calcium hydrosilicates and calcium hidrocarboalumosilicates, stabilizing ettringite and calcium hydrocarbosilicates located in the amorphous phase, as visible an increase in compressive strength. This effect was amplified due to the additional alumina provided by the calcined clay reaction.

Keywords: complex additive, carbonate filler, calcined clays, blended cement, limestone, cement stone, XRD, DSC.

References

1. Fleiger K., Hoenig V., Wolter A. Oxyfuel: prospects and limits // International Cement Review. 2014. № 8. P. 71–74.
2. Scoble L. I. Cement industry in the former Soviet Union today: an inside look // Tsement i ego primenenie. 2016. № 1. P. 28–29.
3. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R. D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 1244–1256.
4. Schulze S. E., Rickert Y. The properties of cements with calcined clays as a main component // Tsement i ego primenenie. 2016. № 1. P. 152–156.

5. Ermilova E. Yu., Kamalova Z. A., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. Savinkov S. A. Thermally-activated clay as an alternative replacement of metakaolin in composite Portland cement // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. vol. 18. № 4. P. 175–179.
6. Skibsted Y., Dai, Z., Rasmussen, K. E., Garg N. Thermal activation and pozzolanic activity of calcinated clay for use in Portland cement with additives // Tsement i ego primenenie, 2016, № 1. P. 144–151.
7. Kunter V., Dai Ch., Skibsted Y. Thermodynamic modeling in the system of Portland cement–metakaolin–limestone: potential factors affecting mechanical properties // Tsement i ego primenenie. 2015. № 3. P. 119–124.
8. Ermilova E. Yu., Kamalova Z. A., Gilfanov R. M. A study of the influence of complex additives based on the calcined clays and carbonate rocks on the properties of blended cement // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 344–350.
9. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone// Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. P. 1579–1589.
10. Steenbergen M., Herford D., Poulsen S. L., Skibsted Y., Damtoft Y. C. Blended cement based on Portland cement, limestone and calcined clay // Cement i ego primenenie. 2014. № 5. P. 44–49.
11. Ramachandran V. C., Chun mei Z. Influence of $CaCO_3$ on hydration and microstructural charakteristies of tricalcium silicate // Cemento. 1986. № 3. P. 129–152.
12. Kozlova V. K., Manoha A. M., Likhosherstov A. A., Manuilov E. V., Malova E. Y. Features composition of hydration products of Portland cement with a carbonate-composite additives // Cement i ego primenenie. 2014. № 4. P. 103–105.
13. Makarova I. A., Lokhova N. Physico-chemical methods for research of construction materials: training manual. Bratsk : Publisher Bratsk State University, 2011. 139 p.
14. Ramachandran, V. S. Application of differential thermal analysis in chemistry of cement. M. : Stroyizdat, 1977. 408 p.

УДК 535.33
Потапова Л.И. – кандидат химических наук, доцент
E-mail: ludmilapo@mail.ru
Фурер В.Л. – доктор химических наук, профессор
E-mail: furer@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Коваленко В.И. – доктор химических наук, профессор
E-mail: koval@iopc.ru
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8

Сравнительное исследование структуры и водородной связи в каликс[n]аренах (n = 4, 6, 8) методами ИК-спектроскопии и квантовой химии

Аннотация

Постановка задачи. Основная цель данной работы состояла в том, чтобы установить структуру каликс[n]аренов (n = 4, 6, 8) с помощью ИК-спектроскопии и теоретических расчетов.

Результаты. ИК-спектры каликсаренов измерены при различных температурах и интерпретированы. Во всех изученных каликсаренах образуется циклическая Н-связь. Геометрия молекул каликсаренов определена путем теоретических расчетов. Проведен геометрический анализ структуры молекул каликсаренов.

Выводы. Расчеты и эксперименты показывают, что молекула каликс[4]арена имеет форму конуса, каликс[6]арена – сжатого конуса, а каликс[8]арена – складчатой петли. Анализ нормальных колебаний каликс[4]арена проведен для интерпретации ИК-спектра. Наблюдаются только очень маленькие изменения интенсивностей полос в экспериментальных ИК-спектрах при переходе от каликс[4]арена к каликс[8]арену. Получено удовлетворительное соответствие между расчетом и опытными данными. Спектры каликсаренов очень похожи друг на друга.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, каликсарены, функционал плотности.

Каликсарены – макроциклические соединения, которые используются для очистки воды и ядерных отходов. Циклические молекулы каликсаренов содержат ОН-группы, участвующие в Н-связи. Хорошо известно [1], что в каликсаренах реализуется Н-связь, определяющая существование стабильного конформера, каждого каликсарена. Анализ структуры и Н-связывания в каликсаренах позволяет расширить границы их практического применения в медицине и для решения экологических проблем. Структура каликсаренов изучалась с помощью ядерного магнитного резонанса, инфракрасной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа [1]. ИК-спектроскопия является одним из самых информативных методов характеристики водородного связывания каликсаренов [2-10]. Однако, сила Н-связи в разных циклических структурах до сих пор не исследована (рис. 1).

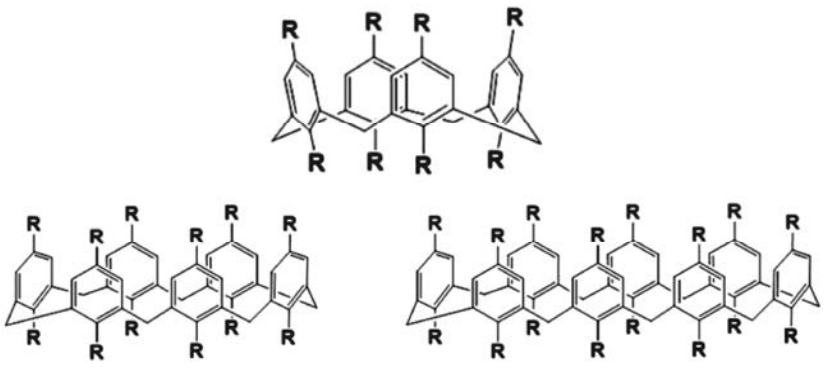


Рис. 1. Схематические формулы каликсаренов

В этой статье методы инфракрасной спектроскопии и квантовой химии используются для определения структуры каликс[n]аренов (n = 4, 6, 8). Мы попытались установить взаимосвязь между числом фенольных фрагментов, формой молекул каликсаренов и энергией Н-связи. Рассчитанные структурные параметры молекул каликсаренов и сопоставлены с результатами, полученными с помощью рентгеноструктурного анализа.

ИК-спектры в районе 4000-200 $см^{-1}$ записывались на спектрометре Вектор-22 и IFS66s фирмы Брукер с разрешением 4 $см^{-1}$. ИК-спектры образцов регистрировались в таблетках KBr.

Квантово-химический расчет молекул каликсаренов выполнен с использованием функционала B3LYP, базисного набора 6-31G*, программы Gaussian-09.

Рассчитанные структурные характеристики каликс[n]аренов соответствуют рентгеновским данным (рис. 2-4).

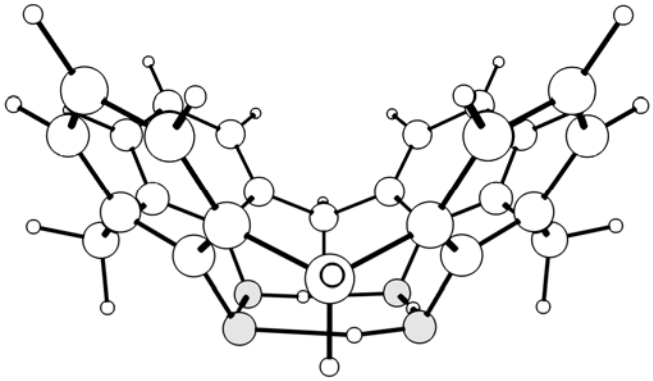


Рис. 2. Оптимальная геометрия каликс[4]арена

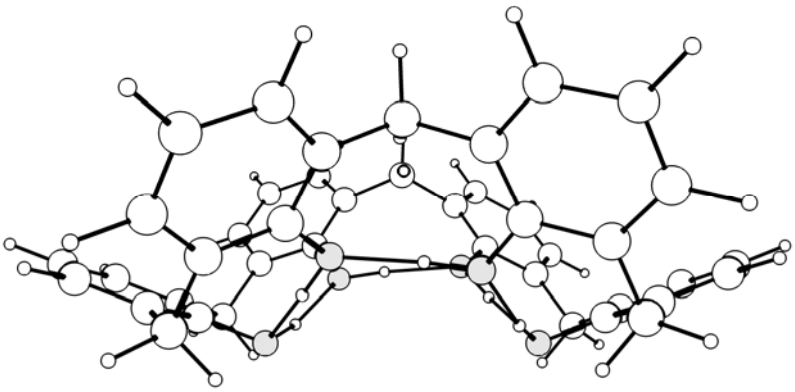


Рис. 3. Оптимальная геометрия каликс[6]арена

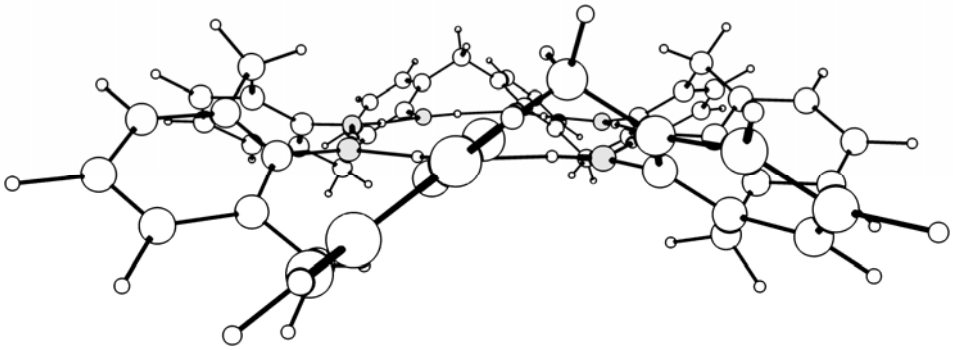
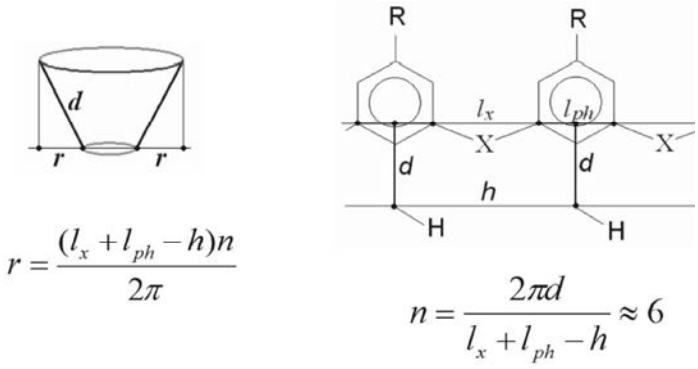


Рис. 4. Оптимальная геометрия каликс[8]арена

Согласно расчетам и экспериментам молекула каликс[4]арена имеет форму конуса, каликс[6]арена – сжатого конуса, а каликс[8]арена – складчатой петли. Согласно расчетам ближайшие атомы кислорода в каликсаренах удалены на 2,65; 2,63 и 2,72 Å для n = 4, 6, 8. Таким образом, самая прочная Н-связь реализуется в каликс[6]арене.

Мы провели геометрический анализ структуры молекул каликсаренов. Молекулы каликсаренов имеют форму усеченного конуса (рис. 5). Ковалентный макроцикл составлен из вписанных в большую окружность расстояний l_{ph} и l_x, полученных из теоретических расчетов. В каликс[4]арене длина окружности аппроксимирована значением $4(l_{ph} + l_x)$. Геометрические расчеты показывают, что конформация конус реализуется только для каликс[n]аренов с n < 6, для n > 6 наблюдается уплощение макроцикла. Для каликс[4]арена размер ковалентного макроцикла больше, чем размер Н-связанного макроцикла. Разница их радиусов меньше d (d – длина жестких связок) (рис. 5). Плоская структура каликс[4]арена не реализуется, так как в этом случае атомы кислорода соседних гидроксильных групп располагались бы слишком близко друг к другу. То есть конформация молекул каликсаренов такова, что позволяет реализацию оптимальной водородной связи и ковалентного цикла без пространственного напряжения.



$$r = \frac{(l_x + l_{ph} - h)n}{2\pi}$$

$$n = \frac{2\pi d}{l_x + l_{ph} - h} \approx 6$$

Рис. 5. Соотношение между геометрическими параметрами каликс[n]аренов (n = 4, 6, 8)

В каликс[6]арене размеры ковалентного и водородно-связанного цикла сопоставимы друг с другом, и молекула могла бы быть плоской. Однако ароматические фрагменты должны располагаться без пространственного напряжения. Поэтому шесть атомов кислорода находятся в конформации ванна. В случае каликс[6]арена конформер сжатый конус определяет расположение атомов кислорода.

В молекуле каликс[8]арена ароматические фрагменты поворачиваются таким образом, чтобы обеспечить образование оптимальной водородной связи, но так, чтобы не было напряжения в ковалентно-связанном макроцикле. Таким образом, водородно-связанный цикл в молекулах каликс[n]аренов определяет конформационное состояние молекулы, которое обеспечивает реализацию циклической водородной связи. Молекулы каликс[n]аренов с n > 6 по своей сути не являются чашами.

Рассчитанные и экспериментальные инфракрасные спектры каликс[4]арена представлены на рис. 6. Дублет полос 1593, 1607 $см^{-1}$ в инфракрасном спектре каликс[4]арена вызван валентными колебаниями связей CC_{ap}. Очень интенсивные в инфракрасном спектре каликс[4]арена полосы 1449, 1466 $см^{-1}$ описаны как CC_{ap} валентные колебания, смешанные с ССН и НСН деформацией. Для этих полос происходит некоторое смешение колебаний ароматических колец и метиленовых групп каликс[4]арена.

Полосы 1412, 1377 $см^{-1}$ и плечо 1357 $см^{-1}$ в инфракрасном спектре каликс[4]арена относятся к СОН и ССН деформационным колебаниям. Известно, что полоса деформационных колебаний δ(OH) сдвигается к высоким частотам при образовании водородной связи.

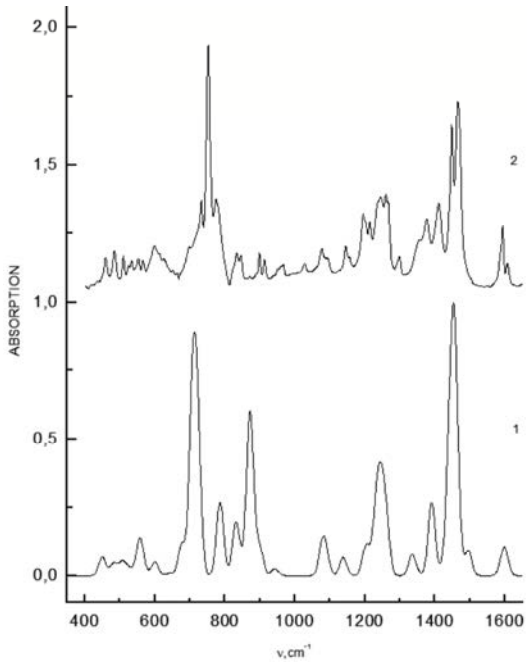


Рис. 6. Экспериментальный (2) и рассчитанный (1) ИК спектры каликс[4]арена

Двойной характер полос δ(OH) в ИК-спектре каликс[4]арена подтверждает реализацию конформации искаженный конус в кристаллических образцах каликсарена. В ИК-спектре раствора каликс[4]арена в CCl_4 наблюдается одинарная полоса 1422 $см^{-1}$. При нагревании образца каликс[4]арена от 16° до 180° С полоса δ(OH) сдвигается от 1412 до 1397 $см^{-1}$. Полосы 1077, 1196, 1261 $см^{-1}$ в инфракрасном спектре каликс[4]арена включают главным образом CO растяжение и COH деформационные колебания. Самая интенсивная полоса в инфракрасном спектре каликс[4]арена 753 $см^{-1}$ отнесена к CCC деформационным колебаниям. Полосы 207, 251, 269, 316, 326, 371, 388 $см^{-1}$ в инфракрасном спектре каликс[4]арена связаны с внеплоскими и плоскими деформационными колебаниями скелета молекулы.

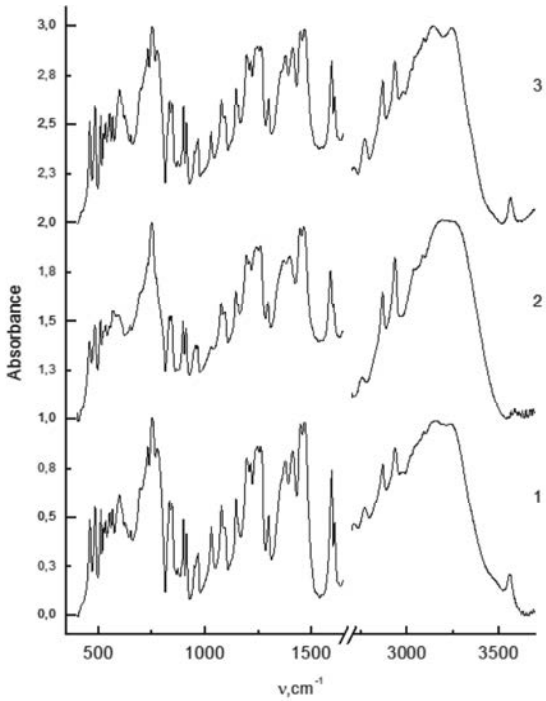


Рис. 7. Экспериментальные ИК-спектры кристаллического каликс[4]арена, зарегистрированные при комнатной температуре (1), при 180° С (2), и охлажденные до комнатной температуры (3)

Кроме каликс[4]арена, который является циклическим тетрамером производных фенола, содержащим четыре арильные группы, существуют еще каликс[6]арен и каликс[8]арен с шестью и восемью арильными группами, соединенными в кольцевую систему. Каликс[8]арен имеет самую слабую водородную связь с самой высокой частотой валентных колебаний ν(OH) и самой низкой частотой плоских деформационных колебаний δ(OH). Интересно отметить, что экспериментальные ИК-спектры изученных каликсаренов очень похожи друг на друга. Наблюдаются только очень маленькие изменения интенсивностей полос в экспериментальных ИК-спектрах при переходе от каликс[4]арена к каликс[8]арену. Метод ИК спектроскопии позволяет следить за малейшими изменениями прочности водородной связи в каликсаренах.

Рассмотрим изменение спектральной картины каликс[4]арена при высоких температурах. Плавное нагревание вплоть до 100-180° С приводит к небольшому сдвигу полосы νOH к более высоким частотам (рис. 7). Охлаждение образца до комнатной температуры ведет к заметному сужению полос по сравнению с первоначальным образцом. Во всем районе дифференциальные инфракрасные спектры каликс[4]арена не устойчивы. Но сравнение ИК-спектров, полученных при комнатной температуре, для нагретого и не нагретого образцов обнаруживает расщепление полос 1400, 1299 и 900 $см^{-1}$ после нагревания, спектры становятся более разрешенными.

Очевидно, что неизменность спектральной картины после нагревания до 180° С может быть связано с сохранением конформации конус в каликс[4]арене. Устранение молекул воды и растворителей сопровождается уменьшением дефектности кристаллической упаковки, что отражается на более разрешенной спектральной картине, и приводит к сужению полос. Важная информация содержится в величине сдвига полосы νOH при нагревании. Во-первых, эта величина отражает степень теплового движения ареновых фрагментов в кристалле. Во-вторых, различное поведение компонент полосы νOH указывает на различия в упаковке удаленных фенольных фрагментов каликс[4]арена. В любом случае, ИК-спектральный анализ влияния температуры на каликс[4]арены позволяет увеличить количество полезной информации, касающейся небольших изменений их конформации и фазового состояния и изменения рецепторных свойств.

В заключение, исследование инфракрасных спектров в сочетании с теоретическим анализом дает детальное описание динамики соединений каликсаренов. Анализ интенсивностей полос обнаружил, что наиболее Н-связью характеризуется *пара-трет*-бутилкаликс[6]арен в разбавленном растворе. Образование более прочной водородной связи в растворе *пара-трет*-бутилкаликс[6]арена можно объяснить за счет отсутствия стерических препятствий, которые реализуются в кристаллическом состоянии.

Список библиографических ссылок

1. Gutsche C. D. Calixarenes. Cambridge, 1989. 223 p.
2. Bőhmer V. Calixarenes, Macrocycles with (Almost) Unlimited Possibilities // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1995. V. 34. P. 713–745.
3. Коваленко В. И., Чернова А. В., Борисоглебская Е. И., Кацюба С. А., Зверев В. В. Кооперативная внутримолекулярная водородная связь и конформации молекул тиокаликс[4]аренах // Изв. Акад. наук. Сер.хим. 2002. № 5. С. 762–764.
4. Katsyuba S., Kovalenko V. I., Chernova A. V., Vandyukova E. E., Zverev V. V., Shagidullin R. G., Antipin I. S., Solovieva S., Stoikov I. Vibrational Spectra, Co-operative Intramolecular Hydrogen Bonding and Conformations of Calix[4]arene and Thiacalix[4]arene Molecules and Their para-tert-Butyl Derivatives // Org. Biomol. Chem. 2005. V. 3. № 14. P. 2558–2565.
5. Furer V. L. Borisoglebskaya E. I., Kovalenko V. I. Band intensity in the IR spectra and conformations of calix[4]arene and thiacalix[4]arene // Spectrochim. Acta, A. 2005. V. 61. P. 355–359.
6. Furer V. L. Borisoglebskaya E. I., Kovalenko V. I. The hydrogen bonding and conformations of p-tert-butylcalix[4]arene as studied by IR-spectroscopy and by DFT calculations // Spectrochim. Acta, A. 2005. V. 62. P. 483–493.

7. Furer V. L., Borisoglebskaya E. I., Zverev V. V., Kovalenko V. I. DFT and IR-spectroscopic analysis of *p-tert*-butylthiacalix[4]arene // Spectrochim. Acta, A. 2006. V. 63. № 1. P. 207–212.
8. Коваленко В. И., Маклаков Л. И., Борисоглебская Е. И., Потапова Л. И., Шокова Э. А., Вацуро И. М., Ковалев В. В. Внутримолекулярная кооперативная водородная связь в каликс[n]аренах (n = 4, 6, 8) с объемными заместителями // Известия Акад. наук, Сер. Хим. 2007. № 6. С. 1062–1068.
9. Furer V. L., Potapova L. I., Kovalenko V. I. DFT study of hydrogen bonding and IR-spectra of calix[6]arene // J. Molecular Structure. 2017. V. 1128. P. 439–447.
10. Новиков А. Н., Бачериков В. А., Шапиро Ю. Е., Грень А. И. Аб инициио и фп исследования кооперативной водородной связи в каликс[4]- и каликс[6]аренах // Ж. Структ. Хим. 2006. Т. 47. С. 1003−1015.

Potapova L.I. – doctor of chemical sciences, assistant professor
E-mail: ludmilapo@mail.ru
Furer V.L. – doctor of chemical sciences, professor
E-mail: furer@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Kovalenko V.I. – doctor of chemical sciences, professor
E-mail: koval@iopc.ru
Institute of Organic and Physical Chemistry named after A.E. Arbuzov
The organization address: 420088, Russia, Kazan, Arbuzov st., 8

Comparative study of structure and hydrogen bonding in calix[n]arenes (n = 4, 6, 8) by methods of IR-spectroscopy and quantum chemistry

Abstract

Problem statement. The main objective of this work was to establish the structure of Calix [n] arenes (n = 4, 6, 8) by IR-spectroscopy and quantum chemistry.

Results. IR-spectra of calix[4]arene, calix[6]arene and calix[8]arene were measured at different temperatures and interpreted. In all calixarenes the cyclic H-bond is formed. The geometry was defined by a quantum-chemical methods. A geometrical analysis of the structure of calixarene molecules was fulfilled.

Conclusions. Calculations and experiments show that the molecule of calix[4]arene has the shape of a cone, calix[6]arene – a compressed cone, and calix[8]arene – fold hinge. Analysis of normal fluctuations of calix[4]arene was made for the interpretation of the IR-spectrum. Only very small changes in the band intensities of the experimental IR-spectra in the transition from calix[4]arene to calix[8]arene were observed. A satisfactory agreement between the calculated and experimental data was obtained. Spectra of investigated calixarenes are very similar to each other.

Keywords: IR-spectra, calixarenes, density functional theory.

References

1. Gutsche C. D. Calixarenes. Cambridge, 1989. 223 p.
2. Bőhmer V. Calixarenes, Macrocycles with (Almost) Unlimited Possibilities // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1995. V. 34. P. 713–745.
3. Kovalenko V. I., Chernova A. V., Borisoglebskaya Ye. I., Katsyuba S. A., Zverev V. V. Cooperative intramolecular hydrogen bond and molecular conformation of thiacalix[4]arene // Izv. Akad. nauk. Ser. khim. 2002. № 5. C. 762–764.
4. Katsyuba S., Kovalenko V. I., Chernova A. V., Vandyukova E. E., Zverev V. V., Shagidullin R. G., Antipin I. S., Solovieva S., Stoikov I. Vibrational Spectra, Co-operative Intramolecular Hydrogen Bonding and Conformations of Calix[4]arene and

Thiacalix[4]arene Molecules and Their para-tert-Butyl Derivatives // Org. Biomol. Chem. 2005. V. 3. № 14. P. 2558–2565.
5. Furer V. L. Borisoglebskaya E. I., Kovalenko V. I. Band intensity in the IR-spectra and conformations of calix[4]arene and thiacalix[4]arene // Spectrochim. Acta, A. 2005. V. 61. P. 355–359.
6. Furer V. L. Borisoglebskaya E. I., Kovalenko V. I. The hydrogen bonding and conformations of p-tert-butylcalix[4]arene as studied by IR-spectroscopy and by DFT calculations // Spectrochim. Acta, A. 2005. V. 62. P. 483–493.
7. Furer V. L., Borisoglebskaya E. I., Zverev V. V., Kovalenko V. I. DFT and IR-spectroscopic analysis of *p-tert*-butylthiacalix[4]arene // Spectrochim. Acta, A. 2006. V. 63. № 1. P. 207–212.
8. Kovalenko V. I., Maklakov L. I., Borisoglebskaya E. I., Potapova L. I., Shokova E. A., Vatsuro I. M., Kovalev V. V. Intramolecular cooperative hydrogen bond in calix[n]erne (n = 4, 6, 8) with bulky substituents // Russ. Chem. Bull., Int. Ed. 2007. № 6. P. 1062–1068.
9. Furer, V. L., Potapova L. I., Kovalenko V. I. DFT study of hydrogen bonding and IR-spectra of calix[6]arene // J. Molecular Structure. 2017. V. 1128. P. 439–447.
10. Novikov A. N., Bacherikov V. A., Shapiro Yu. E., Gren A. I. Ab initio and density functional studies of cooperative hydrogen bonding in calyx[4]- and calyx[6]arenes // J. Struc. Chem. 2006. V. 47. P. 1003−1015.

УДК 666.941:539.4
Пшеничный Г.Н. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: pgn46@mail.ru
Кубанский государственный технологический университет
Адрес организации: 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Направленная технология бетона и железобетона[1]

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы явилось теоретическое и экспериментальное обоснование стадийно-поверхностного механизма гидратации цемента.

Результаты. Представлена схема стадийного («скачкообразного» по В.А. Кинду) твердения клинкерных вяжущих веществ (портландцемента и его разновидностей) с определяющей ролью электроповерхностных процессов, что является базовым принципом кинетики гетерогенных реакций.

Выводы. Установлено что, гидратационные преобразования включают стадийное формирование на границе раздела фаз «клинкерное зерно – вода» переходной метастабильной энергетической композиции с ее развитием (накоплением собственной энергии), достижением критического уровня и распадом (появлением активных элементов и химизмом явления); структурообразующие – стадийное стяжение под действием развивающегося в системе вакуума цементных зерен, уплотнение и упрочнение контактных зон посредством поверхностно «разрастающегося» аморфного C-S-H. Уточнена морфология затвердевшего цементного камня (микробетона), особенностью которого является наличие на гидратированной поверхности цементных частиц локально рассредоточенных остаточных поверхностно-активных зон, требующих непременного учета в теории бетоноведения и строительной практике. Приведен ряд технологических приемов, обеспечивающих повышение физико-технических свойств, структурной стабильности и эксплуатационной надежности бетона и железобетона.

Ключевые слова: бетон, железобетон, гидратация, стадийность процесса, микробетон, поверхностно-активные зоны, сбросы прочности, надежность бетонов.

В 60-х годах прошлого столетия сформулирован кардинальный путь развития технологии бетона – «направленный», согласованный с кинетикой твердения портландцемента технологический процесс, обеспечивающий получение конечного продукта «с наперед заданными свойствами». Можно ли сказать, что данная тенденция реализована на практике и ныне существующая технология бетона и железобетона действительно осмысленна и направлена?

Причин для оптимизма не очень много. До сих пор не ясен путь (сквозьрастворный, топохимический или их симбиоз) превращения пластичной цементной массы в камень. Соответствие применяемой и неоднократно подвергаемой критике [1-2] трехстадийной кристаллизационной «теории твердения» цемента реально протекающему процессу сомнительно. В этом отношении показательны исследования, выполненные в составе программы NASA с применением метода квазиупругого рассеивания нейтронов (QENS), позволившие заключить об аморфной структуре C-S-H [3], что позже было подтверждено специалистами Массачусетского технологического института [4].

[1]Работа выполнена в ФБГОУ ВО КубГТУ в составе руководимых автором фундаментальных НИР: «Исследование взаимосвязей «внешние факторы − стадийность процесса» и разработка новых методов синтеза прочности цементных композиций» (номер государственной регистрации в ЦИТиС: 1200962639, 2007-2009 гг.), «Исследование механизма деструкции цементных композиций на всех этапах твердения и разработка теоретических основ «синтеза прочности» бетонов с повышенной эксплуатационной надежностью» (номер государственной регистрации: 1200962636, 2009-2010 гг.; 1201170376, 2011 г.), «Исследование природы и взаимосвязи гидратационного твердения и деструкции цементных систем и разработка теоретических основ повышения структурной стабильности и надежности бетона (железобетона) в обычных условиях эксплуатации и при воздействии природных и техногенных факторов» (номер государственной регистрации: 1201274283, 2012-2014 гг.).

Таким образом, массово используемые сквозьрастворная схема гидратации цементных минералов и кристаллогидратная морфология новообразований не находят экспериментального подтверждения.

Как следствие, масса до сих пор существующих в бетоноведении «белых пятен». Не понятна природа и физическая сущность индукционного периода, причин и механизма гидролиза силикатов кальция, «движущей силы» структурообразования и формирования микробетона, его морфологического устройства, живучести, непредсказуемости, чрезвычайной чувствительности и адаптационной способности к внешним природным и техногенным факторам. Технологическим совершенством, к примеру, считается полное превращение цементных зерен в гидратированные соединения, что откровенно противоречит эксперименту, указывающему на неизменность их габаритов при любых температурно-влажностных условиях и сроках твердения (более того, объем зерен даже увеличивается за счет выдавливания в поровое пространство поверхностного высокопористого аморфного гидрата). В последние годы интенсивно тиражируются высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны, способ получения которых (снижение расхода воды, применение гиперпластификаторов) вызывает справедливое опасение [5]. Научно-техническое прогнозирование повсеместно заменено кубико-прочностным подходом (высокая прочность считается основополагающим параметром, едва ли не синонимом долговечности и надежности бетонов). На протяжении десятилетий так и не раскрыта природа обладающих самоподобием торообразных «мелких зерен Хэдли» [6] (рис. 1).

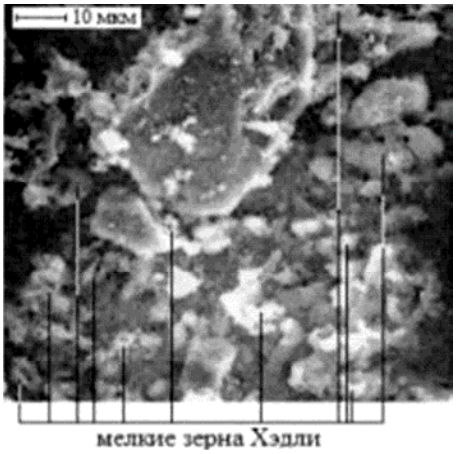


Рис. 1. Электронная микроскопия дисперсного состава цемента (по Д. Хэдли)

В последние годы появились уж совершенно невероятные с традиционных подходов экспериментальные данные. С помощью атомно-силовой микроскопии показано, что «гидросиликат кальция C-S-H выглядит как сферические частицы размером примерно 40 нанометров» [7]. Слоисто-бугорчатое строение гидросиликата (без всяких «признаков кристаллических образований») представлено в работе М.Я. Бикбау [8] (рис. 2); как видно из рисунка, элементарный сгусток новообразований (хорошо просматриваемый в темных структурных участках), действительно, близок к вышеуказанному размеру. Наконец авторы [9] отметили сложно воспринимаемый результат – постоянство толщины гидратной оболочки («гидратного обода») на поверхности различных (мелких, средних, крупных) цементных зерен, составляющей 1,3 мкм. И хотя опыты проведены на С-А-фазе, нет оснований считать данный параметр иным для других цементных минералов.

Образно говоря, сложившаяся теоретическая база отечественного бетоноведения напоминает ком постоянно накручивающихся проблем и нестыковок, что и определяет наметившуюся тенденцию развития отечественной строительной отрасли, как малопривлекательный «путь преследования или копирования» [2] не всегда праведных зарубежных аналогов. Отсюда очевиден ответ на поставленный в конце первого абзаца вопрос.

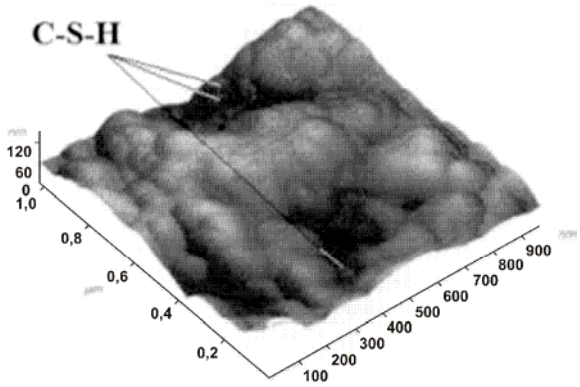


Рис. 2. Силовая зонная микроскопия скола цементного камня в возрасте одного года (по М.Я. Бикбау)

Между тем, гидратационная проблема решается достаточно просто при несколько отличном от традиционной трактовки подходе. У всех теоретических позиций (Ле-Шателье, В. Михаэлис, А.А. Байков) есть общий признак – момент контакта химически активных реагентов, являющийся определяющим в процессе, требующим особого внимания. Взаимодействие цемента с водой осуществляется на границе раздела фаз, однако, не за счет вторичных и зависимых (растворительных, гидролизных, хемосорбционных) действий, а путем определяющей роли электростатических взаимодействий. При соприкосновении реагентов происходит «гашение» свободной CaO со слабо выраженной (особенно для лежалых цементов) начальной экзотермией. На поверхности цементных зерен мгновенно формируется двойной электрический слой (ДЭС) не плоской (с равномерно размазанным гельмгольцевским слоем зарядов) конфигурации, а в виде локально рассредоточенных пористых (доменных) полимолекулярных водных скоплений (рис. 3 А) диаметром около 0,5 мкм, обнаруженных американскими исследователями в 50-х годах прошлого столетия [10, с. 234].

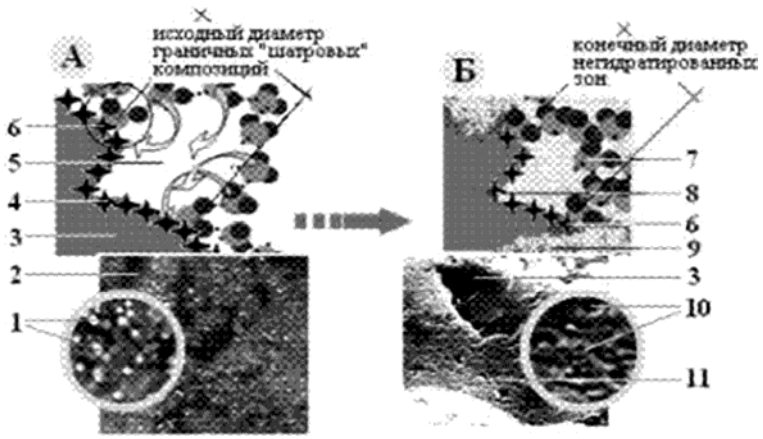


Рис. 3. Схема и общий вид начального (А) и конечного (Б) состояний, взаимодействующей цементной системы: 1 – переходные энергетические комплексы; 2 – поверхность клинкерного зерна; 3 – массив зерна; 4 – активный центр; 5 – дипольный свод; 6 – адсорбционный центр; 7 – молекулы воды; 8 – остаточный активный центр; 9 – гидратный продукт; 10 – остаточные негидратированные зоны; 11 – экранная гидратная оболочка

Метастабильность комплексов обусловлена избытком несбалансированных под полимолекулярными сводами зарядов минеральной подложки и динамизмом (тепловым колебательным, вращательным движением) диполей. Электромагнитное воздействие энергетически не насыщенных активных центров твердой фазы вызывает ослабление, эстафетное разрушение водородных связей кластеров, постепенную концентрацию диполей у адсорбционных центров (показано стрелками на рис. 3 А), накопление на

поверхности цементных зерен «свободных носителей заряда» (по М.М. Сычеву) [11]. Повышающийся поверхностный заряд (ξ – потенциал пространственного двойного электрического слоя) является причиной возбуждения энергетической системы «адсорбат – адсорбент», достигающей критического уровня, разрушающего водородные и химические связи комплекса. Часть ионов кальция из структуры минералов выталкивается в жидкую среду, определяя начало основного экзотермического эффекта; появившиеся высокореакционные продукты распада молекул воды (гидроксоний, модификации гидратов протона) взаимодействуют с кремнекислородными гидролизными остатками твердой фазы. Образовавшийся гидрат в виде локально рассредоточенных аморфных скоплений покрывает поверхность клинкерных частиц. Контракционный эффект, наряду с интенсивным потреблением зернами порции диполей (для формирования очередного энергетического комплекса), вызывает развитие в межзерновых пустотах «движущей силы» отвердевания – вакуума [12], организующего цементную систему, что фиксируется первым «скачком» структурной прочности спустя 90±10 мин с момента затворения цемента водой (рис. 4).

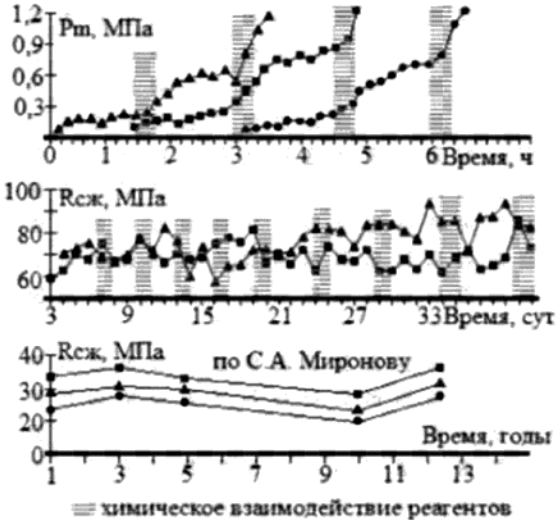


Рис. 4. Схема твердения цементных систем

Появление очередного комплекса с соответствующим его смещением на гидратационный шаг и вышеотмеченной последовательностью процесса приводит к образованию гидратного продукта в районе 180±10 минут. Гидратация цементных минералов и структурообразование цементного камня, таким образом – стадийный процесс, включающий чередование относительно продолжительных подготовительных (индукционных) периодов и быстротечных (взрывообразных) моментов химизма явления, что полностью соответствует фундаментальному положению химической кинетики гетерогенных реакций, предусматривающему переход системы из исходного состояния в конечный вид посредством переходного активированного комплекса [13]. Развивающийся в системе вакуум обеспечивает стяжение цементных зерен до появления вначале малопрочных гидросиликатных контактов с последующим уплотнением и упрочнением контактных зон. По мере химического связывания воды, гидратации активных центров, снижения размеров комплексов и поверхностной энергии зерен, соответственно, повышения энергии водородных связей адсорбированных диполей индукционные интервалы закономерно увеличиваются, превращаясь со временем в часы, сутки, месяцы (рис. 4). Как логическое завершение процесса – формирование на гидратированной поверхности цементных частиц локально рассредоточенных относительно стабильных остаточных поверхностно-активных зон, легко обнаруживаемых электронной микроскопией в виде сферических пор и каналов в гидросиликатной массе диаметром 0,3 мкм и менее (рис. 3 Б и 5). Именно наличию этих негидратированных зон со сгущением высокоорганизованных кластеров и их подпиткой

диполями окружающей среды обязан неисчерпаемый во времени гидратационный процесс с закономерными и неизбежными периодическими сбросами прочности.

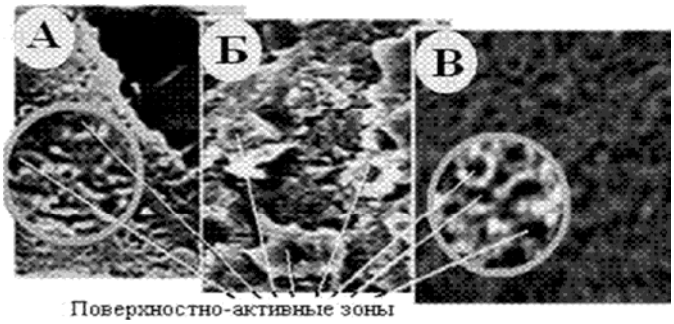


Рис. 5. Фрагменты поверхности гидратированного цементного зерна трехмесячного (А), 31-летнего (Б) и 105-летнего (В) возраста

С позиций стадийноповерхностного механизма становятся очевидными ранее отмеченные и многие не упомянутые «белые пятна» бетоноведения:

1. Взаимодействие цемента и воды имеет, действительно, скачкообразный или стадийный вид. Весь период существования цементных систем (растворов, бетонов) – чередование достаточно продолжительных индукционных (подготовительных) интервалов и быстротечных моментов химизма процесса.

2. Сущность отвердевания не сквозьрастворная, не топохимическая (в известном смысле) и не их симбиоз, а стадийноповерхностная, заключающаяся в стадийном формировании в межфазной зоне переходного энергетического комплекса, его развитии (аккумулировании собственной энергии) и распаде.

3. Стадийное быстротечное потребление диполей приводит в пластичной стадии к появлению в межзерновых пустотах «движущей силы» процесса – вакуума, организующего зерна вяжущего, формирующего и упрочняющего цементный камень и бетон.

4. Взаимодействие реагентов протекает в плотной области ДЭС (обведено на рис. 3 А), в связи с чем, водоцементный фактор и присутствие заполнителей не оказывает влияния на качественный ход процесса. Характерные переломные точки кинетических кривых многих (реологических, термохимических, электрофизических) свойств наблюдаются в одно время в тесте и смесях, т.е. являются постоянной характеристикой конкретного вяжущего вещества. Время наступления переломных точек может служить надежным ориентиром для количественной и качественной оценки действия на твердение бетонов различных факторов, в том числе, химических добавок.

5. Гидратационный процесс осуществляется путем последовательного заполнения гидросиликатом подшатровых клинкерных микроповерхностей. Т.е. это исключительно поверхностный процесс, что подтверждается отсутствием «габаритных метаморфоз» цементных зерен после месяцев (рис. 6), десятилетий (рис. 7-8) твердения, многолетнего водного выдерживания (рис. 9), а также полной потери гидравлической активности в результате семикратного затворения, пропаривания и помола продукта (рис. 10).

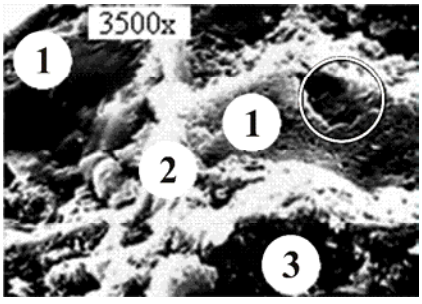


Рис. 6. Строение трехмесячного цементного камня:
1 – цементные зерна; 2 – гидратный продукт; 3 – межзерновая пустота

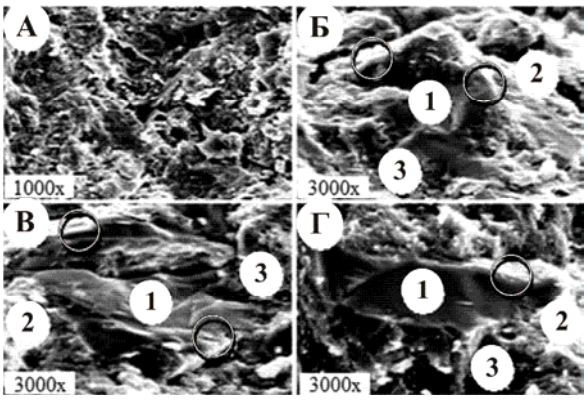


Рис. 7. Строение 31-летнего цементного камня (здесь и на рис. 11 обозначения те же, что и на рис. 7)

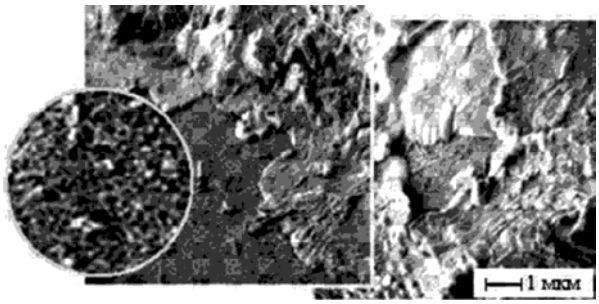


Рис. 8. Общий вид цементного зерна 105-летнего возраста

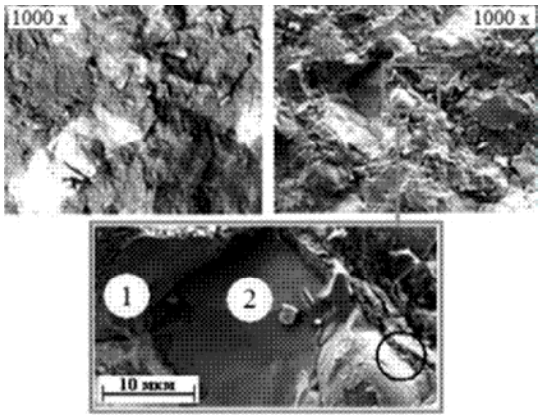


Рис. 9. Строение цементного камня 38-месячного водного твердения:
1 – фрагмент гидратной оболочки; 2 – массив зерна

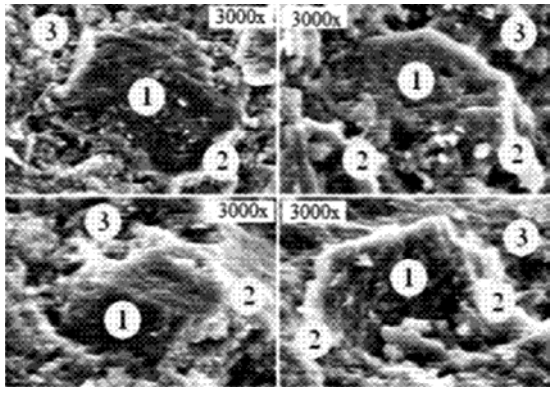


Рис. 10. Строение цементного камня на основе полностью гидратированных цементных зерен

6. Как следствие предыдущей позиции, гидратированный продукт на всем протяжении отвердевания и существования цементного композита характеризуется практически постоянной и мизерной толщиной, не превышающей 1,5 мкм, что наглядно иллюстрируется обведенными на рис. 6-7, 9 структурными элементами. Учитывая высокую пористость гидратированного слоя можно заключить о проникновении гидратационного фронта в плотный клинкерный массив на доли микрона. Отсюда тенденция взаимосвязи предельного использования потенциальных возможностей цемента с его полным растворением лишена оснований.

7. Кажущееся противоречие между постоянством толщины гидратированного слоя и неуклонным повышением во времени степени гидратации вяжущего достаточно просто решается с учетом «конструктивного устройства», динамики развития переходных энергетических комплексов и структурных особенностей остаточных поверхностно-активных зон (рис. 3 Б и 6). Непрекращающаяся энергетическая деятельность последних, неисчерпаемый запас молекулярно-дисперсной влаги окружающей среды и массообменные явления определяют неиссякаемый во времени гидратационный процесс, приводящий к последовательной гидратации остаточных активных центров на протяжении неопределенно продолжительного времени. Во всяком случае, негидратированные зоны (диаметром 0,1 мкм и менее) отчетливо просматриваются на 105-летнем цементном зерне (увеличено на рис. 8), что указывает на вполне реальную его гидратационную активность.

8. Целесообразно уточнить отдельные положения известного термина В.Н. Юнга – «микробетон». Бесспорно, цементный камень – крайне неоднородный продукт, содержащий наряду с другими объектами большое количество «не полностью разложившихся цементных зерен». Однако эти зерна не то что не «перестали играть активную роль в твердении», а являются определяющим фактором – «крупным заполнителем», носителем прочности и прочих свойств композита. Оптимизация его свойств обеспечивается фракционированием – рациональным дисперсным составом цементного порошка, а также применением структурно совместимого минерального наполнителя.

9. Обычно строение C-S-H рассматривают в виде лепестковых, чешуйчатых и подобных структур, либо результатом свертывания тонких тоберморитовых пластинок с формированием каналов для подвода воды к внутренним сферам цементных зерен и выноса растворенных продуктов во внешнюю среду [14]. И хотя внешне данная картина соответствует реальности (рис. 5 Б и 7 А) – лепестковые элементы окаймляют цилиндрические каналы, вызывает недоверие кристаллизационный путь их появления. На наш взгляд, в результате взаимодействия реагентов происходит выдавливание в поровое пространство поверхностно образуемого и увеличивающегося в объеме гидросиликата сквозь зазоры своеобразных прочносвязанных «дипольных фильер». Подобный механизм и определяет формирование волокнисто-полых трубчатых гидросиликатных структур (рис. 11), одновременно являющимися клеевым продуктом микробетона. Кстати, данная иллюстрация позволяет оценить толщину гидратной оболочки, находящуюся в отмеченных в п. 6 пределах.

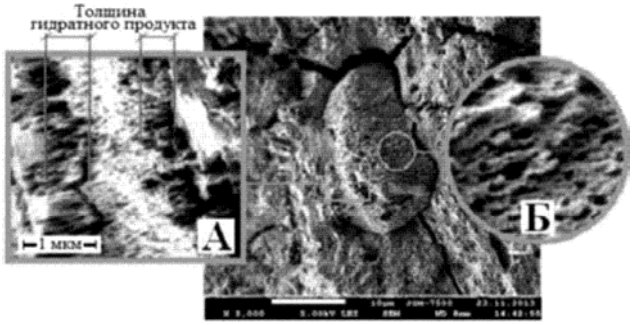


Рис. 11. Общий вид и фрагменты поверхности цементного зерна водного твердения

10. Гидратационное твердение портландцемента и материалов на его основе (растворов, бетонов) – одновременное, неразрывное и взаимосвязанное протекание позитивных (структурообразующих) и негативных (деструктивных) явлений. Развивающийся на начальном (пластичном) этапе в системе вакуум является

организующим частицы, формирующим и упрочняющим контактные зоны микробетона фактором. Появление же с увеличением объема твердой фазы гидрата на поздних этапах, в условиях сложившейся структуры композита – причина внутренних напряжений, ослабления структурных связей и сброса прочности. При благоприятных обстоятельствах новые порции клеевого гидросиликата «залечивают» микродефекты, повышают плотность и прочность камня, определяя тем самым «пилообразный» характер твердения.

11. Прочность цементных бетонов – динамичное, постоянно меняющееся свойство, конкретный уровень которой периодически поддерживается достаточно продолжительное время (рис. 4). В этой связи, использование данного показателя в качестве критерия осуществления тех или иных воздействий (например, нагружения колонн монолитных зданий путем удаления поддерживающих опор перекрытия) должно осуществляться с определенной осторожностью. Нагружать конструкции следует в периоды роста или пиковых значений прочности, и весьма нежелательные результаты можно получить при осуществлении этой операции в деструктивных временных интервалах.

12. Контактная зона бетона и железобетона является наиболее слабым, уязвимым для агрессивных сред структурным элементом. Усадочная вяжущая система не обжимает, а отслаивается от инертного объекта (крупного и мелкого заполнителя, арматуры, закладных деталей), что становится понятным, учитывая смещение контактирующих с инертной поверхностью цементных зерен в межзерновую пустоту, т.е. от поверхности химически инертного объекта в область максимального развития вакуума. Отсюда очевидна необходимость силового воздействия (вибрирования, прессования, трамбования) на твердеющий бетон в рациональные сроки – моменты стяжения системы.

13. Живучесть и адаптационная способность бетонов обязаны выше отмеченным остаточным поверхностно-активным зонам клинкерных частиц. Естественное развитие этих зон приводит к периодической поздней гидратации цемента с неизбежной деструкцией. Т.е. бетону, как и живому организму, свойственна своеобразная температурная и структурная пульсация (отсутствие массовых аварийных ситуаций не опровержение сказанного, а подтверждение асинхронности деструктивного явления в объеме бетона). Опасны внешние особые (силовые, вибрационные, температурные, электромагнитные и др.) нагрузки, активизирующие адсорбционно-связанную в микробетоне воду, способные синхронизировать гидратационный и деструктивный процессы на цементных зернах в массиве железобетонной конструкции со сложно прогнозируемыми последствиями.

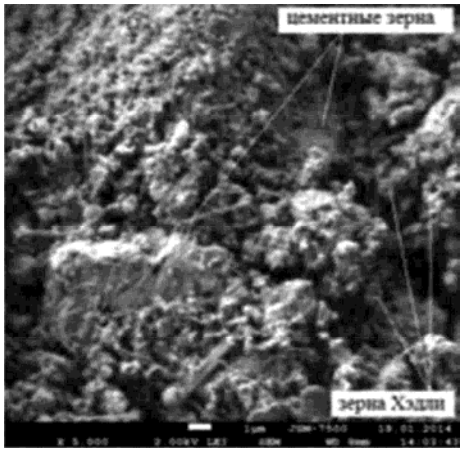


Рис. 12. Дисперсный состав гидратированного цемента

14. Основополагающим критерием качества цементных бетонов является не прочность, а эксплуатационная надежность, которая достигается путем использования комплекса технологических приемов, благоприятствующих отвердеванию, способствующих полноте и завершенности гидратационного процесса, структурной стабильности микробетона. Это: достаточное количество воды затворения, ее активация (термохимическим, электрофизическим, акустическим методами), использование

структурно-совместимого заполнителя и высокодисперсного минерального наполнителя, ограничение применения синтезированных, полимерных пластификаторов и противоморозных добавок-электролитов, виброактивационное сопровождение (оптимальное время укладки смесей, повторное и циклическое вибрирование), влажностные условия твердения, предохранение бетона от пересушивания и отмеченных в п. 13 внешних воздействий.

15. Анализируя рис. 11, понятно происхождение выше упомянутых «мелких зерен Хэдли» (рис. 1), которые были получены в огромном количестве опытным путем (рис. 12). С этой целью обеспечили предельно полный гидратационный процесс суточным кипячением перемешиваемого цементно-водного состава с последующей сушкой и помолом продукта. Эти зерна – не что иное, как обломки волокнисто-трубчатого гидросиликата с размером от 1,0 мкм. Нельзя не согласиться с Д. Хэдли относительно абсолютной совместимости этого микронаполнителя с цементным композитом.

Список библиографических ссылок

1. Гладких Ю. П., Завражина В. И. О конденсационной природе твердения неорганических вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 59–61.
2. Ушеров-Маршак А. В. Об уровнях развития бетоноведения и технологии бетона : Материалы международного конгресса Наука и инновации в строительстве SIB / ВГАСУ, Воронеж, 2008. С. 569–573.
3. Bordallo H. N., Desmedt A., Herwig K. W., Oldridge L. Quasi-elastic neutron scattering study of constrained water in hydrated cement pastes // NASA : Astrophysics Data System (ADS). 2003. URL: http://www.science.gov/topicpages/h/hydra-ting+cement+pastes.html.
4. Ученым удалось определить структуру застывшего цемента // Технологии бетонов. 2009. № 11-12. С. 5.
5. Бабков В. В., Полак А. Ф., Комохов П. Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. 1988. № 3. С. 14–16.
6. Hadley D. W. The nature of the paste-aggregate interface / Ph D. Thesis, Purdue University, 1972. 208 p.
7. Новости нанотехнологий // Популярное бетоноведение. 2011. № 1/2 (38). С. 45–53.
8. Бикбау М. Я. Наноцементы – будущее мировой цементной промышленности и технологии бетонов // Технологии бетонов. 2016. № 3-4. С. 38–42.
9. Klaus S. P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffer F. How to increase the hydration degree of CA-The influence of CA particle fineness / Cement and Concrete Research. 2015. v. 67. P. 11–20.
10. Ли Ф. М. Химия цемента и бетона. М. : Госстройиздат, 1961. 645 с.
11. Сычев М. М. Твердение вяжущих веществ. Л. : Стройиздат, 1974. 80 с.
12. Скрамтаев Б. Г., Панфилова Л. И. Исследование влияния вакуума в твердеющих цементах // Труды НИИЦемента. М. : Промстройиздат, 1949, вып. 2.
13. Кузнецова Т. В., Кудряшев И. В., Тимашев В. В. Физическая химия вяжущих материалов. М. : Высшая школа, 1989. 384 с.
14. Шмитько Е. И., Крылова А. В., Шаталова В. В. Химия цемента и вяжущих веществ. Воронеж : Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2005. 164 с.

Pshenichnyy G.N. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: pgn46@mail.ru
Kuban State Technological University
The organization address: 350072, Russia, Krasnodar, Moskovskaya st., 2

The directed technology of concrete and reinforced concrete

Abstract

Problem statement. The aim of the work was theoretical and experimental study of stage-surface mechanism of cement hydration.

Results. The scheme of stage («hopping» after V.A. Kindu) hardening of clinker binders (Portland cement and its varieties) with the role electrical surface processes that is the basic principle of the kinetics of heterogeneous reactions.

Conclusions. Hydration conversions include staging formation at the interface of «clinker grain – water» phase of transitional metastable energy composition with its development (accumulation of private power), reaching a critical level and decay (the appearance of the active elements and the chemistry of the phenomenon); textural – phasic contraction under the influence of the developing vacuum system cement grains, sealing and hardening of the contact surface areas by means of «sprawling» amorphous C-S-H. Specification of the morphology of the hardened cement paste (microconcrete) feature of which is the presence on the surface of the hydrated cement particles dispersed locally residual surfactants areas requiring indispensable accounting in concrete science theory and practice of construction. Given a number of technological methods, providing increase of physical and technical properties, structural stability and operational reliability of concrete and reinforced concrete.

Keywords: concrete, reinforced concrete, hydration, staging process, microconcrete, surface-active area, discharges of strength, reliability and concrete.

References

1. Gladkikh Yu. P., Zavrazhin V. I. On the condensation nature of hardening of inorganic binders // Vestnik BGTU im. V. G. Shukhov. № 10. 2005. P. 59–61.
2. Usherov-Marshak A. V. About the levels of development of concrete Sciences and technology of concrete // Proceedings of the international Congress of Science and innovation in the construction of SIB-2008, vol. 1-2. Voronezh : VGASU, 2008. P. 569–573.
3. Bordallo H. N., Desmedt A., Herwig K. W., Oldridge L. Quasi-elastic neutron scattering study of constrained water in hydrated cement pastes // NASA : Astrophysics Data System (ADS). 2003. URL: http://www.science.gov/topicpages/h/hydra-ting+cement+pastes.html.
4. Scientists were able to determine the structure of hardened cement // Technology of concrete. 2009. № 11-12. P. 5.
5. Babkov V. V., Polak A. F., Komokhov P. G. The Aspects of durability of a cement stone // Cement. 1988. № 3. P. 14–16.
6. Hadley D. W. The nature of the paste-aggregate interface / Ph D. Thesis, Purdue University, 1972. 208 p.
7. News nanotechnology // Popular concrete science. 2011. № 1/2 (38). P. 45–53.
8. Bikbau M. Ya. Nano cements – the future of the global cement industry and concrete technology // Technology of concrete. 2016. № 3-4. P. 38–42.
9. Klaus S. P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffer F. How to increase the hydration degree of CA-The influence of CA particle fineness / Cement and Concrete Research. 2015. v. 67. P. 11–20.
10. Li F. M. The Chemistry of cement and concrete. M. : Gosstroiizdat, 1961. 645 p.
11. Sychev M. M. The hardening of the binders. L. : Stroyizdat, 1974. 80 p.
12. Skramtaev B. G., Panfilova L. I. Study of the influence of the vacuum in hardening cement // Proceedings of Nicamente. M. : Promstroyaudit, 1949, vol. 2.
13. Kuznetsova T. V., Kudryashov I. V., Timashev V. V. Physical chemistry of binders. M. : Higher school, 1989. 384 p.
14. Shmit'ko E. I., Krylov A. C., Shatalov V. V. Chemistry of cement and binders. Voronezh : Voronezh. GOS. Arkh.-builds. Univ, 2005. 164 p.

УДК 666.941:539.4
Тараканов О.В. – доктор технических наук, профессор
E-mail: var_lena@mail.ru
Калашников В.И. – доктор технических наук, профессор
E-mail: kalashnikov_vi@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес организации: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения

Аннотация

Постановка задачи. Цель работ – получение бетонов нового поколения с применением современных эффективных модификаторов

Результаты. С применением электронно-микроскопических и рентгенофазовых исследований и изучено влияние суперпластификаторов на структуру цементного камня и получены данные о составе продуктов гидратации цемента. Получены данные по скорости гидратации цемента в присутствии гиперпластификаторов.

Выводы. Показано, что снижение водосодержания в составах с добавками позволяет получать более высокую прочность в поздние сроки твердения, но общая картина кинетики гидратообразования и участия силикатных фаз в процессе гидратации свидетельствуют о некотором его замедлении. *У*становлено, что, несмотря на достаточно поздний период твердения, процессы гидратации в цементном камне в присутствии гиперпластификаторов на начальном этапе замедлены и это замедление, судя по интенсивностям выделившихся кристаллических гидратных фаз, сохраняется на период до 6 месяцев. В целом новые классы добавок могут эффективно с целью достижения синергетических эффектов применяться с традиционными ускорителями и замедлителями твердения как для бетонов, твердеющих в нормальных условиях, так и для «холодных» бетонов.

Ключевые слова: бетон, гидратация, цементный камень, суперпластификаторы.

В настоящее время в производство бетона широко внедряются технологии производства многокомпонентных бетонов нового поколения как высокопрочных, так и традиционных, обязательным компонентом которых являются химические добавки различного функционального назначения [1-4]. Комплексные органоминеральные добавки на основе каменной муки и гиперпластификаторов при рациональном соотношении песка мелких, средних и крупных фракций способствуют получению высокопрочных бетонов, обладающих прочностью 130-150 МПа с высокими показателями морозостойкости и низким (0,8-1,0 %) водопоглощением [5-7]. Традиционно используемые в обычных бетонах воздухововлекающие добавки для повышения морозостойкости становятся необязательными, поскольку в высокопрочных бетонах это приводит к снижению прочности.

В современных бетонах нового поколения проблема повышения эффективности супер- и гиперпластификаторов успешно решается путем использования в качестве микронаполнителей тонкомолотых минеральных добавок, полученных на основе прочных и плотных горных пород, с размером частиц 5-10 мкм и показателем удельной поверхности 4500-5000 $см^2/г$.

Эффективность подобных тонкодисперсных наполнителей в бетонах нового поколения определяется следующими основными факторами:

– кристаллическим строением и структурой минералов;

– зарядовым состоянием поверхности;

– тонкостью помола;

– способностью к гидратационному твердению в присутствии $Ca(OH)_2$, выделяющейся при гидратации цемента.

Повышение эффективности СП и ГП при использовании ряда минеральныхпорошков, в отличии от портландцементов, может быть объяснено не только гидравлической инертностью минеральных частиц и неспособностью к

связыванию значительного количества воды уже с первых секунд после водозатворения, но и возможностью усиления многоцентровой адсорбции молекул СП и ГП на мозаично заряженной поверхности частиц минеральных порошков (например, гранита).

Более сложной задачей, при выборе минеральных добавок в качестве микронаполнителей цементных бетонов, является определение не только их реотехнологической активности в сравнении с цементными системами, но и реакционной активности по отношению к цементным системам с точки зрения связывания гидролизной извести, выделяющейся при гидратации цемента и возможности образования контактов срастания по бездефектным поверхностям микрокристаллов, формирующихся на поверхностигидратирующихся частиц цемента и микронаполнителя. Немаловажное значение имеет возможность эпитаксиального наращивания гидратных фаз цемента на подложке частиц микронаполнителя. С этой точки зрения наиболее целесообразным является применение в качестве микронаполнителя тонкомолотого кальцита.

В наполненных цементных системах оптимальные условия для агломерации и срастания частиц могут быть достигнуты применением гидратационно активных микронаполнителей и сокращением расстояний между частицами за счет оптимальной гранулометрии и снижения водосодержания. В этом случае между частицами цемента или цемента и микронаполнителя, сближенными до минимальных расстояний, места контактов могут являться активными зонами кристаллизации, связывающие частицы между собой. В присутствии макромолекул СП и ГП процесс начальной кристаллизации осложняется и замедляется. В большей степени негативное влияние СП и ГП может проявляться для гидроалюминатных фаз, поскольку органические молекулы могут проникать между слоями структуры AFm – фаз и образовывать поверхностные комплексы, благодаря вандерваальсовым силам и водородным связям.

В работе была выполнена серия электронно-микроскопических исследований поверхности C_3A гидратированного в присутствии карбонатного микронаполнителя. На электронных микрофотографиях (рис. 1-2) поверхности C_3A гидратированного с добавкой тонкодисперсного кальцита видны кристаллы гидратов AFm – фаз, имеющие пластинчатую слоистую структуру.Гидратная масса представлена в виде скопления кристаллов неправильной геометрической формы, имеющих очертания пластинок, лепестков, хлопьев, изогнутых пластин и т.д.

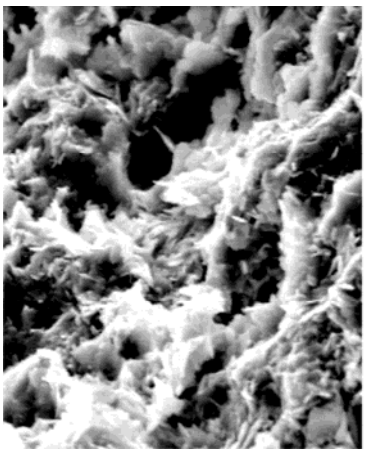


Рис. 1. Поверхность гидратированного C_3A с добавкой карбонатного микронаполнителя (10 %). Сканирующая электронная микроскопия (×3000)

Рис. 2. Поверхность гидратированного C_3A с добавкой карбонатного микронаполнителя (10 %). Сканирующая электронная микроскопия (×4500)

Рис. 3. Поверхность гидратированного C_3A без добавок. Сканирующая электронная микроскопия (×3000)

При детальном просмотре поверхности кристаллов правильной гексагональной формы практически не обнаружено. Однако при анализе поверхности C_3A, гидратированного без добавок, подобные кристаллы обнаружены (рис. 3).

Образование гидратов AFm – фаз при гидратации C_3A подтверждено данными рентгенофазового анализа. Полученные данные электронной микроскопии свидетельствуют о протекании кристаллизационных процессов в условиях различного рода примесей, искажающих структуру кристаллов.

Касаясь образования гидросиликатных структур, следует отметить, что в присутствии минеральных добавок, примесных ионов и особенно макромолекул суперпластификаторов возможно формирование гидросиликатов кальция различного строения вследствие изменения структуры гидросиликатных мотивов в присутствие примесей. Рентгенофазовыми исследованиями продуктов гидратации цементного камня установлено, что в присутствии добавки тонкодисперсного карбонатного наполнителя в количестве 10 % от массы вяжущего, на рентгенограммах зафиксированы отражения, характерные для гиролита, ксонотлита и трускотита, отсутствующие на рентгенограммах образцов без добавки. В присутствии тонкомолотых кремнеземсодержащих минеральных добавок и высокого уровня пересыщения по $Ca(OH)_2$, возможно образование гидросиликатной массы как на поверхности цементных частиц, так и на поверхности частиц микронаполнителя. Формирование сложных гидросиликатных структур различного строения является одной из причин повышения прочности цементных систем в присутствии тонкомолотых кремнеземсодержащих минеральных добавок.

В последнее время на рынке химических добавок появляется огромное количество модификаторов, одним из основных компонентов которых являются супер- и гиперпластификаторы. Подобные добавки имеют достаточно сложный химический состав и конформационное строение молекул органических веществ, что, естественно, не может не отражаться на процессах гидратации и твердения цементных материалов. Хотя состав многих органических добавок известен (но не многие производители указывают точный состав), характер химического поведения многих модификаторов различен (например, при использовании цементов разных заводов и микронаполнителей, отличающихся дисперсностью и минералогическим составом).

Известно, что многие пластификаторы на поликарбоксилатной основе могут отличаться друг от друга длиной основных и боковых цепей, что различным образом влияет на характер многоцентровой адсорбции их на поверхности цементных частиц и продуктах гидратации.

Важным фактором в теории и практике применения суперпластификаторов является характер их влияния на состав продуктов гидратации цементных систем. Достаточно известно, что в большинстве случаев органические пластифицирующие добавки вызывают замедление гидратации силикатных фаз цемента и стабилизацию алюминатных AFm-фаз, интенсивно образующихся на ранних стадиях гидратации.

Современные гиперпластификаторы (ГП) на поликарбоксилатной основе весьма эффективны и позволяют достичь значительных пластифицирующих эффектов при меньших дозировках, чем, например, С-3 и другие комплексные добавки на его основе. В связи с этим высокие водоредуцирующие эффекты позволяют получать бетоны высокой и особовысокой прочности при рационально подобранном гранулометрическом составе бетона, видах, количестве и свойствах минеральных микронаполнителей.

В присутствии химических добавок процесс гидратообразования в цементных системах значительно осложняется, поскольку параллельно протекают процессы адсорбции, растворения, поверхностной гидратации, гидратации в растворе, образования зародышей кристаллизации. Вполне естественно, что сложные по конформационному строению молекулы суперпластификаторов, имеющие отрицательно заряженные функциональные группы, избирательно адсорбируясь на положительно заряженных центрах, оказывают негативное влияние на скорость процессов поверхностной кристаллизации, а также на структуру зародышей кристаллизации [8]. Длинные боковые цепи молекул гиперпластификаторов в свою очередь влияют на скорость зарождения и образование зародышей кристаллизации в пересыщенном растворе.

Положительным фактором использования в составе цементных композиций тонкодисперсных микронаполнителей является не только повышение реологической эффективности суперпластификаторов и уплотнение структуры, но и возможность кристаллизации гидратных фаз на частицах микронаполнителя, что способствует

формированию кристаллизационных оболочек и срастанию частиц и, в целом, повышению прочности наполненных цементных систем.

В большинстве экспериментальных исследований процессов твердения наполненных цементных композиций и бетонов нового поколения эффект значительного повышения прочности при низких В/Ц превалирует над процессом замедления, который в большей степени проявляется в период формирования коагуляционных и ранних коагуляционно-кристаллизационных структур. В более поздний период твердения самоорганизующиеся цементные системы способны к релаксации ранних напряжений и повреждений структуры. Очевидно, в большей степени это относится к гидроалюминатным фазам, которые интенсивно формируются в ранний период гидратации. Однако, малое количество алюминатных фаз в составе цемента не оказывает столь значительного влияния на конечную прочность цементных композиций. В тоже время суперпластификаторы оказывают негативное влияние на структуру ранних гидросиликатов кальция (ГСК). В последующем нормальный порядок кристаллизации ГСК восстанавливается, и цементные композиции достигают высоких прочностей. Возможно, что и молекулы суперпластификаторов, встраиваясь в гидросиликатные структуры на ранних этапах, в последующем не оказывают существенного влияния на прочность цементных материалов.

Следует предположить, что продукты гидратации в поздние сроки в составах с добавками могут отличаться от бездобавочных более в количественном отношении гидратов, чем в качественном.

С целью определения характера влияния гиперпластификаторов системы «Melflux» на состав продуктов гидратации цементного камня была выполнена серия рентгенофазовых исследований на дифрактометре Дрон – 7 в интервалах углов 10-75^{o} и шагом 0,05^{o}. Исследования проводились на образцах, твердевших в нормальных условиях в период 6 месяцев.

Анализ рентгенограмм показал, что основной отличительной особенностью продуктов гидратации с добавками ГП является снижение интенсивностей отражения извести (табл. 1) и увеличение интенсивностей отражений безводных силикатных фаз цемента (табл. 2).

Таблица 1

Интенсивность отражений извести

Состав	Интенсивность I_{max} при d (Å)							
	4,93	3,11	2,63	1,93	1,79	1,69	1,485	1,45
№ 1 (контрольный)	87,3	23,7	110,5	38,6	24,8	23,4	нет	10,8
№ 2 (0,5 % Melflux4930F)	55,2	49,9	85,6	19,0	21,6	11,9	19,2	нет
№ 3 (0,5 % Melflux 5581F)	65,4	нет	55,3	25,3	24,0	15,2	13,6	нет
№ 4 (0,5 % Melflux 1641F)	58,2	20,4	73,6	15,9	24,4	18,3	12,5	13,6

Таблица 2

Интенсивность отражений C_3S и β- C_2S

Состав	Интенсивность I_{max}	
	Алит (d=2,7761 Å)	Алит (d=2,744 Å)
№ 1 (контрольный)	27,7	16,3
№ 2 (0,5 % Melflux 4930F)	40,7	54,7
№ 3 (0,5 % Melflux 5581F)	47,6	51,8
№ 4 (0,5 % Melflux 1641F)	38,8	58,5

Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на достаточно поздний период твердения, процессы гидратации в цементном камне в присутствии ГП на начальном этапе замедлены и это замедление, судя по интенсивностям выделившихся кристаллических гидратных фаз, сохраняется на период до 6 месяцев.

В целом, снижение водосодержания в составах с добавками позволяет получать более высокую прочность в поздние сроки твердения, но общая картина кинетики гидратообразования и участия силикатных фаз в процессе гидратации свидетельствуют о

некотором его замедлении. Этот факт является весьма важным с точки зрения понимания механизма действия добавок: с одной стороны как сильных водопонижающих, а с другой – как угнетающих процессы гидратации силикатных фаз цемента. Некоторые расслоения отражений извести в составах с добавками может косвенно свидетельствовать о формировании твердых растворов сложного состава, искаженных и напряженно – деформированных кристаллов ГСК.

В отношении гидроалюминатных фаз следует отметить, что на рентгенограммах образцов с добавками ГП появляются отражения метастабильных AFm-фаз (C_2AH_8), а также наиболее термодинамически стабильной гидроалюминатной фазы C_3AH_6, что свидетельствует о возможности избирательной стабилизации гидроалюминатов кальция AFm-фаз в присутствии добавок ГП.

Рентгенофазовые исследования образцов цементного камня, гидратированного в нормальных условиях в течение 1,5 лет, с комплексной добавкой С-3 (0,5 %) и тонкодисперсного кальцита (20 % от массы цемента) показали, что на рентгенограммах образцов с добавкой значительно снижаются интенсивности отражений $Ca(OH)_2$ (4,93; 3,11; 2,63A^o) по сравнению с контрольным составом. Однако, характерным является факт примерно равных интенсивностей отражений алита в контрольном образце и в образце с добавкой. В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что процесс гидратации в присутствие добавки С-3 несколько замедлен. Однако, карбонатный наполнитель является активатором твердения алита, возможно вследствие эпитаксиального наращивания гидросиликатов кальция, а также гидратов AFm-фаз на частицах кальцита.

Важными технологическими параметрами, как для обычных бетонов так и для высокопрочных является сохранение подвижности, жизнеспособности и предотвращение расслаиваимости смесей. При введении стабилизирующих и воздухоудерживающих добавок происходит увеличение дисперсности твердой фазы, что способствует активации межчастичного взаимодействия и созданию пространственной структурной сети и снижению водо- и растворотделению.

В бетонах нового поколения, особенно самоуплотняющихся, снижению расслаиваемости способствует присутствие значительного количества тонкодисперсной минеральной фазы. В настоящее время в технологии бетонов нового поколения и обычных наряду с традиционно используемыми эфирами целлюлозы и полимерными добавками начинают эффективно применяться добавки нового класса – регуляторы вязкости бетонной смеси. По данным [9] отмечается принципиально новый, ещё недостаточно исследованный класс добавок SAP со сверхвысокой адсорбирующей способностью. В большинстве случаев SAP представляют собой ковалентные полиэлектролиты с поперечными связями. SAP могут адсорбировать такое количество воды, которое в 20 раз превышает их вес. Добавка вводится в сухую бетонную смесь в порошкообразной форме и поглощает воду в процессе приготовления бетонной смеси.

Перспективным направлением в технологии бетонов нового поколения является применение нанометрических синтезированных гидросиликатов кальция. В целом новые классы добавок могут эффективно с целью достижения синергетических эффектов применяться с традиционными ускорителями и замедлителями твердения как для бетонов, твердеющих в нормальных условиях, так и для «холодных» бетонов [10].

Список библиографических ссылок

1. Тараканов О. В. Химические добавки в растворы и бетоны. Пенза : Изд-во Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, 2016. 155 с.
2. Bonavetti V. L., Castellano C., Donza H., Rahhal V. F., Irassar E. F. Cement with silica fume and granulated blast-furnace slag: strength behavior and hydration // Materiales de Construcción. Vol. 64 (315). 2014. e025.
3. Monica J. Hanus, Andrew T. Harris Nanotechnology innovations for the construction industry // Progress in Materials Science. 2013. № 58. P. 1056.

4. Svatovskaya L., Shershneva M., Baydarashvily M., Sychova A., Sychov M., Gravit M. Geoecoprotective properties of cement and concrete against heavy metal ions // Procedia Engineering. 2015. Т. 117. С. 350–354.
5. Калашников В. И. Основные принципы создания высокопрочных и особовысокопрочных бетонов // Популярное бетоноведение. 2008. № 3. С. 102.
6. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 3. От высокопрочных и особовысокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения настоящего // Технологии бетонов. 2008. № 1. С. 22.
7. Калашников В. И., Ерофеев В. Т., Тараканов О. В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 4 (688). С. 30–37.
8. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М. : Стройиздат, 1989. – 188 с.
9. Мещерин В. Добавки и дополнительные компоненты в современной технологии производства бетона : InternationalConcreteconference. www.iccx.org 9-11, 12, 2008. СПб.
10. Калашников В. И., Ерофеев В. Т., Мороз М. Н., Троянов И. Ю., Володин В. М., Суздальцев О. В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88–91.

Tarakanov O.V. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: var_lena@mail.ru
Kalashnikov V.I. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: kalashnikov_vi@mail.ru
Penza State University of Architecture and Construction
The organization address: 440028, Russia, Penza, Germana Titova st., 28

Prospects of application of complex additives in new generation concretes

Abstract

Problem statement. The aim of the work getting the concrete of new generation with application of modern efficient modifiers.

Results. Using electron microscopic and X-ray diffraction studies and the influence of superplasticizers on the structure of cement stone and obtained data on the composition of hydration products of cement. The data obtained on speed of cement hydration in the presence of Hyper plasticizers.

Conclusions. It is shown that reducing the water content in the compositions with additives allows to obtain a higher strength in the later stages of hardening, but the overall picture of the kinetics of hydrate formation and participation of silicate phases in the hydration process indicates some deceleration. It is established that, despite the relatively later period of hardening, the hydration processes in cement stone in the presence of Hyper plasticizers at the initial stage slowed down and this slowing down, judging by the intensities of the separated crystalline hydrated phases, is maintained for a period of up to 6 months. In General, the new classes of additives can effectively with the aim of achieving synergy effects be used with traditional accelerators and retarders, hardening like concrete hardening under normal conditions and for «cold» concrete.

Keywords: concrete, hydration, cement stone, superplasticizers.

References

1. Tarakanov O. V. Chemical additives in mortars and concretes. Penza : Publishing house of Penza State University of Architecture and Construction, 2016. 155 p.
2. Bonavetti V. L., Castellano C., Donza H., Rahhal V. F., Irassar E. F. Cement with silica fume and granulated blast-furnace slag: strength behavior and hydration : Materiales de Construcción. Vol. 64 (315). 2014. e025.

3. Monica J. Hanus, Andrew T. Harris Nanotechnology innovations for the construction industry // Progress in Materials Science. 2013. № 58. P. 1056.
4. Svatovskaya L., Shershneva M., Baydarashvily M., Sychova A., Sychov M., Gravit M. Geoecoprotective properties of cement and concrete against heavy metal ions // Procedia Engineering. 2015. T. 117. P. 350–354.
5. Kalashnikov V. I. Basic principles of creating a high strength and abovesecurity concrete // Populyarnoye betonovedeniye. 2008. № 3. P. 102.
6. Kalashnikov V. I. Via rational rheology of concrete in the future. Part 3. From abovesecurity and high-strength concretes of the future to superplasticising concrete General purpose of the present // Tekhnologii betonov. 2008. № 1. P. 22.
7. Kalashnikov V. I., Erofeev V. T., Tarakanov O. V. Suspension – filled with concrete mixtures for powder – activated concretes of new generation // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2016. № 4 (688). P. 30–37.
8. Ratinov V. B. Rosenberg ti additive in concrete. M. : Stroyizdat, 1989. 188 p.
9. Meshcherin V. Additives and optional components in modern technologies of production of concrete : InternationalConcreteconference. SPb. 9-11, 12, 2008. www.iccx.org.
10. Kalashnikov V. I., Erofeev V. T., Moroz M. N., Trojanov I. Yu., Volodin V. M., Suzdal'tsev O. V. Nanohydroxyapatite technology in the production of concrete // Stroitel'nyye materialy. 2014. № 5. P. 88–91.

УДК 535.33
Фурер В.Л. – доктор химических наук, профессор
E-mail: furer@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Изучение структуры, ИК- и КР-спектров фосфортригидразида методом функционала плотности

Аннотация

Постановка задачи. В данной работе мы сообщаем об изучении колебательных спектров и квантово-химических расчетах фосфортригидразида G_0, который представляет собой дендример нулевого поколения с конической архитектурой. Эта работа является продолжением спектральных и квантово-химических исследований структуры и реакционной способности дендримеров. Рассчитанные геометрические параметры сравнивались с экспериментальными данными, полученными рентгеновским методом. Так, что основной замысел этой работы заключался в том, чтобы определить спектральные особенности различных сегментов дендримера: ядра и аминных функций групп с помощью теоретических вычислений.

Результаты. Измерены ИК- и КР-спектры фосфортригидразида, который представляет собой дендример нулевого поколения G_0 с концевой аминной группой. Оптимизация структуры и исследование вибраций реализованы для G_0 методом функционала плотности (ФП). Оптимизированные длины связей и валентные углы, полученные методом ФП, находятся в хорошем согласии с экспериментом. Полученные результаты позволят понять структуру, динамику и свойства дендримеров.

Выводы. Аминные функции отличаются пиками 3321, 3238, 1614 $см^{-1}$ в экспериментальном ИК-спектре и пиками 3327, 3241 $см^{-1}$ в спектре КР G_0. Опытные частоты асимметричных и симметричных NH_2 валентных колебаний ниже, чем теоретические значения из-за внутримолекулярной водородной связи N−H···S. Эта водородная связь также ответственна за более высокую интенсивность этих полос в ИК-спектре по сравнению с теоретическими величинами. Предложено полное отнесение колебаний для G_0.

Ключевые слова: фосфорсодержащий дендример, ИК-спектры, функционал плотности.

Дендримеры представляют собой интересный класс монодисперсных макромолекул с сильно разветвленной архитектурой, которые показывают полезные свойства в различных областях, таких как катализ, электрохимия, фотофизика, фармацевтика и медицина [1-6]. Строгий контроль размеров, формы и свойств дендримеров может быть достигнут. Описаны три различных метода синтеза малых фосфорных дендримеров [7]. Эти образцы получены вплоть до первого или второго поколения, используя фосфортригидразид $(S)P[N(Me)-NH_2]_3$ [7]. Для лучшего понимания структуры и свойств дендримеров необходимо изучить электронную структуру первых поколений дендримеров методами квантовой химии. Синтез и колебательные спектры дендримеров с тиофосфорильным ядром описаны ранее [8-10].

В данной работе мы сообщаем об изучении колебательных спектров и квантово-химических расчетах фосфортригидразида G_0, который представляет собой дендример нулевого поколения с конической архитектурой. Эта работа является продолжением спектральных и квантово-химических исследований структуры и реакционной способности дендримеров. Рассчитанные геометрические параметры сравнивались с экспериментальными данными, полученными рентгеновским методом [11]. Так, что основной замысел этой работы заключался в том, чтобы выявить спектральные особенности сегментов дендримера: ядра и аминных функций. Полученные результаты позволят понять структуру, динамику и свойства дендримеров.

Синтез и основные характеристики фосфортригидразида описаны ранее [7]. Молекула G_0 содержит ядро **S=P** и аминные концевые группы **–NH$_2$** (рис. 1). Изученный дендример представляет собой кристаллическое соединение.

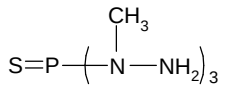


Рис. 1. Структура дендримера G_0

ИК-спектры записаны в области 4000-400 см$^{-1}$ с использованием прибора Вектор-22 фирмы. Пробы для записывания ИК-спектров приготовлялись путем прессования с бромистым калием, 64 скана суммировались для каждого спектра.

Спектры КР вызывались лазером Nd: YAG, и записывались прибором RAMII в области 3500-150 см$^{-1}$.

Вычисления колебательных спектров молекулы G_0 выполнены с использованием B3LYP функционала и базисного набора 6-31++G(d,p) посредством программы Гауссиан 09.

Оптимизированные структурные параметры молекулы G_0 представлены в табл. и на рис. 2. Геометрические параметры соединения G_0 были определены рентгеновским методом [11]. Кристаллическая структура G_0 показывает, что молекулы упорядочены в 3-D тубулярную структуру, которая обеспечивается N−H···S водородными связями. Каждый из $N(CH_3)NH_2$ заместителей, присоединенных к фосфорному центру, в молекуле G_0 является донором протона (NH), тогда как S атомы трех соседних молекул являются акцепторами протонов. Нет отличий между химически эквивалентными длинами связей.

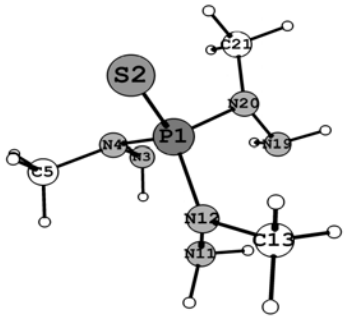


Рис. 2. Оптимальная геометрия и нумерация атомов для дендримера G_0

Несмотря на то, что сравнение структур в газовой фазе и конденсированной фазе не является строгим, мы можем наблюдать разумное качественное согласие между теоретическими расчетами и экспериментальными данными (рис. 2, табл.). Рассчитанные длины связей (в Å) 1,960 (P(1)–S(2)), 1,704 (P(1)–N(4)), 1,425 (N(3)–N(4)), 1,463 (C(5)–N(4)) соответствуют опытным данным 1,958, 1,661, 1,429, 1,462. Теоретические валентные углы (в градусах) S(2)–P(1)–N(4) (112,9), P(1)–N(4)–N(3) (115,2), P(1)–N(4)–C(5) (120,0) согласуются с наблюдаемыми значениями 111,5, 113,2, 120,3.

Связь между атомами фосфора и азота описывается в терминах σ связывания и добавочного π связывания, возникающего из-за перекрывания *3d*-орбиталей фосфора с *p*-орбиталями азота. Экспериментальная длина связи P(1)–N(4) 1,660 в G_0 короче, чем, так называемая одинарная **P–N** связь 1,77 Å.

Отличительной чертой изученной молекулы является возможность $d_\pi-p_\pi$ сопряжения между фосфором и азотом. Квантово-химическая теория может объяснить структурные черты дендримеров. Структура молекулы G_0 достигается посредством взаимодействий σ_2(P1–S2)→σ^*_1(P1–N14), σ_1(P1–N4)→σ^*_3(P1–S2) и σ_1(P1–N4)→σ^*_1(P1–N12) с энергиями 21,78, 78,99, 17,74 Ккал/моль.

Форма молекулы дендримера может быть охарактеризована отношениями главных значений тензора момента инерции. Для сферы эти отношения равны единице, а для молекулы G_0 они составляют 0,89 и 0,98. Таким образом, молекула G_0 имеет слегка асимметричную форму, которая определяет способность молекул к самоупорядочению.

Таблица

Экспериментальные и рассчитанные длины связей (Å) и валентные углы (º) молекулы G_0

	Эксп.	Расч.		Эксп.	Расч.
Длины связей					
P(1)–S(2)	1,958	1,960	N(11)–N(12)	1,429	1,424
P(1)–N(4)	1,661	1,704	N(19)–N(20)	1,429	1,424
P(1)–N(12)	1,660	1,704	C(5)–N(4)	1,462	1,463
P(1)–N(20)	1,660	1,704	C(13)–N(12)	1,462	1,463
N(3)–N(4)	1,429	1,425	C(21)–N(20)	1,462	1,463
Валентные углы					
S(2)–P(1)–N(4)	111,5	112,9	P(1)–N(20)–N(19)	113,2	115,1
S(2)–P(1)–N(12)	111,5	112,9	P(1)–N(4)–C(5)	120,3	120,0
S(2)–P(1)–N(20)	111,5	113,0	P(1)–N(12)–C(13)	120,4	119,9
P(1)–N(4)–N(3)	113,2	115,2	P(1)–N(20)–C(21)	120,4	119,8
P(1)–N(12)–N(11)	113,2	115,2			
Двугранные углы					
S(2)–P(1)–N(4)–N(3)	156,5	159,3	S(2)–P(1)–N(4)–C(5)	-60,2	-55,2
S(2)–P(1)–N(12)–N(11)	156,5	158,9	S(2)–P(1)–N(12)–C(13)	-60,2	-55,6
S(2)–P(1)–N(20)–N(19)	156,5	159,1	S(2)–P(1)–N(20)–C(21)	-60,2	-55,4

Дендримеры можно использовать в качестве новых типов носителей активных веществ [1, 2]. Для этого лекарство может быть помещено внутри дендримера, или заключено в сетку, состоящую из дендримеров, или присоединено к поверхности дендримера посредством стабильной или лабильной связи. Расчет зарядов на атомах позволяет охарактеризовать энергию электростатических взаимодействий. Вычисления показывают, что G_0 содержит связи с натуральными атомными зарядами [12] (в зарядах электрона) на атомах P1 (1,881), S2 (-0,589), N3 (-0,718), N4 (-0,713), C5 (-0,455), H6 (0,217), H9 (0,389), H10 (0,385). Видно, что соединение G_0 может быть использовано в качестве носителя лекарств, благодаря водородному связыванию аминных функций.

Теоретические методы позволяют непосредственно сопоставлять опытные и вычисленные спектры. Это увеличивает надежность отнесения полос в колебательных спектрах. В данном исследовании использование спектроскопии в сочетании с квантовой химией интересно с точки зрения получения уникальной информации, которая помогает лучше понять особенности структуры дендримеров.

Пики 3327 и 3241 см$^{-1}$ в спектре КР и полосы 3321 и 3238 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 являются асимметричными и симметричными NH_2 валентными колебаниями аминной группы (рис. 3-4). Наблюдаемые частоты ниже, чем теоретические значения благодаря N−H···S водородной связи. H-связь приводит к увеличению интенсивности полос в ИК-спектре.

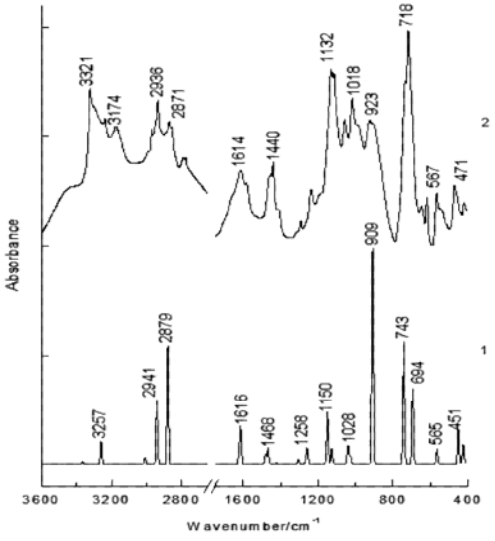


Рис. 3. Вычисленный (1) и наблюдаемый (2) ИК-спектры G_0

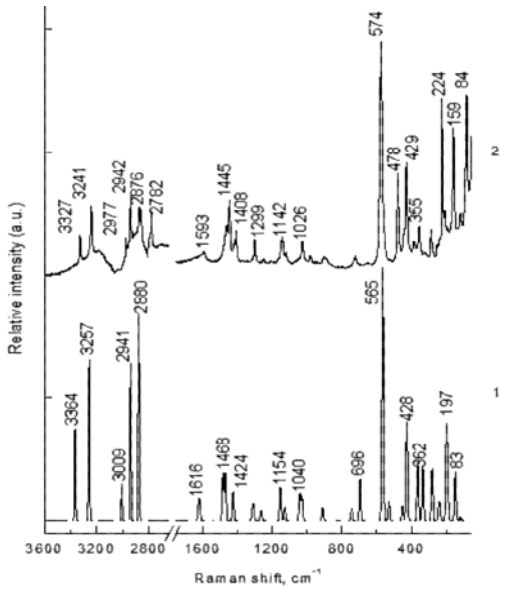


Рис. 4. Рассчитанный (1) и опытный (2) КР спектры G_0

Линия 2876 см$^{-1}$ в спектре КР и полоса 2871 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 относятся к симметричным валентным колебаниям CH_3 групп. Пики 2971 и 2936 см$^{-1}$ в ИК-спектре и линии 2977 и 2942 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 обусловлены асимметричными валентными колебаниями этих групп. Частота 1614 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 приписана к NH_2 ножничным колебаниям. Максимум 1440 см$^{-1}$ в ИК-спектре и линия 1441 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 связаны с асимметричными деформационными колебаниями CH_3 групп. Пик 1408 см$^{-1}$ в спектре КР и частота 1414 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 обусловлены симметричными деформациями CH_3 групп.

Частота 1299 см$^{-1}$ в спектре КР и пик 1294 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 приписаны к NNH деформации. Максимум 1180 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 вызван NCH деформацией. Пики 1132, 1116, 1058 см$^{-1}$ в ИК-спектре и линии 1142, 1121 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 отнесены к NCH изгибу и CN растяжению. Частоты 1018, 991 см$^{-1}$ в ИК-спектре и линии 1026, 980 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 приписаны CN растяжению, NNH и NCH изгибам.

Максимумы 923, 907 см$^{-1}$ в ИК-спектре и пик 896 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 были атрибутированы как NN и PN растяжения. Частота 736 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 относится к P=S растяжению. Слабая линия 722 см$^{-1}$ в спектре КР и пик 718 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 отнесены к PN, CN и NN валентным колебаниям. Слабая линия 574 см$^{-1}$ в спектре КР и полоса 567 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 вызваны PN, NN и P=S растяжениями. Полоса 471 см$^{-1}$ в ИК-спектре и полоса 478 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 отнесены к CNN, PNN и CNP деформационным колебаниям. Полоса 421 см$^{-1}$ в ИК-спектре и полосы 429, 385, 355, 287, 250, 224, 220, 209 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 относятся к крутильным колебаниям вокруг NN, CN- и PN-связей.

Слабая полоса 722 см$^{-1}$ в спектре КР и полоса 718 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 отнесены к PN, CN и NN валентным колебаниям. Слабая полоса 574 см$^{-1}$ в спектре КР и полоса 567 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0 вызваны PN, NN и P=S растяжениями. Полоса 471 см$^{-1}$ в ИК-спектре и полоса 478 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 отнесены к CNN, PNN и CNP деформационным колебаниям.

Частота 421 см$^{-1}$ в ИК-спектре и линии 429, 385, 355, 287, 250, 224, 220, 209 см$^{-1}$ в спектре КР G_0 относятся к кручению относительног NN-, CN- и PN-связей.

Следовательно, ядро дендримера P=S проявляет себя как полоса 736 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0, отнесенная к P=S растяжению. Функциональные аминные группы отличаются частотами 3321, 3238, 1614 см$^{-1}$ в ИК-спектре G_0. Линии 3327, 3241, 1593 см$^{-1}$ в экспериментальном спектре КР G_0 обусловлены этими группами.

Интенсивность основных полос в ИК- и КР-спектрах G_0 передаются вычислениями. Рассчитанные спектральные кривые G_0 соответствуют опыту во всем спектральном диапазоне.

Было проведено очень большое число реакций аминных групп G_0 [7]. Например, впервые описан дендример, имеющий три и даже четыре различных типа терминальных функций одновременно [7]. Этот очень специфичный тип функционализации был назван «мультиплюрафункционализация» [7].

Мы рассчитали энергии наивысшей занятой молекулярной орбитали (НЗМО) и самой низкой не занятой молекулярной орбитали (ННМО). Для G_0 НЗМО распространяется по всей молекуле, тогда как ННМО локализована на аминных группах. Самым нуклеофильным местом молекулы G_0 является атом S2. Этот атом наиболее богат электронами и образует связь S···H−N.

Список библиографических ссылок

1. Caminade A. M., Ouali A., Laurent R., Turrin C. O., Majoral J. P. Coordination chemistry with phosphorus dendrimers. Applications as catalysts, for materials, and in biology // Coord. Chem. Rev. 2016. V. 308. P. 478−497.
2. Caminade A. M. Inorganic dendrimers: recent advances for catalysis, nanomaterials, and nanomedicine // Chem. Soc. Rev. 2016. V. 45. P. 5174−5186.
3. Caminade A. M., Majoral J. P. Bifunctional phosphorus dendrimers and their properties // Molecules. 2016. V. 21. P. 538−561.
4. Caminade A. M., Hameau A., Majoral J. P. The specific functionalization of cyclotriphos-phazene for the synthesis of smart dendrimers // Dalton Trans. 2016. V. 45. P. 1810−1822.
5. Caminade A. M., Turrin C. O., Majoral J. P. Biological properties of water-soluble phosphorhydrazone dendrimers // Brazilian J. Pharm. Sci. 2013. V. 49. № 1. P. 33−44.
6. Caminade A. M., Laurent R., Zablocka M., Majoral J. P. Organophosphorus chemistry for the synthesis of dendrimers // Molecules. 2012. № 17. P. 13605−13621.
7. Launay N., Galliot C., Caminade A. M. Synthesis of small phosphorus dendrimers from (S)P[N(Me)-NH_2]$_3$ // Bull. Soc. Chim. Fr. 1995. V. 132. P. 1149−1155.
8. Furer V. L., Vandyukova I. I., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. DFT study of structure, IR and Raman spectra of P'0 and P'4 dendrimers built from octasubstituted metal-free phthalocyanine core // Chem. Phys. 2009. V. 358. P. 117−183.
9. Furer V. L., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. DFT study and vibrational spectra of the phosphorus-containing G0 generation dendrimer // Vib. Spec. 2006. V. 40. P. 155−160.
10. Furer V. L., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. Fourier-transform infrared and Raman difference spectroscopy studies of the phosphorus-containing dendrimers // Spectrochim. Acta. p. A, 2004. V. 60. P. 1649−1657.
11. Chandrasekhar V., Azhakar. A tubular architecture in a phosphorus based trihydrazide // Cryst. Eng. Com. 2005. V. 7. P. 346−349.
12. Glendening E. D., Landis C. R., Weinhold F. NBO 6.0: Natural bond orbital analysis program // J. Comp. Chem. 2013. V. 34. P. 1429−1437.

Furer V.L. – doctor of chemical sciences, professor
E-mail: furer@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Investigation of structure, IR- and Raman spectra of phosphortrihydrazide by DFT method

Abstract

Problem statement. In this paper, we report the study of vibrational spectra and quantum-chemical calculations of phosphortrihydrazide G_0, which is a zero generation dendrimer with tapered architecture. This work is a continuation of the spectral and quantum-chemical studies

of the structure and reactivity of the dendrimers. The calculated geometric parameters were compared with experimental data obtained by X-ray. So that the main objective of this work was to obtain the spectral characteristics of different structural parts of the dendrimer: core and terminal amine groups on the basis of quantum chemical calculations.

Results. The IR and Raman spectra of phosphortrihydrazide were registered. This compound is a zero generation dendrimer G_0 with terminal amine groups. Optimization of the structure and the analysis of normal vibrations was made for G_0 by density functional theory (DFT). The optimized bond lengths and angles obtained by DFT, are in good agreement with experiment. The obtained results allow to understand the structure, dynamics and properties of dendrimers.

Conclusions. Amine end groups are characterized by bands at 3321, 3238, 1614 cm^{-1} in the experimental IR spectrum and bands at 3327, 3241 cm^{-1} in the Raman spectrum of G_0. Experimental frequency of asymmetric and symmetric NH_2 stretching vibrations are lower than the theoretical values due to the intramolecular hydrogen bond N−H···S. This hydrogen bond is also responsible for a higher intensity of these bands in the IR-spectrum compared with the theoretical values. Relying on DFT calculations a complete vibrational assignment is proposed for the studied dendrimer.

Keywords: phosphorus-containing dendrimers, IR-spectra, Raman spectra, density functional theory.

References

1. Caminade A. M., Ouali A., Laurent R., Turrin C. O., Majoral J. P. Coordination chemistry with phosphorus dendrimers. Applications as catalysts, for materials, and in biology // Coord. Chem. Rev. 2016. V. 308. P. 478−497.
2. Caminade A. M. Inorganic dendrimers: recent advances for catalysis, nanomaterials, and nanomedicine // Chem. Soc. Rev. 2016. V. 45. P. 5174−5186.
3. Caminade A. M., Majoral J. P. Bifunctional phosphorus dendrimers and their properties // Molecules. 2016. V. 21. P. 538−561.
4. Caminade A. M., Hameau A., Majoral J. P. The specific functionalization of cyclotriphos-phazene for the synthesis of smart dendrimers // Dalton Trans. 2016. V. 45. P. 1810−1822.
5. Caminade A. M., Turrin C. O., Majoral J. P. Biological properties of water-soluble phosphorhydrazone dendrimers // Brazilian J. Pharm. Sci. 2013. V. 49. № 1. P. 33−44.
6. Caminade A. M., Laurent R., Zablocka M., Majoral J. P. Organophosphorus chemistry for the synthesis of dendrimers // Molecules. 2012. № 17. P. 13605−13621.
7. Launay N., Galliot C., Caminade A. M. Synthesis of small phosphorus dendrimers from $(S)P[N(Me)\text{-}NH_2]_3$ // Bull. Soc. Chim. Fr. 1995. V. 132. P. 1149−1155.
8. Furer V. L., Vandyukova I. I., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. DFT study of structure, IR and Raman spectra of P'0 and P'4 dendrimers built from octasubstituted metal-free phthalocyanine core // Chem. Phys. 2009. V. 358. P. 117−183.
9. Furer V. L., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. DFT study and vibrational spectra of the phosphorus-containing G0 generation dendrimer // Vib. Spec. 2006. V. 40. P. 155−160.
10. Furer V. L., Vandyukov A. E., Majoral J. P., Caminade A. M., Kovalenko V. I. Fourier-transform infrared and Raman difference spectroscopy studies of the phosphorus-containing dendrimers // Spectrochim. Acta. p. A, 2004. V. 60. P. 1649−1657.
11. Chandrasekhar V., Azhakar. A tubular architecture in a phosphorus based trihydrazide // Cryst. Eng. Com. 2005. V. 7. P. 346−349.
12. Glendening E. D., Landis C. R., Weinhold F. NBO 6.0: Natural bond orbital analysis program // J. Comp. Chem. 2013. V. 34. P. 1429−1437.

УДК 691.42

Чекмарев А.С. – кандидат технических наук, заведующий отделом технологических испытаний

E-mail: mr.chekmarev@gmail.com

Скворцов А.В. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: skvorcov07@mail.ru

Гайнутдинов Н.К. – кандидат технических наук, заместитель заведующего отделом технологических испытаний

E-mail: ganaka2@yandex.ru

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Зинина, д. 4

Исследование процесса сушки керамических строительных материалов для создания экспрессной методики оценки глинистого сырья[1]

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования являлось создание экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья

Результаты. В результате выполнения исследований разработан программный модуль «Ceramic Master», который позволяет производить оценку таких параметров как воздушная усадка, критическая влажность, градиент влажности, коэффициент чувствительности материала к сушке, а также дополнительно определять пластичные свойства глиномасс. Проведено испытание глинистого сырья и диатомита, показана возможность модификации глинистого сырья, и объяснен механизм модификации.

Выводы. Проведенное исследование показало, что разработанный программный модуль «Керамик-Мастер» позволяет решить фундаментальную научную проблемы оценки качества глинистого сырья для строительной керамики. Разработанные подходы к оценке технологических свойств позволяют производить анализ технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима сушки керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Ключевые слова: глинистое сырье, диатомит, технологические свойства, геотехнологическая оценка сырья, коэффициент чувствительности, модификация.

Геотехнологическая оценка месторождений и последующая экономически эффективная эксплуатация минерально-сырьевой базы глинистого сырья обеспечивают развитие современной строительной индустрии.

Выполнение данного исследования направлено на решение фундаментальной научной проблемы оценки технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Для решения этой проблемы разрабатывается экспрессная комплексная методика, которая при проведении геологических поисковых работ позволяет оценивать глинистое сырье с позиций технологической применимости на конкретных предприятиях и определять необходимость его модифицирования.

Технологическая схема производства изделий с пластическим способом подготовки массы, несмотря на свою сложность и длительность, наиболее распространена в промышленности стеновой керамики [1, 2]. Метод формования из пластических масс исторически сложился на основе пластических свойств глин и широко используется в керамической технологии. Способ пластического формования позволяет выпускать изделия в

[1]Исследование выполнено в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований 16-35-00536 мол_а «Создание экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья».

широком ассортименте, более крупных размеров, сложной формы и большей пустотности. Недостатком способа пластического формования является большая длительность технологического цикла за счет процесса сушки сырца, продолжающегося от 1 до 3 суток.

Большинство современных кирпичных заводов оборудовано устройствами для искусственной сушки кирпича-сырца, которые по режиму работы подразделяются на сушилки периодического (камерные) и непрерывного (туннельные) действия. Сушилки непрерывного действия (туннельные) являются наиболее современным сушильным агрегатом в кирпичной промышленности. В туннельной сушилке кирпич-сырец, находящийся в вагонетках, в течение цикла сушки перемещается через весь туннель от одного его конца к другому. Расход тепла на сушку кирпича-сырца в туннельных сушилках ниже, чем в камерных.

Но нужно отметить, что как в туннельных сушилках, так и в камерных процесс сушки регулируется в основном температурой и скоростью теплоносителя. Распределение меняющихся во времени полей влажности и температуры в объеме изделия определяет возможность появления опасных напряжений и брака. При сушке, испарение воды происходит диффузионным путем [3, 4]. Движущей силой является разность парциальных давлений пара у поверхности и в объеме высушиваемого объекта. Уменьшение влажности во внешних слоях заготовки сопровождается появлением градиента влажности в ее объеме, что вызывает диффузию капельно-жидкой воды из объема заготовки к поверхности.

При наличии градиента температуры на процесс влагопроводности накладывается процесс термовлагопроводности: вода стремится переместиться в области с меньшей температурой. Термовлагопроводность связана с уменьшением поверхностного натяжения и вязкости воды при повышении температуры и движением пузырьков воздуха в капиллярах. При интенсивном подводе теплоты возможно испарение влаги в глубинных слоях заготовки и удалении воды по механизму паропроводности. Движущей силой процесса является перепад давления водяного пара [2].

Причиной появления трещин в период постоянной скорости сушки полуфабриката является перепад влажности между наружными и внутренними частями заготовки. Критерием трещинообразования могут служить максимально допустимая разность между средней (интегральной) влажностью заготовки и влажностью ее поверхности [5-7].

Важным технологическим параметром сушки является критическая влажность глиняных изделий, так как ее значение соответствует прекращению усадки изделия. Значение градиента влажности определяется как разность между формовочной и критической влажностью. Градиент влажности отвечает за опасный участок ухода влаги из материала, так как в этот период происходит усадка, и материал подвергается всевозможным внутренним и наружным напряжениям.

Разработанный программный модуль «Ceramic Master» позволяет производить оценку таких параметров как воздушная усадка, критическая влажность, градиент влажности, коэффициент чувствительности материала к сушке, а также дополнительно определять пластичные свойства глиномасс. Применение математической модели менее трудоемко, чем проведение целого комплекса эмпирических исследований по подбору оптимального режима сушки [8]. По полученным результатам строятся кривые зависимости линейной усадки от влажности. Программный модуль обладает простым интерфейсом, панели разработанной программы «Ceramic Master» с входными параметрами, куда заносятся основные результаты по влажности и усадке в зависимости от времени сушки материала, итоговым графиком и результатами определенных технологических параметров (сушильных характеристик), отражены на рис. 1.

Цель проводимой работы – определить влияние температурных условий и скорости потока воздуха (сушильного агента) на сушильные свойства глиняных шихт и выявить динамику дегидратации композиций в процессе сушки с помощью разработанного программного модуля «Ceramic Master». Также определить влияние процесса сушки (при н.у.) на чувствительность сформованных пластическим способом изделий приготовленных из разработанных на основе глины месторождений Шеланга шихт.

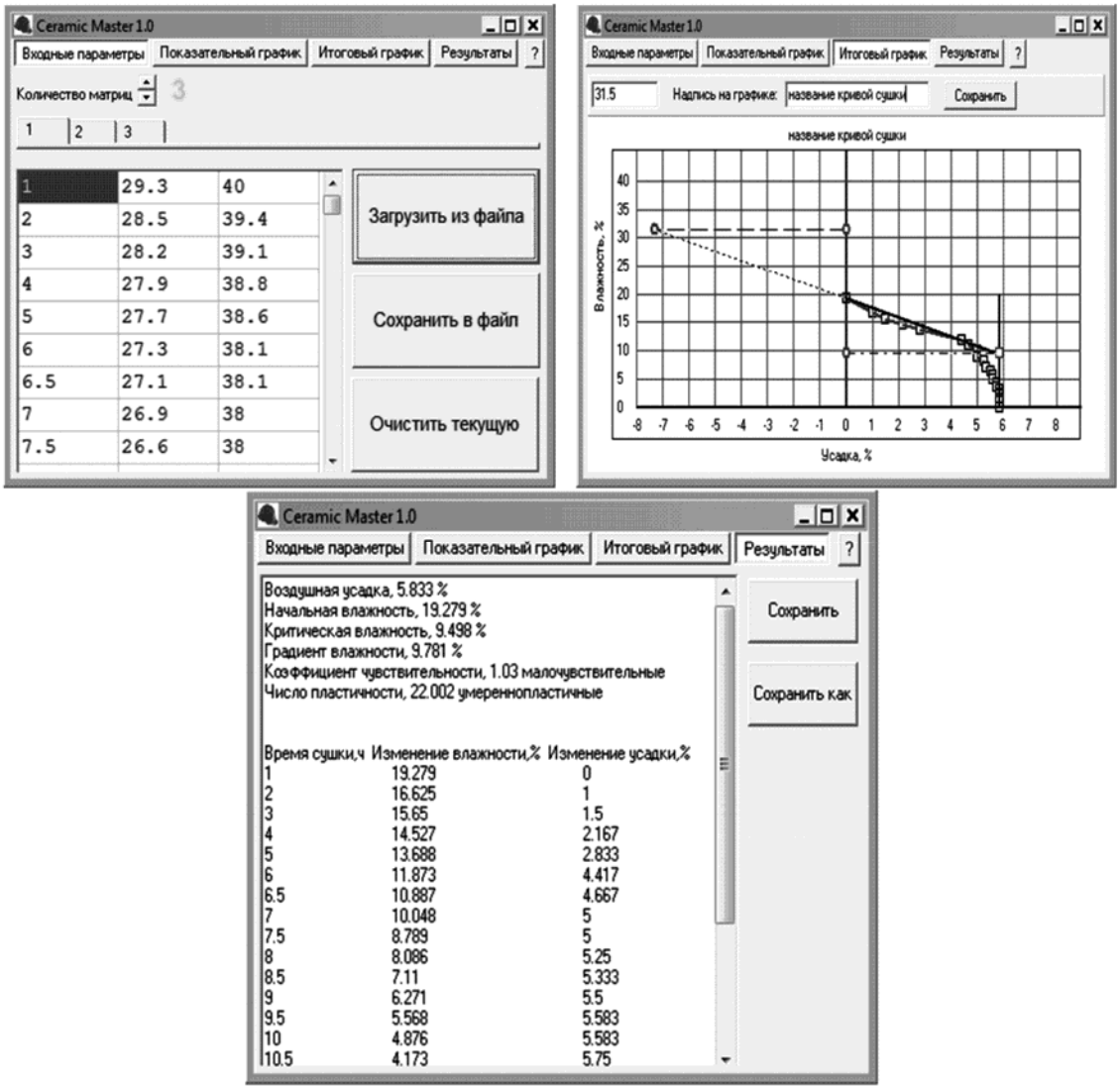


Рис. 1. Панели программы «Ceramic Master»
с примером определения основных сушильных свойств глиняных масс

В результате выполнения исследования направленного на решение фундаментальной проблемы – создания экспрессного метода оценки дообжиговых свойств глинистого сырья были поставлены и решены следующие задачи:

1) проведены испытания образцов материала на основе глинистого сырья и диатомита при различных скоростях потока сушильного агента: 42, 54, 78, 90, 96 $м^3$/ч. и при разных температурных режимах: 35, 45, 55, 65, 75 (°С);

2) построены кривые сушки для определения сушильных параметров материала;

3) исследовано влияния добавок на сушильные свойства глин и композиций, приготовленных на их основе;

4) определено влияние скорости потока и температуры сушильного агента на чувствительность материала к сушке;

5) выявлена динамика ухода влаги из материала в процессе изменения скорости теплоносителя и температуры;

На первом этапе были рассмотрены сушильные свойства глин месторождений Шеланга, а также добавок Инзеского диатомита и карбонатсодержащей глины месторождения Жуково при сушке на воздухе (н.у.). Сушилные свойства глин рассматривались с использованием программы «Ceramic Master», с помощью которой, были определены основные параметры сушки (табл. 1).

Таблица 1

Сушильные характеристики глинистого сырья

Сушильные характеристики	Глина месторождения Шеланга, РТ	Глина месторождения Жуково, РТ	Диатомит Инзенского месторождения, Ульяновская область
Воздушная усадка, %	9,4	6,5	4,7
Начальная влажность (формовочная влажность), %	22,2	23,9	48,4
Критическая влажность, %	4,8	11,5	32,3
Градиент влажности, %	17,4	12,4	16,1
Коэффициент чувствительности к сушке, ед.	3,6	1,1	0,5

Рассмотрев, полученные опытным путем, результаты сушильных характеристик глины месторождения Шеланга выяснили, что исходная глина имеет коэффициент чувствительности 3,6 и является высокочувствительной к сушке вследствие этого, данное сырье требует модифицирования, так как в чистом виде она малопригодна для производства керамических изделий (в частности керамического кирпича).

В качестве модифицирующих добавок в данном исследовании были использованы диатомит Инзенского месторождения и карбонатная глина Жуковского месторождения. Положительное влияние подобных добавок в керамику приводиться в литературе [9, 10], однако механизм улучшения не раскрывается. Сушильные характеристики данного сырья были также определены с помощью модуля «Ceramic Master». Результаты эксперимента приведены в табл. 1. Коэффициент чувствительности данных добавок к сушке составляет 1,1 и 0,5 единиц, что соответствует малой чувствительности сырья к сушке, и соответственно внесение их в шихту позволит повысить технологические параметры исходной глины месторождения Шеланга.

Для определения степени улучшения сушильных свойств при введении в состав шихты рассмотренных добавок были составлены шихты в соотношении Шеланговская глина: добавка как 70:30. Из полученных глиномасс были сформированы лабораторные образцы и испытаны с помощью модуля «Ceramic Master». Результаты исследования приведены в табл. 2.

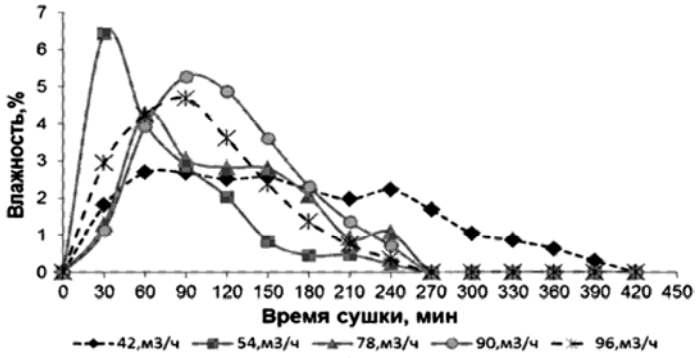
Таблица 2

Сушильные характеристики шихт на основе глины месторождения Шеланга

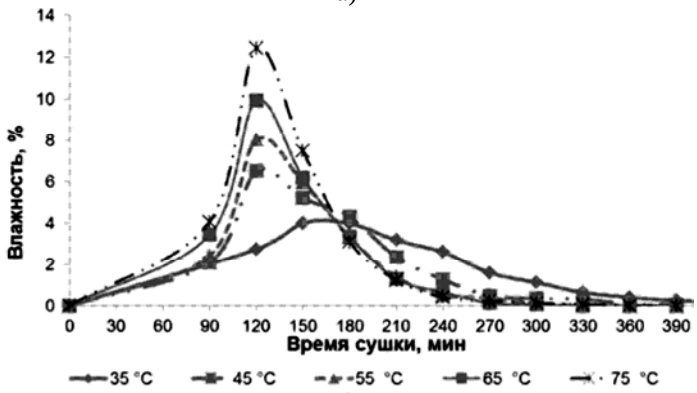
Сушильные характеристики	Шеланговская глина 70 % + карбонатная глина 30 %	Шеланговская глина 70 % + диатомит 30 %
Воздушная усадка, %	8,2	6,5
Начальная влажность (формовочная влажность), %	19,7	32,8
Критическая влажность, %	2,9	16
Градиент влажности, %	16,8	16,8
Коэффициент чувствительности к сушке, ед.	5,2	1,58

Из результатов исследования видно, что наилучшим модифицирующим действием, в части улучшения сушильных свойств глины Шеланговского месторождения обладает диатомит. Так введение данной добавки понижает чувствительность материала к сушке 3,6 до 1,58 единиц, переводя высокочувствительное к сушке сырье в среднечувствительное состояние. Тогда как добавка глины Жуковского месторождения показывает обратный эффект – увеличивая чувствительность до 5,2 единиц. Поэтому в дальнейших исследованиях мы ограничились введение в глинистое сырье месторождения Шеланга Инзенского диатомита.

Для определения такой разности в чувствительности материалов к сушке была исследована динамику ухода влаги из этих материалов под действием внешних факторов (скорости потока воздуха и температуры теплоносителя). Исследование также проводилось с применением испытательного модуля «Ceramic Master», по результатам исследования были построены графические зависимости ухода влаги с течением времени сушки (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Динамика ухода влаги из глины месторождения Шеланга при изменении скорости (а) и температуры (б) теплоносителя

При рассмотрении динамики ухода влаги из глины месторождения Шеланга (рис. 2) в зависимости от скорости и расхода теплоносителя можно увидеть следующие закономерности: Интенсивность ухода влаги в первые часы сушки максимальна уже при расходе теплоносителя 54 м^3/ч, так за первые 30 минут с поверхности образца уносится более 6,5 % влаги, что создает значительные напряжения в структуре материала и он растрескивается. Необходимо отметить при этом важность такого параметра, как начальная (формовочная) влажность материал, которая, безусловно, может повлиять на трещиностойкость материала на начальном этапе сушки изделия, создав дополнительные напряжения при удалении влаги. В данном испытании она была превышена. Аналогичная картина наблюдается и при более интенсивных расходах теплоносителя, так максимальная высота пика ухода влаги при расходе теплоносителя 90-96 м^3/ч достигает 4,7-5,3 %, что свидетельствует о повышенной чувствительность материала к сушке. Таким образом, оптимальным значением расхода теплоносителя для глины Шеланговского месторождения считаем 42 м^3/ч. Уход влаги представлен пиком не более 2,8 %, при этом сам график характеризовался достаточно пологим участком, обуславливающим равномерный выход влаги из материала.

На графике, где интенсивность ухода влаги из материала была определена повышением температурных условий, закономерность ухода влаги была выражена намного четче. Так с повышением температуры теплоносителя высота пика ухода влаги на начальных этапах сушки достигает 12,8 % при температуре 75 ^{o}С. Таким образом, использование программно-технического модуля «Ceramic Master» может позволить контролировать процесс равномерного ухода влаги из материала, регулируя температуру и скорость сушильных газов.

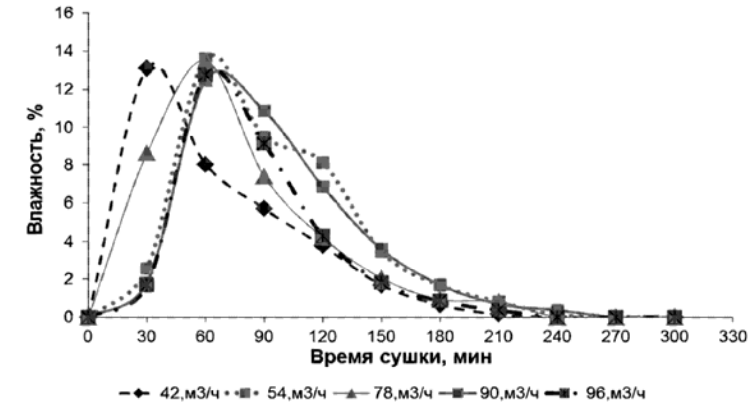
Аналогичные исследования были проведены для Инзенского диатомита. Результаты исследования динамики ухода влаги из диатомита Инзенского месторождения показали следующие закономерности:

1. Пики ухода влаги из материала даже при изменении расхода теплоносителя более пологие, чем у глины Шеланговского месторождения, хотя максимальная высота пика (при расходе теплоносителя 96 м^3/ч) составляет 17,5 %. Данный показатель

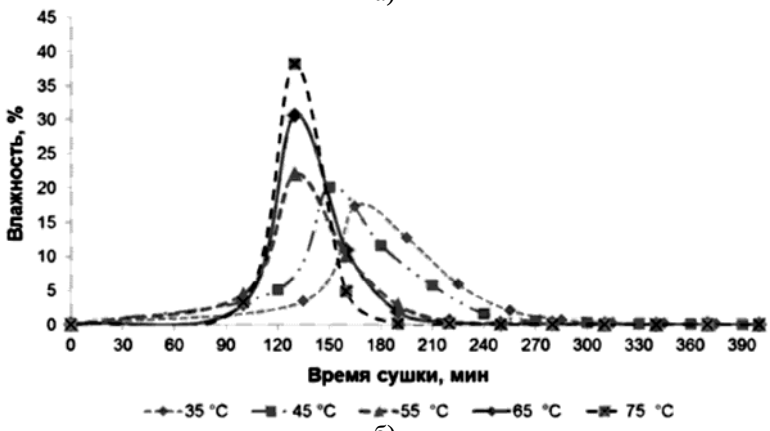
объясняется высокой пористостью самого диатомита, а также способностью хорошо удерживать воду.

2. При повышении температуры теплоносителя наблюдается такая же закономерность роста пика ухода влаги из материала, как и в глине месторождения Шеланга. Высота пика достигает 55 % и обусловлена большой пористостью и значительной формовочной влажностью материала. При этом чувствительность материала к сушке возрастает незначительно и использование данного материала в качестве модифицирующей добавки позволит снизить чувствительность композиции глины Шеланга + диатомит.

Для рассмотрения влияния скорости и температуры сушильного агента на динамику ухода влаги из состава на основе глин месторождений Шеланга и введенной в него добавки Инзенского диатомита, были проведены аналогичные исследования. Полученные зависимости были сведены в общие графики (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Динамика ухода влаги из композиции глины и диатомита при изменении интенсивности скорости (а) и температуры (б) теплоносителя

Введение добавки диатомита позволяет понизить чувствительность сформованного материала к сушке до значения 1,1 при условиях сушки 42 $м^3$/ч и 25 ^oC. При увеличении скорости теплоносителя показатель чувствительности материала к сушке изменяется незначительно, однако по графикам видно расширение временного интервала активного ухода влаги за счет изменения способности материала удерживать влагу. В результате этого происходит сокращение времени полного высыхания материала в среднем с 270 (для глины без добавки) до 210 минут (для глины модифицированной диатомитом).

Динамика ухода влаги из материала, полученного модификацией диатомитом, характеризуется также увеличением интенсивности ухода влаги при изменении температурных режимов испытаний. Значительная высота пика ухода влаги обусловлена введением в состав шихты диатомита, обладающего большой пористостью и значительной формовочной влажностью материала.

Для понимания коллоидно-химических взаимодействий в системе глина-вода и процесса модифицирования был исследован электрокинетический потенциал

исследуемого природного сырья. Получены следующие значения электрокинетического потенциала (ζ):

Глина месторождения Жуково: – -0,0578, В

Глина месторождения Шеланга: – -0,0427, В

Инзенский диатомит: – -1,5550, В

По результатам исследований видно, что диатомит обладает более отрицательным значением ζ-потенциала, что обуславливает способность материала удерживать воду и отдавать ее при сушке постепенно, снижая внутренние напряжения в материале. Поэтому введение диатомит в качестве добавки способствует улучшению технологических (сушильных) свойств глины.

Таким образом, проведенное исследование показало, что разработанный программный модуль «Ceramic Master» позволяет решить фундаментальную научную проблему оценки качества глинистого сырья для строительной керамики. Разработанные подходы к оценке технологических свойств позволяют производить анализ технологических свойств глинистого сырья, как при геологоразведке, так и при эксплуатации месторождений, а также для проведения оперативного регулирования технологического режима сушки керамического производства в зависимости от качества применяемого сырья.

Список библиографических ссылок

1. Гузман И. Я. Химическая технология керамики и огнеупоров. М. : ООО РИФ Стройматериалы, 2003. 496 с.
2. Gömze L. A., Gömze L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles // Építőanyag. 2008. Vol. 60. № 4. P. 102–107.
3. Scherer G. W. Theory of Drying // Journal of the American Ceramic Society. 1990. Vol. 73. № 1. P. 3–14.
4. Булавин И. А. Тепловые процессы в технологии силикатных материалов. М. : Стройиздат, 1982. 247 с.
5. Книгина Г. И., Вершинина Э. Н., Тацки Л. Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. М. : Высш. шк., 1977. 208 с.
6. Гузман И. Я. Практикум по технологии керамики. М. : ООО РИФ Стройматериалы, 2005. 336 с.
7. Вакалова Т. В., Погребенков В. М., Ревва И. Б. Исследование физико-механических и технологических свойств глинистого сырья: методические указания. Томск : Томский политехнический университет, 2014. 36 с.
8. Dovzhenko I. G. Effect of metallurgical slags on the drying properties of ceramic bodies for the production of facing brick production // Glass and Ceramics. 2014. Vol. 70. № 11-12. P. 444–447.
9. Крупа А. А., Городов В. С. Химическая технология керамических материалов. Киев : Высш. шк., 1990. 399 с.
10. Кашкаев И. С., Шейнман Е. Ш. Производство глиняного кирпича. М. : Высш. шк., 1979. 348 с.

Chekmarev A.S. – candidate of technical sciences, the head of technological testing department

E-mail: mr.chekmarev@gmail.com

Skvorcov A.V. – candidate of technical sciences, leading scientific member

E-mail: skvorcov07@mail.ru

Gainutdinov N.K. – candidate of technical sciences, the depute of the head of technological testing department

E-mail: ganaka2@yandex.ru

Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals

The organization address: 420097, Russia, Kazan, Zinina st., 4

Investigation of the drying process conditions of building ceramics for creation an express method for the assessment of technological properties of clay raw materials

Abstract

Problem statement. The aim of the study was the creation of an express method of the assessment of clay raw materials previous burning properties.

Results. As a result of research developed a software module «Ceramic Master», which allows to evaluate parameters such as air shrinkage, the critical humidity, the humidity gradient, the coefficient of sensitivity of the material for drying, and additionally to determine the plastic properties of clay mixtures. The raw clay and diatomaceous earth materials were tested, the possibility of modification of the clay raw materials determined, and the mechanism of modification was explained.

Conclusions. The study showed that the developed software module «Ceramic Master» allows you to solve a fundamental scientific problem of assessing the quality of clay raw materials for building ceramics. Developed approaches of assessing technological properties allow to analyze the technological properties of clay raw materials, as in the exploration and exploitation of mineral deposits, as well as for operational control of the technological mode of drying ceramic production depending on quality of the used raw material.

Keywords: clay raw materials, diatomite, technological properties, geotechnical assessment of the raw materials, the response factor modification.

References

1. Guzman I. Y. Chemical technology of ceramics and refractories. M. : LLC RIF «Stroimaterialy», 2003. 496 p.
2. Gömze L. A., Gömze L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles // Építőanyag. 2008. Vol. 60. № 4. P. 102–107.
3. Scherer G. W. Theory of Drying // Journal of the American Ceramic Society. 1990. Vol. 73. № 1. P. 3–14.
4. Bulavin I. A. Heat processes in technology of silicate materials. M. : Stroyizdat, 1982. 247 p.
5. Knigina, G. I., Vershinin E. N., Tatski L. N. Laboratory works on the technology of building ceramics and artificial porous aggregates. M. : Higher. Sch., 1977. 208 p.
6. Guzman I. Y. Workshop on ceramic technology. M. : LLC RIF «Stroimaterialy», 2005. 336 p.
7. Vakulova T. V., Pogrebenkov V. M., Revva I. B. Study of physical-mechanical and technological properties of clay raw materials. Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2014. 36 p.
8. Dovzhenko I. G. Effect of metallurgical slags on the drying properties of ceramic bodies for the production of facing brick production // Glass and Ceramics. 2014. Vol. 70. № 11-12. P. 444–447.
9. Krupa A. A., Gorodov V. S. Chemical engineering ceramic materials. Kiev : Higher. Sch., 1990. 399 p.
10. Kachkaev I. S., Scheinman E. S. Production of clay bricks. M. : Higher. Sch., 1979. 348 p.

УДК 691.542
Шошин Е.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: shoshin234@mail.ru
Иващенко Ю.Г. – доктор технических наук, профессор
E-mail: psk@sstu.ru
Поляков А.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: polyakovsgtu@mail.ru
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
Адрес организации: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77
Буланов В.М. – ведущий государственный судебный эксперт
E-mail: SAR_BWM@mail.ru
Саратовская лаборатория судебной экспертизы министерства юстиции РФ
Адрес организации: 410003, Россия, г. Саратов, ул. Кутякова, д. 10

Исследование гидросиликатов цемента, модифицированных изомерными дисахаридами, методом дифференциального термического анализа

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы явилось изучение процессов дегидратации гидросиликатов цемента, модифицированных изомерными дисахаридами (сахароза, мальтоза, лактоза), изучение процессов окисления сахарозы, входящей в состав гидросиликатов цемента с помощью метода дифференциального термического анализа.

Результаты. Для получения результатов по составу дегидратированного цемента использовали термографическое исследование. Также был проведен эксперимент по термической дегидратации гидросиликатов цемента модифицированных различным количеством сахарозы

Выводы. Обнаружено, что термическая дегидратация модифицированных гидросиликатов цемента при 150℃ сопровождается окклюзией сахарозы минеральной матрицей, в результате чего наблюдается неполное окисление сахарозы, входящей в состав модифицированных гидросиликатов. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об эффектах окклюзии дисахаридов силикатной матрицей, что в свою очередь, является свидетельством образования соединений включения дисахарид – цементный гель, в которых углевод располагается в межслоевом пространстве тоберморитовых структур цементного геля.

Ключевые слова: портландцемента, модифицированные гидросиликаты, дисахариды, дифференциальный термический анализ, окклюзия.

Широкий круг работ зарубежных исследователей [1-7], а также работы по изучению свойств гидросиликатов цемента, модифицированных углеводами [8-10] демонстрируют уникальность поведения гидросиликатной системы в присутствие дисахаридов и, в частности, сахарозы. Взаимодействие сахарозы с гидросиликатами сопровождается образованием плотных и прочных адсорбционных оболочек [2]; в присутствие сахарозы растет доля цементного геля низкой плотности [5, 6], а также увеличивается общая пористость образцов модифицированных цементных паст [3], что свидетельствует об глубоких трансформациях структуры цементного камня, в том числе на наноуровне. В ходе изучения гидросиликатов цемента, модифицированных изомерными дисахаридами, было обнаружено, что при относительно низких температурах термообработки модифицированные гидросиликаты (МГС) распадаются с образованием частиц как субмикронного, так и нано-диапазонов [9], а сами модифицированные гидросиликаты в присутствие дисахаридов меняют свой состав [10]. Большинство обнаруженных эффектов не могут быть объяснены с позиций адсорбции углеводов на поверхностях силикатов, гидросиликатов или зародышевой фазы, в связи с этим возникло предположение об окклюзии дисахаридов тоберморитовыми структурами цементного геля, т.е. вовлечении углеводов в межслоевое пространство тоберморита. Для проверки этой гипотезы было предпринято термографическое исследование образцов цементных гидросиликатов, модифицированных изомерными дисахаридами: сахарозой, мальтозой и лактозой.

Термографическое исследование проводилось в ФБУ «Саратовская лаборатория судебной экспертизы» министерства юстиции РФ на дериватографе Q-1500D (МОМ Будапешт) с программно-аппаратным комплексом производства ООО ИП «Тетран» при скорости нагрева – 10 град/мин, атмосферные условия.

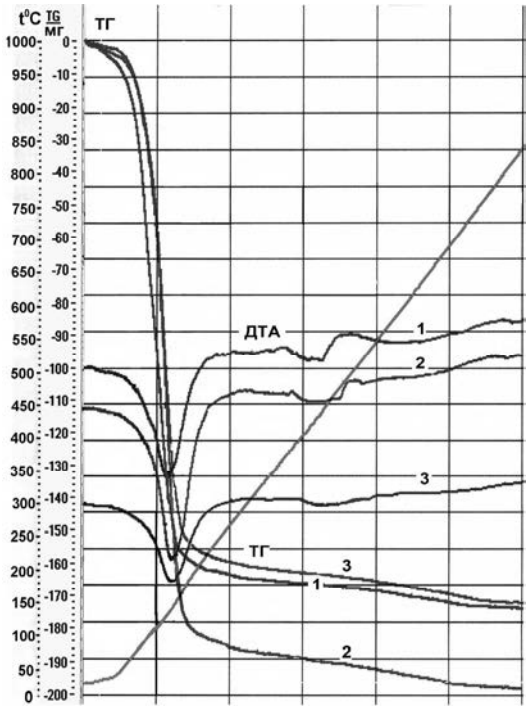


Рис. 1. Дериватограммы образцов гидросиликатов цемента, модифицированных:
1 – сахарозой, 2 – мальтозой, 3 – лактозой.
Содержание модифицирующего углевода – 2 %. Масса образца 500 мг

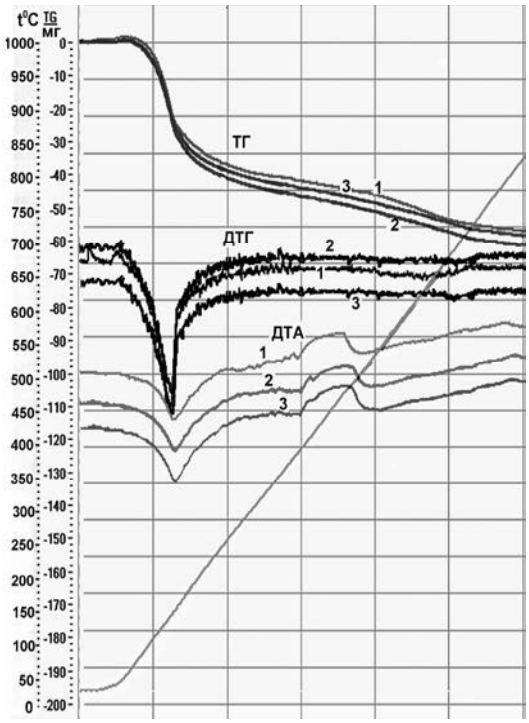


Рис. 2. Дериватограммы образцов гидросиликатов цемента, модифицированных:
1 – сахарозой, 2 – мальтозой, 3 – лактозой. Содержание модифицирующего углевода – 2 %.
Предварительная сушка над CaO. Масса образца 500 мг

Модифицированные цементные гидросиликаты синтезировались по схеме [9], заключающейся в помоле портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5 Н ООО «Холсим (Рус)» в шаровой мельнице в присутствие раствора соответствующего дисахарида при В/Ц=4,0. Концентрация модифицирующих углеводов для различных образцов варьировалась в диапазоне 2-8 %.

В качестве углеводов использовались изомерные дисахариды D-мальтоза, сахароза и D-лактоза с общей брутто-формулой $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Согласно данным [9], получаемые таким образом модифицированные гидросиликаты цемента не обладают кристаллической структурой, при этом независимо от вида модифицирующего дисахарида, на дериватограммах фиксируется широкий эндоэффект в области температур 40-260℃ с температурным максимумом Tmax= 130-140℃ (рис. 1). Такой температурный интервал свидетельствует о высокой гигроскопичности образцов, возможно, связанной с высокой дисперсностью частиц модифицированных гидросиликатов.

Учитывая высокую гигроскопичность указанных образцов, последние были подвергнуты предварительной сушке над CaO при 25℃ с последующим термографированием (рис. 2). Как и ожидалось, величина эндоэффекта существенно снизилась, однако диапазон температур, в котором регистрируется термоэффект изменился незначительно, а его температурный максимум для всех видов модифицирующих дисахаридов составил 140℃. Иными словами, не зависимо от вида модифицирующего углевода в ходе механо-химического синтеза образуются идентичные гидросиликатные структуры.

Отсутствие различий в характере представленных дериватограмм может иметь различное толкование: как свидетельство индифферентности гидросиликатов к пространственной структуре дисахаридов, как свидетельство неадсорбционного взаимодействия углеводов с гидросиликатами и, в частности, как свидетельство образования однотипных соединений включения углевод-гидросиликат.

Для прояснения ситуации был предпринят эксперимент по термической дегидратации гидросиликатов цемента модифицированных различным количеством сахарозы при температуре 150℃ в течение 2 часов при пониженном давлении с последующим термическим анализом продуктов дегидратации. Эксперимент ставился исходя из предположения, что дисахариды, вовлекаются в объем межслоевого пространства тоберморит-подобных структур гидросиликатов цементного геля, а в процессе термической дегидратации могут образоваться химические связи дисахарида с кремне-кислородным каркасом. Температура термолиза была выбрана на основании результатов ранее проведенных исследований, показавших, что при температуре 150℃ происходит разрушение модифицированных гидросиликатов цемента и образование в ходе процессов спекания частиц правильной сферической формы [9].

Из представленных данных (рис. 3) следует, что при температуре термообработки 150℃ модифицированные гидросиликаты цемента разлагаются – на кривой ДТА наблюдается почти полное исчезновение эндоэффекта с $T_{мах}$=140℃, характерного модифицированным гидросиликатам (рис. 2). В то же время, экзоэффект в диапазоне температур 400-500℃, соответствующий окислению сахарозы и наблюдавшийся на дериватограммах предварительно высушенных над CaO образцов МГС (рис. 2), претерпевает существенную трансформацию: на дериватограмме образца МГС с 2 % сахарозы присутствует небольшой экзоэффект, имеющий два максимума: $T_{мах}$=370℃ и $T_{мах}$=460℃ (рис. 3-1); по мере роста содержания сахарозы в образцах МГС экзоэффект закономерно увеличивается (рис. 3-2), а при содержании сахарозы 8 % приобретает сложную форму, при этом его нижняя температурная граница опускается до 250℃ (рис. 3-3). Последнее, по-видимому, связано с присутствием в образце свободной сахарозы, которая при температуре более 180℃ претерпевает процессы карамелизации [11]. В этом случае 8 %-е содержание сахарозы соответствует пределу насыщения гидросиликатов цемента сахарозой, что, в свою очередь, указывает на ассоциацию дисахарида с кремнекислородным каркасом тоберморита.

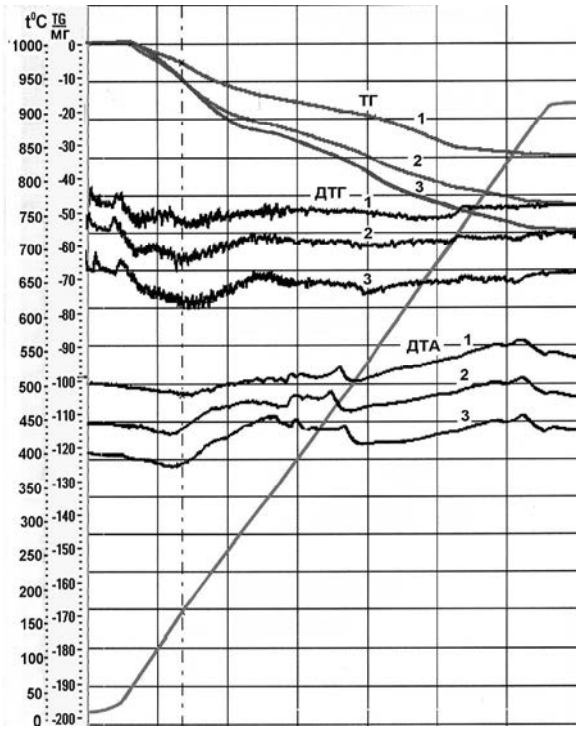


Рис. 3. Дериватограммы образцов модифицированных гидросиликатов цемента, подвергнутых термолизу при 150℃ (модификатор – сахароза). Содержание сахарозы: 1 – 2 %, 2 – 5 %, 3 – 8 %. Масса образца 400 мг

Картину дополняют кривые ТГ (рис. 3), из которых следует, что в ряду образцов МГС, содержащих сахарозу 2 %, 5 % и 8 % потери массы соответствующие процессу окисления сахарозы составляют 1 %, 1,5 % и 3,5 % соотв. (табл.). Т.е. в процесс окисления вступает только часть введенной в состав МГС сахарозы, тогда как остальная часть углевода остается в составе силиката. Обнаруженное неполное окисление сахарозы может свидетельствовать о процессах коксования дисахарида или его окклюзии минеральной матрицей, защищающей его от дальнейшего окисления. В пользу последнего свидетельствует низкий прирост потерь масс образцов при температуре 900℃, при которой продукты коксования в воздушной атмосфере, как правило, полностью выгорают [12].

Таблица

Результаты термического анализа образцов МГС, подвергнутых термической дегидратации при 150℃. Масса навески образца 400 мг

Содержание сахарозы, %	Температура начала экзоэффекта/ потеря массы образца, мг (%)	Температура конца экзоэффекта/ потеря массы образца, мг (%)	Полная потеря массы образца (900℃), мг, (%)	Потеря массы образца в ходе окисления, %
2	370℃ / 16 (4)	510℃ / 20 (5)	32 (8)	1
5	370℃ / 24 (6)	485℃ /30 (7,5)	48 (12)	1,5
8	250℃ / 22 (5,5)* 370℃ / 28 (7)	510℃ / 36 (9)	56 (14)	3,5* 2

*данные, учитывающие окисление свободной сахарозы

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют об эффектах окклюзии дисахаридов силикатной матрицей, что в свою очередь, является свидетельством образования соединений включения дисахарид – цементный гель, в которых углевод располагается в межслоевом пространстве тоберморитовых структур цементного геля.

Список библиографических ссылок

1. Akogu Elijah Abalaka. Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete // AU J.T. 2011. № 14 (3). P. 225–228.
2. Smitha B. J., Rawala A., Funkhouserb G. P., Robertsc L. R., Guptad V., Israelachvilia J. N., Chmelka B. F. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces // PNAS. 2011. v. 108. № 22. P. 8949–8954.
3. Maria C. Garci Juenger, H. M. Jennings. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes // Cement and Concrete Research. 2002. V. 32. P. 393–399.
4. Bazid Khan, Bulent Baradan. The effect of sugar on setting-time of various types of cements // Quarterly science vision. 2002. Vol. 8 (1). P. 71–78.
5. Jennings H.M. A model for the microstructure of calcium silicate hydrate in cement paste // Cem. Concr. Res. 2000. v. 30. P. 101–116.
6. Tennis P. D., Jennings H. M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes // Cem. Concr. Res. 2000. v. 30. P. 855–863.
7. Zhang L., Catalan Lionel J. J., Balec R. J., Larsen A. C., Esmaeili H. H., Kinrade S. D. Effect of saccharide set Retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate // J. Am. Ceram. Soc. 2010. v. 93. P. 279–287.
8. Тараканов О. В. Цементные материалы с добавками углеводов. Пенза : Изд-во ПГАСА, 2003. 166 с.
9. Шошин Е. А., Поляков А. В., Былинкина Н. Н., Буров А. М. Микроскопическое исследование продуктов термической дегидратации модифицированных цементных гидросиликатов // Вестник БГТУ им. Шухова. 2016. № 1. С. 18–25.
10. Шошин Е. А., Иващенко Ю. Г. Исследование состава цементных гидросиликатов, модифицированных изомерными дисахаридами // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 3 (28). С. 50–54.
11. Свойства органических соединений. Справочник. Л. : Химия, 1984. 520 с.
12. Вернигорова В. Н., Макридин Н. И., Соколова Ю. А. Современные методы исследования свойств строительных материалов. М. : АСВ, 2003. 240 с.

Shoshin E.A. – candidate of technical science, associate professor
E-mail: shoshin234@mail.ru
Ivashchenko Y.G. – doctor of technical science, professor
E-mail: psk@sstu.ru.
Polyakov A.V. – candidate of technical science, associate professor
E-mail: polyakovsgtu@mail.ru
State Technical University of Saratov name after Yuri Gagarin
The organization address: 410054, Russia, Saratov, Politekhnicheskaya st, 77
Bulanov V.M. – leading state forensic expert
E-mail: SAR_BWM@mail.ru
Saratov laboratory of judicial examination of Ministry of justice of the RF
The organization address: 410003, Russia, Saratov, Kutyakova st., 10

The study of hydro-silicates of cement modified isomeric disaccharides by differential thermal analysis

Abstract

Problem statement. The process of thermal dehydration of hydrosilicates of cement which has been modified isomeric disaccharides (sucrose, maltose, lactose) and the oxidation of sucrose in the composition modified hydro-silicates had been studied by differential thermal analysis.

Results. To obtain results on the composition digidratirovannogo cement used thermographic study. Also, the experiment was conducted at the thermal dehydration of hydrosilicates of cement modified with various amounts of sucrose

Conclusions. Discovered that the thermal (150℃) dehydration of modified hydrosilicates is accompanied by occlusion of the sucrose mineral matrix. The result is a partial oxidation of sucrose, in part of modified hydrosilicates. The obtained experimental data show the effects of occlusion disaccharides silicate matrix, which, in turn, is evidence of the formation of the inclusion compounds disaccharide – cement gel in which the carbohydrate is within the interlayer space tobermorite structures of cement gel.

Keywords: portland cement, modified hydrosilicates, disaccharides, differential thermal analysis, occlusion.

References

1. Akogu Elijah Abalaka. Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete // AU J.T. 2011. № 14 (3). P. 225–228.
2. Smitha B. J., Rawala A., Funkhouserb G. P., Robertsc L. R., Guptad V., Israelachvilia J. N., Chmelka B. F. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces // PNAS. 2011. v. 108. № 22. P. 8949–8954.
3. Maria C. Garci Juenger, H. M. Jennings. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes // Cement and Concrete Research. 2002. V. 32. P. 393–399.
4. Bazid Khan, Bulent Baradan. The effect of sugar on setting-time of various types of cements // Quarterly science vision. 2002. Vol. 8 (1). P. 71–78.
5. Jennings H.M. A model for the microstructure of calcium silicate hydrate in cement paste // Cem. Concr. Res. 2000. v. 30. P. 101–116.
6. Tennis P. D., Jennings H. M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes // Cem. Concr. Res. 2000. v. 30. P. 855–863.
7. Zhang L., Catalan Lionel J. J., Balec R. J., Larsen A. C., Esmaeili H. H., Kinrade S. D. Effect of saccharide set Retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate // J. Am. Ceram. Soc. 2010. v. 93. P. 279–287.
8. Tarakanov O. V. Cement materials with additives of carbohydrates. Penza : PGASA, 2003. 166 p.
9. Shoshin E. A., Polyakov A. V., Bylincina N. N., Burov A. M. Electron Microscopic study of the products of thermal dehydration of hydrosilicates modified cement // Vestnik BGTU im. Shukhova. 2016. № 1. P. 18–25.
10. Shoshin E.A., Ivashchenko Y.G. The study of the composition of cement hydrosilicates, modified isomeric disaccharides // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2016. № 3 (28). P. 50–54.
11. Properties of organic compounds. Reference. L. : Publishers Khimiya, 1984. 520 p.
12. Vernigorova V. N., Makridin N. I., Sokolova Yu. A. Modern methods of research of properties of building materials. M. : ASV, 2003. 240 p.

УДК 69.055
Имайкин Д.Г. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: imaykindg@mail.ru
Ибрагимов Р.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Совершенствование технологии бетонирования монолитных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. В статье приведен анализ существующих систем метода прогрева железобетонных конструкций. Показано, что, при бетонировании колонн прямоугольного сечения, область углов колонн характеризуется более низким качеством бетона, чем в остальных областях, что вызывает повышенную повреждаемость в указанных зонах. Для устранения существующих недостатков в статье предлагается конструкция опалубки для бетонирования монолитных колонн.

Результаты. Во время распалубки колонны часто происходит скол углов с обнажением арматуры. Также во время эксплуатации колонн их углы являются наиболее уязвимой частью при случайных ударных или статических нагрузках на них. Ремонт и восстановление внешнего вида и защитных свойств бетона в углах колонн зачастую вызывает необходимость применения специальных материалов или методов ремонта, значительно удорожающих строительство.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что причины пониженного качества бетона заключаются в неплотности стыков опалубочных элементов и пониженной температуре твердения бетона. А также в пониженной температуре в углах колонн, что является следствием недостатка существующих систем прогрева, не учитывающих неравномерность прогрева от собственного тепловыделения бетона при твердении и повышенных теплопотерь в углах колонн.

Ключевые слова: бетонирование, распалубочная прочность, возведение зданий, колонны, углы, технология, опалубка, монолит.

Опыт возведения железобетонных конструкций колонн зданий химических производств показывает, что наиболее «проблемным» местом этих колонн являются их углы. Во время распалубки колонны часто происходит скол углов с обнажением арматуры. Также во время эксплуатации колонн их углы являются наиболее уязвимой частью при случайных ударных или статических нагрузках на них. Ремонт и восстановление внешнего вида и защитных свойств бетона в углах колонн зачастую вызывает необходимость применения специальных материалов (ремонтных полимербетонов и пр.) или методов ремонта (торкретирования и пр.), значительно удорожающих строительство.

Причинами этой повышенной повреждаемости углов колонн в большинстве случаев являются два фактора:

1) менее качественный бетон в углах, чем в основном «теле» конструкции, в частности – более низкие прочностные свойства;

2) выступающий угол при внешних механических нагрузках создает большие напряжения в области защитного слоя арматуры.

Также одной из причин низкого качества бетона в углах колонн, особенно бетонирование которых происходило при отрицательных температурах наружного воздуха, является более низкая температура твердения бетона, чем основной массы бетона. Это вызвано двумя основными факторами:

1) при твердении бетона происходит выделение тепла, которое распределяется по телу сечению конструкции неравномерно – наиболее количество тепла располагается в центре, а наименьшее – на периферии, причем в углах температура более низкая, чем в серединах граней конструкции. Данный факт наиболее ярко проявляется для массивных конструкций – плотин, фундаментов и пр. В частности, в работе Пуляева И.С. [1-4]

приведены схемы распределения температур в теле бетонируемых пилонов;

2) в углах конструкций, особенно тех, которые эксплуатируются на открытом воздухе, происходят более интенсивные теплопотери, вызванные эффектом «обдува» ветром, а также теплопотерями через неплотности стыков опалубочных щитов. Данный факт был установлен в работе Зиневич Л.В. [5-8]. Данные представлены на рис. 1.

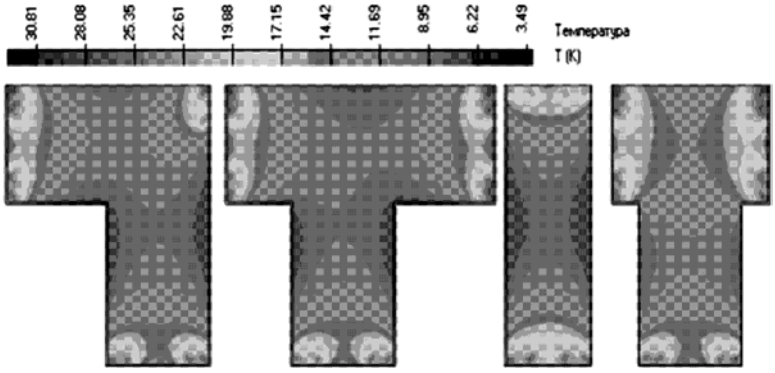


Рис. 1. Мозаика температурных полей в бетонируемых конструкциях

Одной из причин низкого качества бетона являются технологические причины – толщина защитного слоя в большинстве случаев не позволяет крупному заполнителю проникать в угловые зоны и тело бетона в нем состоит из мелкого заполнителя и вяжущего. Для создания условий заполнения углов качественным бетоном необходимо увеличить давление или увеличить количество крупного заполнителя, что может негативно сказаться на прочности бетона в средней части колонны. Отрицательную роль также играют устройства для фиксации определенной толщины защитного слоя, устанавливаемые на арматурный каркас и создающие препятствия для проникновения крупного заполнителя в локальные зоны углов.

На сегодняшний день наиболее часто применяются опалубки для колонн, состоящие из отдельных опалубочных щитов. Щиты бывают инвентарными, предназначенными для изготовления колонн одного типоразмера, и универсальными, предназначенными для изготовления большого количества различных монолитных бетонных конструкций (балок, плит, фундаментов и пр.). При небольших объемах работ строители зачастую изготавливают опалубку кустарным способом из имеющихся подручных материалов – фанеры, досок, бракованных отделочных плит и пр. Все эти виды опалубки объединяет то, что стыки опалубочных щитов при бетонировании колонн приходятся на углы конструкции. Некачественное изготовление щитов опалубки приводит к появлению в местах стыков значительных неплотностей и щелей. Это является причиной двух неприятных последствий: вытекания через них цементного «молока» с мелким заполнителем, что вызывает появление в углах каверн, обнажений арматуры, неровностей и некачественности поверхности бетона, а также бетон, застывший в щелях и неплотностях опалубки, способствует появлению дополнительных напряжений при распалубке, портит внешний вид колонны, создает возможность травмирования людей и пр. Также давление бетона при его заполнении опалубки и уплотнении способствует дополнительному раскрытию стыков между щитами.

На рис. 1 приведены данные о температуре наружной поверхности опалубки ригелей при прогреве их внутренними электродами. Как видно, разность в центре и углах конструкций температур также близка к 30 °С. Причем установлено, что величина снижения температуры в углах конструкций нельзя объяснить неравномерностью распределения тепла от внутренних греющих элементов. Доказано влияние скорости обдувающего ветра и теплопотерь от неплотностей стыков опалубочных щитов.

Исходя их всего вышесказанного, можно сделать вывод, что создание опалубки, конструкция которой будет способствовать более качественному бетонированию углов колонн, является весьма актуальной задачей для увеличения энергоэффективности строительного производства, повышения качества строительных изделий, как колонн, так и других монолитных бетонных конструкций.

При этом необходимо решить два основных вопроса: 1) конструкция опалубочной поверхности, непосредственно контактирующая с бетоном, должна исключать появление вышеуказанных недостатков бетонирования углов; 2) необходимо создать условия для достаточного прогрева углов колонн при отрицательных температурах наружного воздуха.

Для создания плотного стыка опалубочных щитов некоторые производители предлагают опалубку, в которой соединения щитов производится через специальные угловые элементы по принципу фланцевых соединений. Данные конструкции создают гораздо более качественные бетонные конструкции, но они решают это за счет изготовления и использования дополнительных соединительных элементов и усложнения конструкции щитов, что в конечном итоге приводит к невозможности применять щиты для одного вида колонн при изготовлении колонн других типоразмеров и значительному удорожанию строительства. Необходимо создать конструкцию опалубки, не имеющей стыковки опалубочных щитов в углах колонны. Для решения этой задачи могут применяться несъемные опалубки коробчатого сечения, однако их применение создает значительные трудности при армировании колонн, для равномерного заполнения опалубки бетоном и его уплотнения.

Для определения необходимой мощности нагревательных элементов было проведено экспериментальное исследование по определению температуры бетона от нагревательного элемента на различных от него расстояниях. На величину градиента температуры влияет его состав и, в первую очередь – содержание свободной воды.

Была сконструирована экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 2.

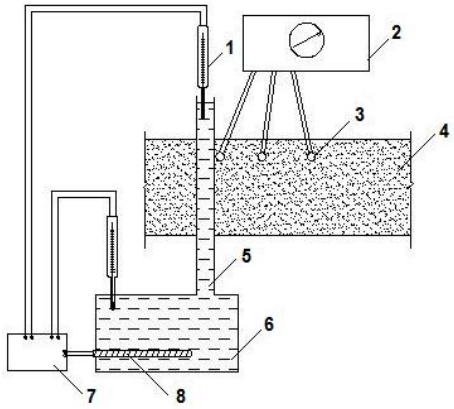


Рис. 2. Схема установки для определения температуры прогреваемого бетона:
1 – контактный термометр; 2 – самописец; 3 – термопары; 4 – образец бетона; 5 – медная трубка; 6 – емкость с водой; 7 – электронный блок; 8 – нагревательный элемент

В качестве образца была использована смесь крупнозернистого и мелкого песка и тонкомолотый шлак конверторного производства стали, имитирующий цемент. Соотношение количества песка и шлака по весу составляло 5:1. Исследования проводились на образцах с различным содержанием воды: В/Ц отношение составляло 1:5, 1:3, 1:1,5. Температура нагревательного элемента поддерживалась на уровне + 80 ºС – максимально возможной температуры прогрева бетона. Термопарами в количестве 7 штук измерялась температура в теле бетона на расстояниях от нагревательного элемента 0,5 см, 5 см, 10 см и фиксировалось на самописце.

Результаты проведенных исследований представлены в табл.

Таблица

Показатель водоцементного отношения и расстояния термопар

№ п/п	Расстояние, см	Водоцементное отношение		
		1/5	1/3	1/1,5
1	0,5	77,2	76,4	76,2
2	5	64,2	57,2	53,6
3	10	59,3	52,7	42,1

Полученные экспериментальным путем данные о закономерностях распределения температур в бетоне от нагревательного элемента позволят подбирать необходимое расстояние между нагревательными элементами для достижения равномерного прогрева конструкций по всей наружной поверхности.

Значительная неравномерность температуры поверхности в углах и середине граней колонн с прогреванием бетона была зафиксирована инженерами и строителями. Поэтому в некоторых стандартах использование нагревательных элементов колонн [9-12] были внесены следующие пункты:

1. Измерения температур должны проводиться в точках, с прогнозируемой наибольшей разницей температур (например, углы и ядро конструкции), не пренебрегая промежуточными участками измерения конструкций.

2. При прогнозировании поведения бетона в процессе бетонирования и контроля температуры необходимо учитывать фактическое положение температурных точек в теле конструкции. Допускается для упрощения ввода координат точек использовать условное деление конструкции на зоны, например, центр, угол и поверхность конструкции (рис. 3).

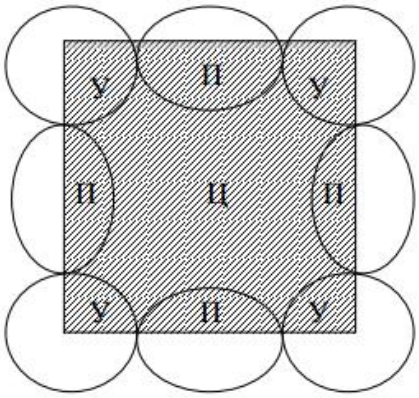


Рис. 3. Условные зоны обогрева конструкций:
У – угол; П – поверхность конструкции; Ц – центр конструкции

Как следует из рис. 3, форма опалубочных листов и расположение нагревательных элементов в углах колонн позволяет более равномерно распределить энергию нагрева с учетом собственного тепловыделения бетона и исключить эффект потерь тепла через неплотности стыков конструкции.

Температура от собственного тепловыделения бетона может определяться расчетным путем (из расчета величины градиента температур 2-4 см на градус толщины бетона) или в лабораторных условиях по существующим методикам.

В качестве греющих элементов можно использовать следующие технические решения:

1) Расположение греющих изолированных проводов с внешней стороны палубы под утеплителем (рис. 3).

2) Греющие элементы выполнить в виде токопроводящей пленки, наклеенной на сгиб внутренней поверхности палубы и защитить её слоем полимерного покрытия (например, эпоксидного). При этом саму палубу можно выполнить из стеклопластика, фанеры и пр.

3) Токопроводящие элементы также могут быть выполнены в виде металлических пластин, расположенных около углового сгиба и выполняющих роль электродов, пропускающих электроток через угловую зону колонн. При этом прогрев будет происходить в угловой зоне колонн. В качестве одного из электродов может использоваться внутренняя арматура, расположенная вблизи углов.

4) Металлические пластины, втопленные в угловой элемент, могут использоваться для индукционного прогрева угловых зон. Индукционная обмотка может быть закреплена на укрывном «одеяле», которое обматывается вокруг колонны с опалубкой и дополнительно служит для теплоизоляции, защиты от ветра, солнечного нагрева и испарения влаги.

5) Данный метод прогрева бетонных колонн может сочетаться с применением дополнительного наружного утепления, чему способствует отсутствие выступающих частей опалубки и небольшие размеры в плане (метод «термоса»).

В работах [13-15] установлено, что температура бетона в углах конструкции ниже, чем в средней части граней, при равномерном прогреве всей поверхности колонн.

Для устранения вышеуказанных недостатков нами предлагается следующая конструкция опалубки для бетонирования монолитных колонн, изображенная на рис. 4.

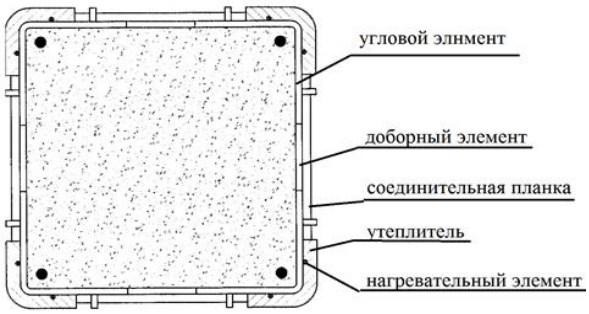


Рис. 4. Предлагаемая конструкция опалубки

Основными элементами опалубочной системы являются угловые элементы. Они выполнены из листовой стали, согнутой соответствующим образом, или из иного материала (например, стеклопластиковые). Данные элементы имеют следующие отличительные особенности:

1) загиб листа имеет заранее заданный радиус закругления, равный расстоянию от центра арматуры до наружной поверхности колонны, благодаря чему толщина защитного слоя на углах конструкции везде одинакова. Это придает конструкции лучший внешний вид, уменьшает вероятность образования скола при распалубке конструкции и эксплуатации колонны, а также уменьшает трудоемкость распалубки.

2) Зона загиба листа снабжена греющими элементами для локального прогрева угла колонны, а также утеплена для снижения теплопотерь. Это позволяет за счет более равномерного распределения энергии прогрева поверхности колонны добиться снижения энергопотребления и устранить неравномерность прогрева на различных участках поверхности.

Доборные элементы заполняют пространство между угловыми элементами и позволяют получить колонны нужных размеров.

Выводы

1. Анализ научно-технической литературы и натурные обследования показали, что при бетонировании колонн прямоугольного сечения область углов колонн характеризуется более низким качеством бетона, чем в остальных областях, что вызывает повышенную повреждаемость в указанных зонах.

2. Причиной пониженного качества бетона является неплотность стыков опалубочных элементов и пониженная температура твердения бетона при отрицательных температурах.

3. Пониженная температура в углах колонн является следствием недостатка существующих систем прогрева, не учитывающих неравномерность прогрева от собственного тепловыделения бетона при твердении, а также повышенных теплопотерь в углах колонн.

4. Предложенный вид опалубки в виде отдельных угловых элементов, имеющих форму закругления в углу колонны, позволяет создать эстетичный внешний вид колонн, понизить повреждаемость колонн в углах и снизить трудоемкость опалубочных работ при монолитном бетонировании колонн прямоугольного сечения.

5. Предложенная система локального прогрева поверхности бетонируемых колонн в угловых зонах позволяет по сравнению с традиционными методами и средствами

прогрева уменьшить неравномерность прогрева отдельных зон поверхности, и тем самым уменьшить расход энергии на прогрев бетона.

6. Предложенный принцип локального прогрева бетонируемых конструкций позволяет реализовать его большим количеством технических средств, что позволяет его применять для большого количества разнообразных конструкций и условий бетонирования и эксплуатации сооружений.

Список библиографических ссылок

1. Пуляев И. С., Пуляев С. М. К вопросу о максимальной температуре основания, при которой допускается укладка бетонной смеси при возведении транспортных сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-2. С. 295–301.
2. Ибрагимов Р. А., Пименов С. И., Изотов В. С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 63–69.
3. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А. Исследование факторов, влияющих на срок службы тентовых строительных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 120–123.
4. Щерба В. Г., Кочанов А. А., Сагалаков Г. В., Бахронов Р. Р., Коренков А. В. Исследование эффективных технологий всесезонного бетонирования конструкций многоэтажных монолитных жилых зданий // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 154–156.
5. Mgalobelov Yu. B. Advanced techniques in designing and building concrete dams // Hydrotechnical Construction. 2000. Vol. 34. № 8-9. P. 415–422.
6. Кузьмин И. Б. Теоретические основы технологии бетонирования монолитных конструкций пароразогретыми в автобетоносмесителях смесями // Строительство и реконструкция. 2011. № 6. С. 64–69.
7. Бугаевский С. А. Метод возведения каркасных систем нового типа // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2012. № 58. С. 78–84.
8. Федосов С. В., Кузьмин И. Б. Методика назначения технологических параметров производства бетона из пароразогретой смеси // Приволжский научный журнал. 2011. № 2. С. 31–38.
9. Тисецкая О. Ю. Экономическая эффективность основных технологий строительной индустрии // Экономика. Управление. Право. 2012. № 12-2 (36). С. 49–55.
10. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building. Modern Techniques and Technoloqies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
11. Kiyanets A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // Materials Science Forum. 2016. V. 843. P. 91–95.
12. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.

Imaykin D.G. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: imaykindg@mail.ru
Ibragimov R.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Perfection of technology of concreting of monolithic constructions

Abstract

Problem statement. The article provides an analysis of existing systems, the method of warming up of reinforced concrete structures. It is shown that during the concreting of rectangular

columns, the zone of columns angles characterized by a low concrete quality than in other areas, causing an increased defect in these areas. In order to eliminate the existing shortcomings in the article proposes the construction formwork for concreting monolithic columns.

Results. During the stripping column often occurs corners peeling with the reinforcement exposing. Also during the columns exploitation its corners are the most vulnerable part at random shock or static loads on them. Repair and restoration of the appearance and protective properties of concrete in the columns at the corners often necessitate the use of special materials or a method of repair is significantly high cost construction.

Conclusions. The studies found that the cause of reduced quality of the concrete is a leak joints of formwork elements and lower curing temperature of concrete at low temperatures, and low temperature in the corners of columns, which is a consequence of the lack of current warming systems that do not take into account the uneven warming on its own concrete heat when hardening, as well as increased heat in the corners of columns.

Keywords: concreting, stripping strength, erection of buildings, columns, corners, Technology, formwork, monolith.

References

1. Puliaev I. S., Puliaev S. M. On the issue of the maximum temperature of the base at which allowed laying of concrete in the construction of transport facilities // Vestnik MGSU. 2011. № 2-2. P. 295–301.
2. Ibragimov R. A., Pimenov S. I., Izotov V. S. Effect of mechanical activation on the binder properties of fine-grained concrete // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2015. № 2 (54). P. 63–69.
3. Imaykin D. G., Ibragimov R. A. A study of factors affecting the service life of tent construction materials // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. V. 18. 2015. № 14. P. 120–123.
4. Szczerba V. G., Kochanov A. A., Sagalakov G. V., Bakhronov R. R., Korenkov A. V. Study of effective technologies of all-weather concreting construction of multi-storey monolithic apartment buildings // Vestnik MGSU. 2008. № 3. P. 154–156.
5. Mgalobelov Yu. B. Advanced techniques in designing and building concrete dams // Hydrotechnical Construction. 2000. Vol. 34. № 8-9. P. 415–422
6. Kuzmin I. B. Theoretical bases of monolithic constructions concrete technology by steam heated mixtures in mixer trucks // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2011. № 6. P. 64–69.
7. Bugaevskiy S. A. The method of construction of a new type of frame systems // Vestnik Kharkovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2012. № 58. P. 78–84.
8. Fedosov S. V., Kuzmin I. B. Method of appointment of technological parameters of concrete production from steam heated mixture. // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2011. № 2. P. 31–38.
9. Tisetskaya O. J. Economic efficiency of the core technology of the construction industry // Ekonomika. Upravleniye. Pravo. 2012. № 12-2 (36). P. 49–55.
10. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building. Modern Techniques and Technoloqies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
11. Kiyanets A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // Materials Science Forum. 2016. V. 843. P. 91–95.
12. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.

УДК 69.07
Мавлюбердинов А.Р. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: mazatr73@mail.ru
Альмеев И.М. – студент
E-mail: iildarik21@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Технологические особенности капитального ремонта кровель жилых домов 30-50 гг. постройки прошлого столетия

Аннотация

Постановка задачи. В представленной статье рассматривается вопросы капитального ремонта кровельных конструкций зданий и сооружений.

Со временем конструктивные элементы здания подвергаются физическому и моральному износу. В результате этого кровля теряет свои эксплуатационные характеристики, в связи с чем приходится делать капитальный ремонт крыш. Капитальный ремонт конструкций крыш менее затратен по сравнению с реконструкцией.

Результат. Результатом исследований явился визуальный осмотр и исследование технического состояния конструкций зданий. Во время осмотра было обращено внимания на основные конструктивные элементы здания, такие как: стены, перекрытия, крыша.

Выводы. По результатам визуального осмотры были выявлены основные дефекты: разрушение кровельного ковра; протечки из кровли; гниение несущих деревянных конструкций покрытий (чердака); нарушение соединений в сопряжениях стропил; прогиб стропильных ног; разрушение карниза; вертикальные трещины в стене шириной раскрытием до 5 мм; разрушение штукатурного слоя на стене и на покрытиях; разрушение кирпичной кладки; разрушение покрасочного слоя.

Капитальный ремонт крыш целесообразно производить без выселения жильцов по специально разработанным для этих целей технологиям.

Ключевые слова: капитальный ремонт, крыша, визуальный осмотр, дефекты, протечки.

В современных условиях одной из важнейших стала проблема сохранения жилищного и производственного фондов, ремонтных работ и реконструкции, а еще и увеличение срока службы зданий и сооружений, что же дает возможность не только продлить жизненный цикл, но и значительно улучшить качество жилища, устранить коммунальное заселение, оборудовать здания нынешним инженерным оборудованием, улучшить архитектурную красочность зданий, увеличит их энергоэффективность, эксплуатационную безопасность и надежность. Со временем возрастает потребность в капитальном ремонте и восстановлении жилищного фонда страны, так как к моральному износу зданий прибавляется физический износ конструктивных элементов и инженерных систем, что ускоряет общий процесс старения.

Главная задача капитального ремонта состоит в замене и восстановление отдельных частей или целых конструктивных элементов зданий и сооружений в связи с их физическим износом и разрушением, а также в требуемых вариантах результатов морального износа конструкций и проведении работ в области повышению уровня благоустройства. При капитальном ремонте частично либо целиком устраняется моральный и физический износ зданий [3-4].

С течением времени конструктивные элементы здания подвергаются физическому и моральному износу. В результате этого кровля теряет свои эксплуатационные характеристики, в связи с чем приходиться делать капитальный ремонт крыш. Капитальный ремонт конструкций крыш менее затратен по сравнению с реконструкцией.

Крыша – важнейший конструктивный элемент здания, состоящий из внутренней несущей части, придающей крыше определенную форму, и внешнего гидроизоляционного покрытия, обеспечивающий защиту от воздействий окружающей среды и во многом определяющий внешний облик здания. От надежности и долговечности крыши во многом зависит долговечность здания в целом [1, 2].

По конструкционным особенностям выделяют несколько видов крыш: односкатная кровля, двускатная или щипцовая кровля, шатровая крыша, сводчатая кровля, вальмовая кровля, полувальмовая кровля, складочная кровля, куполообразная кровля, крестовой свод, шпилеобразная кровля, мансардные крыши [5]. У всякого из них имеется конкретные достоинства важные для того или иного типа зданий [6].

Так как кровля является основной ограждающей конструкцией зданий, она подвергается воздействию целого ряда факторов, таких как: атмосферные осадки, ветер, солнечная радиация, температурные колебания, водяной пар внутреннего воздуха здания, химически агрессивные вещества наружного воздуха, и механические нагрузки, влияние которых влечет за собой разрушения парапетов стен, а также и стропильных конструкций.

В ходе исследования были рассмотрены жилые дома постройки 30-50-х годов, так называемые «Сталинки».

В конструктивном исполнении рассмотренные здания представляют собой бескаркасное здания с несущими кирпичными стенами. Наружные стены однослойные, толщиной 650 мм, внутренние несущие стены толщиной 380 мм. Внутренние перегородки как правило сделаны из деревянных досок, покрыты сеткой из дранки и оштукатурены.

В конструктивном отношении фундаменты таких зданий представлены ленточными монолитными и столбчатыми.

Плиты перекрытия, как правило, деревянные либо комбинированные. Деревянные перекрытия устраиваются по деревянным балкам из бревен или брусов, а также – по стальным балкам.

Вначале 50-х уже применялись изготовленные заводским способом железобетонные плиты покрытия и перекрытия. Для звуко- и теплоизоляции применялись шлак и керамзит.

Рассмотренные здания 2-4-х этажные с количеством квартир на этаже до 4. Все квартиры одно, двух и трехкомнатные с высотой потолков до 3,25 м. Крыша зданий двух или многоскатная, образует большой чердак; стропила и обрешетка выполнены из дерева. В качестве кровельного материала применен асбестоцементные листы (шифер) или металлические листы. Типовые серии: 1-255; 1-411; 1-433 [6].

В ходе обследования произведен визуальный осмотр и анализ технического состояния конструктивных элементов зданий. Во время осмотра было обращено внимания на основные конструктивные элементы здания, такие как: стены, перекрытия, крыша.

По результатам визуального осмотры были выявлены основные дефекты: разрушение кровельного ковра; протечки из кровли; гниение несущих деревянных конструкций покрытий (чердака); неисправность соединений в сопряжениях стропил; прогиб стропильных ног; разрушение карниза; вертикальные трещины в стене шириной раскрытием до 5 мм; разрушение штукатурного слоя на стене и на покрытиях; разрушение кирпичной кладки; разрушение покрасочного слоя. Указанные дефекты и причины их возникновения существенно снижают эксплуатационные качества крыш, отрицательно влияют на их надежность и долговечность.

Несущие конструкции крыш у зданий, построенных до 50-х годов, выполнены из древесины. Нормативный срок службы деревянных стропил составляет 50 лет.

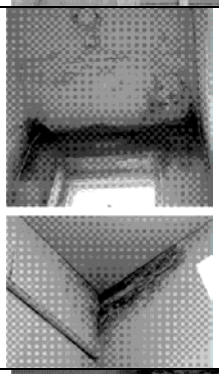
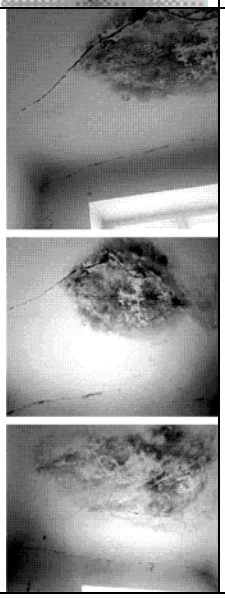
В существующих зданиях наибольшее распространение получили наслонные стропила.

Виды ремонтных работ по крышам зависят от технического состояния кровельного покрытия и несущих конструкций крыши, фактического срока эксплуатации крыш и остаточного срока эксплуатации здания или сооружения в целом.

Работы по ремонту конструкций крыш, как правило, выполняются после выселения жильцов или обслуживающего персонала [6]. В отдельных случаях ремонт может проводиться в условиях заселенного дома. В этом случае работы должны выполняться отдельными захватками, в сжатые сроки, с использованием предварительно заготовленных элементов [7]. Кроме того, должны быть приняты меры предосторожности против возможного обрушения элементов крыши, падения материалов, инструмента и людей, а также по защите зданий от атмосферных осадков.

По результатам осмотра зданий была составлена дефектная ведомость, табл.

Таблица

№	Наименование конструкции	Фотографии дефектов	Описание дефектов	Причины образования
1	Стены наружные		1. Разрушение штукатурного слоя. 2. Пустошовка кладки. 3. Протечки из крыши. 4. Участок разрушение кирпичной клаки в глубину не более 30 мм.	Длительный срок эксплуатации здания без проведения ремонтных работ, старение материала, атмосферные воздействия – попеременное увлажнение – высыхание, замораживание – оттаивание, увлажнение стен в результате протечек кровли, дефектов карнизных панелей и парапетных узлов.
2	Стены внутренние		1. Замачивания стены. 2. Протечки из крыши.	Длительный срок эксплуатации здания без проведения ремонтных работ, старение материала, атмосферные воздействия – попеременное увлажнение – высыхание, замораживание – оттаивание, увлажнение стен в результате протечек кровли, дефектов карнизных панелей и парапетных узлов.
3	Покрытия		1. Замачивания покрытия. 2. Трещины в штукатурном слое.	Длительный срок эксплуатации здания без проведения ремонтных работ, увлажнение покрытия в результате протечек кровли.

При замене кровельного покрытия, обрешетки и отдельных элементов стропильной системы работы выполняются в следующей последовательности:

– демонтаж парапетных решеток, радио и телеантенн;

– ремонт и оштукатуривание оголовков дымовых труб с заменой поврежденных дымовых каналов;

– демонтаж старого кровельного покрытия;

– ремонт или замена (полная или частичная) элементов стропильной системы;

– устройство нового кровельного покрытия;

– установка парапетных решеток, радио – и телеантенн;

– навеска водосточных труб [8].

Характерными дефектами концов стропильных ног является разрушение или ослабление врубок в местах опирания стропильных ног на мауэрлаты. Основные причины возникновения дефектов – использование влажной древесины, гниение древесины из-за протечек в кровельном покрытии.

Известны три варианта устранения данных дефектов:

– установка деревянных накладок и хомутов;

– установка металлических протезов;

– установка накладок с подбалкой.

Работы по ремонту крыш (рис. 1) выполняют в следующей технологической последовательности:

– усиление поврежденной стропильной ноги путем установки временных опор;

– разборка кровельного покрытия по обе стороны от поврежденной стропильной ноги;

– выпиливание обрешетки и дощатого настила;

– удаление скрутки или хомута, с помощью которых стропильная нога крепится к стене;

– выпиливание поврежденного участка стропильной ноги;

– разметка и устройство пропилов в мауэрлате для пропуска накладок;

– установка боковых накладок;

– установка скрутки или хомута;

– восстановление кровельного покрытия с обрешеткой и дощатым настилом;

– удаление временных опор.

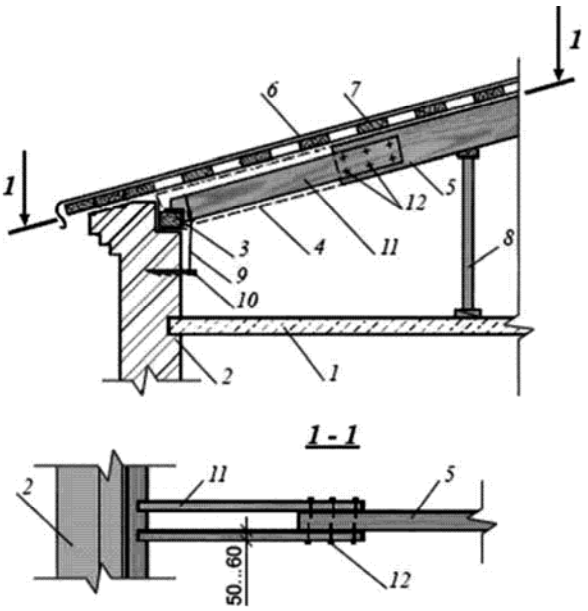


Рис. 1. Усиление концов стропильных ног деревянными накладками:
1 – мансардное перекрытие; 2 – стена; 3 – мауэрлат; 4 – поврежденный участок;
5 – «здоровый» участок; 6 – кровельное покрытие; 7 – обрешетка; 8 – временная стойка;
9 – скрутка; 10 – костыль; 11 – накладка; 12 – гвозди

Боковые накладки выполняют из досок толщиной 50-60 мм. В случае повреждения мауэрлата его удаляют, а боковые накладки опирают непосредственно на наружную стенку с прокладкой гидроизоляционного материала [9, 10].

Прутковые металлические протезы применяют при массовом повреждении стропильных ног (рис. 2). Они централизованно изготавливаются в заводских условиях или в мастерских.

Технологическая последовательность выполнения работ следующая:

– разгрузка поврежденной стропильной ноги путем установки временных опор;

– разборка кровельного покрытия, выпиливание обрешетки и дощатого настила в зоне повреждения стропильной ноги;

– отпиливание поврежденного участка стропильной ноги;

– установка пруткового протеза;

– восстановление обрешетки, дощатого настила и кровельного покрытия;

– удаление временных опор.

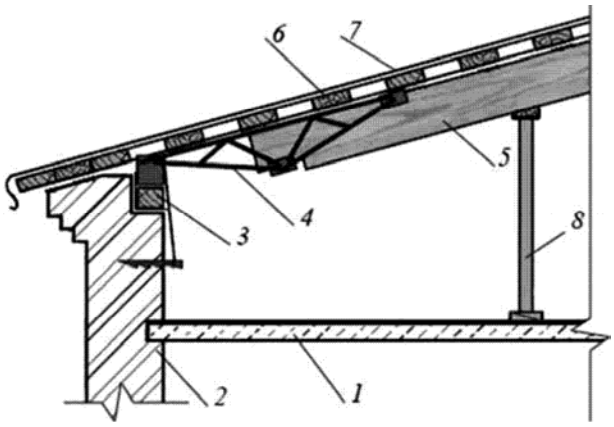


Рис. 2. Усиление концов стропильных ног металлическим протезом:
1 – чердачное перекрытие; 2 – стена; 3 – мауэрлат; 4 – металлический протез;
5 – стропильная нога; 6 – кровельное покрытие: 7 – обрешетка; S – временная стойка

Прутковый протез в нижней части имеет опорную площадку, в которую упирают спиленный торец стропильной ноги, что не позволяет ей в последующем сползать.

При пролетах более 5 м уклоны изменяют путем установки новых стропильных ног с сохранением существующих.

Для двухскатной крыши уклон с 18° до 27° изменяют путем установки новых стропильных ног, которые опирают на существующие с помощью двойных накладок толщиной 50-60 мм.

Усиление стропильных ног может выполняться путем уменьшения их свободного пролета с помощью установки деревянных или металлических шпренгельных ферм с шагом 3,5-4 м [6].

В отдельных случаях просевшие стропильные ноги укрепляют путем установки дополнительных стоек, которые опирают на балки чердачного перекрытия при условии обеспечения их прочности.

Усиление узлов сопряжения стропильной системы выполняется путем подтягивания существующих креплений (болтов, накладок и т.д.) и установки (при необходимости) новых.

Усиление висячих стропил осуществляют, как правило, путем установки новой или дополнительной затяжки с натяжной муфтой в середине пролета.

Капитальный ремонт жилых зданий, а именно ремонт кровельных конструкций и чердачных пространств необходимо производить специализированными строительно-монтажными организациями. До начала производства работ необходима обязательная разработка проектной документации на ремонт кровель с расчетами и проектированием несущих конструкций и др., а также разработка проектов производства работ, технологических карт на соответствующие виды выполняемых работ. В проектах

производства работ необходимо предусматривать выполнение работ по современным прогрессивным технологиям, с использованием современным материалов. Также обязательным является разработка мероприятий при производстве работ на высоте в строгом соответствии с нормативной документацией.

Заключение

Таким образом, в результате исследований были выявлены и классифицированы основные дефекты зданий 30-50 гг. постройки. Капитальный ремонт крыш целесообразно на наш взгляд производить без выселения жильцов по специально разработанным для этих целей технологиям.

Список библиографических ссылок

1. Самойлов В. С. Крыши, кровли, мансарды. Одесса, 2010. С. 6-8.
2. Деревянные дома и кровля // KROVMARKET.RU. URL: http://www.krovmarket.ru/o-kompanii/polezno-znat/?ELEMENT_ID=1766 (дата обращения: 22.12.2016).
3. Капитальный ремонт Сталинки // СТАЛИНКА.COM. URL: http://сталинка.com.ua/. (дата обращения: 23.12.2016).
4. Исследование жилищно-коммунальных отношений // IZHCOMMUNAL.RU. URL: http://izhcommunal.ru/dir/chto_takoe_kapitalnyj_i_tekushhij_remont/2-1-0-209 (дата обращения: 15.01.2017).
5. Андреев В. С., Преображенский А. Б. Крыши, кровли, мансарды и чердаки. Проектирование, монтаж. М., 2011. С. 3–21.
6. Эрнст Нойферт. Строительное проектирование. М. : Архитектура-С, 2011. 576 с.
7. Geoffrey West. A Guide to Major House Repairs : Crowood Press Ltd. 2012. 192 p.
8. Editors of Fine Homebuilding. Siding, Roofing, and Trim (For Pros, by Pros) // Taunton; Rev Upd edition 2014. 240 p.
9. Andy McCrea. Insulating Your House: A DIY Guide : Crowood Press. 2011. 160 p.
10. Chris Marshall. The Complete Guide to Roofing and Siding: Choose, Install + Maintain Roofing + Siding Materials : Cool Springs Press; 3rd edition. 2012. 256 p.

Mavlyuberdinov A.R. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: mazatr73@mail.ru
Almeev I.M. – student
E-mail: iildarik21@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Technological features of roofing overhaul of apartment houses, built in 30-50 years of the last century

Abstract

Problem statement. The present article deals with the issues of major repairs of the roofing of buildings and structures.

In the course of time, the structural elements of the building are subjected to physical and moral deterioration. As a result, the roof loses its operational characteristics, and therefore we have to do major repairs of roofs. Overhaul roof constructions are less expensive compared to the reconstruction.

Results. Research result is a visual examination and examination of technical condition of building structures. During inspection attention was paid to the main structural elements of the building, such as walls, floors, roof.

Conclusions. According to the results of visual inspections identified major defects: the destruction of roof cladding; leakage from the roof; rotting wooden coverings bearing structures (attic); violation of compounds mates trusses; rafters sag; the destruction of the cornice; vertical

cracks in the wall opening width of up to 5 mm; destruction of the plaster layer on the wall and on the covers; destruction of the brickwork; the destruction of painting layer.

Overhaul of roofs should be performed without the eviction of tenants on a specially designed for this purpose technologies.

Keywords: repair, roof, visual, inspection, defects, leakage.

References

1. Samoilov V. S. The roof, the roof, attic. Odessa, 2010. P. 6–8.
2. Wooden houses and roof // KROVMARKET.RU. URL: http://www.krovmarket.ru/o-kompanii/polezno-znat/?ELEMENT_ID=1766 (reference date: 12.22.2016).
3. Overhaul Stalinkas // STALINKA.COM. URL: http: //stalinka.com.ua/ (reference date: 23.12.2016).
4. A study of housing and communal relations // IZHCOMMUNAL.RU. URL: http:// izhcommunal.ru/dir/chto_takoe_kapitalnyj_i_tekushhij_remont/2-1-0-209 (reference date: 01.15.2017).
5. Andreev V. S., Transfiguration A. B. Roofs, roofs, attics and lofts. Design, installation. M., 2011. P. 3–21.
6. Ernst Neufert. Building design. M. : Architectura-S, 2011. 576 p.
7. Geoffrey West. A Guide to Major House Repairs : Crowood Press Ltd. 2012. 192 p.
8. Editors of Fine Homebuilding. Siding, Roofing, and Trim (For Pros, by Pros) // Taunton; Rev Upd edition, 2014. 240 p.
9. Andy McCrea. Insulating Your House: A DIY Guide : Crowood Press. 2011. 160 p.
10. Chris Marshall. The Complete Guide to Roofing and Siding: Choose, Install + Maintain Roofing + Siding Materials : Cool Springs Press; 3 edition. 2012. 256 p.

УДК.621.929
Мудров А.Г. – доктор технических наук, профессор
E-mail: alexmudrov42@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Инерционные пространственные смесители непрерывного действия

Аннотация

Постановка задачи. Пространственные инерционные смесители используют сложное неравномерное движение емкости, в результате чего обрабатываемый материал (смешивание, поверхностная обработка деталей, мойка и очистка изделий и т.п.) получает дополнительное силовое инерционное воздействие к основному турбулентному движению, интенсифицируя тем самым процесс обработки с улучшением качества конечного продукта.

Однако в виду сложного пространственного движения емкости процесс обработки возможен только в периодическом режиме, т.е. в сменных контейнерах, что делает невозможным использование смесителей в поточных линиях непрерывного действия.

Результаты. Предложены варианты конструкций непрерывной работы в пространственных смесителях со сложным движением емкости на примере четырехзвенного механизма.

Выводы. Конструкции смесителей со сложным пространственным движением емкости в двух вариантах: с гибкими шлангами для ввода и вывода обрабатываемого материала и с трубчатыми кривошипами гарантированно обеспечивают непрерывное действие смесителей в поточных линиях разных технологических процессов, в том числе строительных.

Ключевые слова: инерционные пространственные смесители, трубчатые кривошипы, гибкие шланги, шарниры.

Введение

Во многих технологических процессах используются механические барабанные смесители, которые имеют вращательное движение барабана с постоянной угловой скоростью. Их преимущество заключается в простоте конструкции, возможности смешения компонентов без истирания и разрушения формы частиц, перемешивание абразивных материалов. Их существенный недостаток: низкое качество приготовления смеси, продолжительность перемешивания во времени, большие энергетические затраты на единицу готовой смеси [1, 2].

Для интенсификации процесса стали использовать сложное движение емкости, которое обеспечивалось комбинацией простых движений, реализуемых отдельными источниками привода. Однако такие смесители не нашли широкого использования из-за сложности конструкции и ряда других недостатков.

Перспективно использование смесителей, у которых емкость совершает сложное пространственное неравномерное движение в пределах одного оборота и от одного источника привода [3, 4]. Интенсификация процесса обработки материала обеспечивается сложным активным движением частиц, соударениями между частицами и о стенки емкости с дополнительным инерционным воздействием на частицы материала.

Такой режим работы обеспечивает высокое качество обработки различных материалов во многих технологических процессах: перемешивание практически любых компонентов материалов, поверхностная обработка (галтовка, полирование, упрочнение) изделий, очистка от загрязнений деталей перед ремонтом, дробление, измельчение и т.п. [5, 6].

Так как емкость совершает сложное пространственное движение, то процесс обработки можно производить либо в сменных контейнерах, вставляемых в емкость и закрепляемых в ней, либо в самих емкостях (загрузка и выгрузка материала через крышки и люки и т.п.), т.е. используется периодическое перемешивание. Загрузка и выгрузка материала требует остановки устройства и ручного труда, что не всегда целесообразно.

В некоторых технологических процессах обработка должна осуществляться без остановки устройства на загрузку и выгрузку материала, т.е. при непрерывном действии.

Существующие смесители непрерывного процесса не всегда обеспечивают необходимое качество приготовления смеси, энерго- и металлоемки. Осуществление же непрерывного процесса в смесителях, емкость которых совершает сложное пространственное движение связано с определенными трудностями.

Пример тому попытка осуществления непрерывного процесса в швейцарском смесителе «Турбула», в промышленное производство смеситель не пошел. Других примеров, иллюстрирующих непрерывный процесс у смесителей с пространственным движением емкости, не обнаружено.

Цель исследования – разработать варианты осуществления непрерывного процесса в пространственных смесителях, которые можно реализовать и в других группах смесителей.

Результаты исследований и их обсуждение

Для механических смесителей использование сложного пространственного движения с неравномерной угловой скоростью является перспективным и наиболее эффективным по многим показателям.

Большей частью такое движение обеспечивалось либо сложным многозвенным механизмом, звенья которого соединяются набором вращательных, цилиндрических и сферических шарниров, либо приводом от двух и более отдельных источников привода. Как в первом, так и во втором случаях устройство становится сложным, громоздким и энергоемким.

Нами для сообщения рабочим органам или корпусу сложного пространственного неравномерного движения применены пространственные механизмы, имеющие в своем составе только вращательные шарниры. Это дает ряд преимуществ перед аналогичными устройствами: используется только один источник привода и один передаточный механизм. Звенья механизма соединяются стандартными подшипниками качения или скольжения, которые легко монтируются, обслуживаются и изолируются от внешних воздействий пыли, грязи и т.п.

В качестве передаточно-преобразующих механизмов могут быть использованы четырех, пяти и шестизвенные механизмы. Их можно применить в двух вариантах: в первом варианте одно из звеньев механизма заменяется емкостью, которое будет иметь сложное пространственное неравномерное движение; во втором варианте емкость крепится к пальцу, соединяющего два звена механизма, движение емкости также будет сложным с переменной скоростью.

В предложенных нами смесителях процесс осуществляется при объемно-взвешенном состоянии частиц материалов, которое образуется за счет сложного пространственного движения емкости с дополнительным регулируемым инерционным воздействием.

В качестве примера рассмотрим конструкцию смесителя, созданного на базе четырехзвенного механизма, одно из звеньев которого – шатун – выполнен в виде емкости. Это самая простая пространственная конструкция, которая вообще может быть создана в технике [7]. Пространственный смеситель (рис. 1) состоит из станины 1, двух кривошипов 2 и 3, емкости 4 с патрубками 5 и 6, гибких шлангов 7, приемного общего бункера 8 и выгрузного бункера 9, дозаторов 10 и 11, бункеров 12 и 13.

На валу ведущего кривошипа 2 жестко закреплен шкив 14 клиноременной передачи, посредством которой осуществляется привод смесителя (на схеме источник привода не показан).

Конструкция смесителя имеет особые угловые и линейные параметры, а именно: геометрические оси шарниров кривошипов расположены под углом α и на расстоянии ℓ_1 (длина кривошипов). Валы вращения кривошипов расположены под прямым углом и отстоят на расстоянии ℓ, при этом расстояния ℓ, ℓ_1 и угол α связаны соотношением:

$$\ell = \ell_1/\sin\alpha. \quad (1)$$

Степень неравномерности δ вращения ведомого кривошипа определяется формулой:

$$\delta=2\cdot tg\alpha. \quad (2)$$

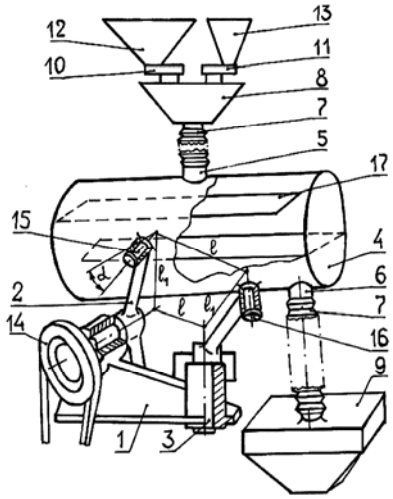


Рис. 1. Схема пространственного смесителя

Пальцы 15 и 16 емкости 4 расположены под прямым углом и отстоят на расстоянии ℓ, т.е. так же, как расположены валы кривошипов 2 и 3.

Емкость 4 может быть снабжена перегородками 17, разделяющими объем емкости на секции, это необходимо при возможной регулировке времени контакта частиц при непрерывном автоматическом режиме работы.

Смеситель может работать как в периодическом режиме, так и в непрерывном. При непрерывном режиме компоненты подаются из бункеров 12 и 13 через дозаторы 10 и 11 в бункер 8. Отдозированные компоненты из бункера 8 через гибкий шланг 7 и патрубок 5 поступают в емкость 4.

От источника привода через клиноременную передачу движение передается ведущему кривошипу 2, емкости 4 и ведомому кривошипу 3. В результате того, что плоскости вращения кривошипов расположены под прямым углом, а оси шарниров кривошипов под углом α, емкость имеет сложное пространственное движение. При этом ведущий кривошип 2 вращается с постоянной угловой скоростью, а ведомый кривошип 3 – с переменной на одном обороте угловой скоростью, определяемой выражениями:

- максимальное:

$$w_{\max} = \frac{\cos a}{1-\sin a} w, \quad (3)$$

- минимальное:

$$w_{\min} = \frac{\cos a}{1+\sin a} w, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость ведущего кривошипа.

Следовательно, и емкость будет иметь неравномерное значение угловой скорости. При этом параметрами кривошипов можно задать разный характер движения емкости (разный размах движения емкости и разную степень неравномерности движения).

Находящиеся в емкости компоненты будут находиться во взвешенном объемном движении, что самым благоприятным образом способствует активной обработки материала, который выводится через патрубок 6, шланг 7 в выгрузной бункер 9.

Проектируют смеситель исходя из заданной подачи, т/ч (термин производительность ошибочен) по формуле:

$$П=2,83D^2\gamma KV, \quad (5)$$

где D – диаметр емкости, м;

γ – плотность материала, кг/м^3;

К – коэффициент заполнения емкости (К=0,6…0,7 объема);

V – скорость подачи материала в емкость, м/с.

При практическом расчете подача П задается потребителем, γ – плотность (насыпная масса), кг/м^3 (определяется типом и свойством материалов, можно определять

непосредственно или брать из справочников), длина емкости L принимается конструктивно, можно ориентироваться по диаметру D емкости L=(1,35…2,15)D.

Диаметр емкости можно принимать конструктивно или по выражению:

$$D = \sqrt{\frac{\Pi \cdot t}{2{,}83 \cdot g \cdot L \cdot K}}, \quad (6)$$

где t – время цикла, зависит от наличия перегородок, типа загрузки и выгрузки (время цикла ориентировочно равно 90…120 с).

После принятия размеров емкости назначаются параметры станины: угол расположения геометрических осей валов кривошипов – 90^0 и расстояние ℓ между ними, можно принимать ℓ=(0,25…0,40)L.

Далее определяют параметры кривошипов: расстояние ℓ_1 и угол α расположения осей шарниров. Это возможно двумя вариантами. Либо назначают угол α осей шарниров и определяют расстояние ℓ_1 из формулы (1) $\ell_1=\ell \sin\alpha$.

Либо задаются степенью неравномерности δ вращения ведомого кривошипа и определяют угол α по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(\delta/2). \quad (7)$$

Затем определяется расстояние ℓ_1 по формуле $\ell_1=\ell \sin\alpha$.

Экспериментальные исследования на лабораторном смесителе (рис. 2) показали, что степень однородности двухкомпонентной смеси из речного песка и соли порядка 98…99 % достигалось за 100 с в емкости 10 л при частоте вращения кривошипов 125 $мин^{-1}$. Параметры смесителя: диаметр патрубков 40 мм, длина патрубков 600 мм, степень неравномерности вращения 0,75, угол осей шарниров кривошипов $\alpha=20{,}55^0$, длина ℓ=200 мм и длина кривошипов ℓ_1=70,2 мм, мощность электродвигателя N=0,75 кВт.

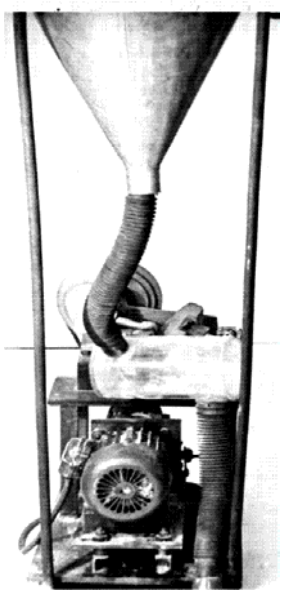


Рис. 2. Лабораторный смеситель

Другой вариант непрерывной работы в пространственном смесителе показан на следующей конструкции [8]. Смеситель (рис. 3) имеет емкость 1 (барабан), два кривошипа 2 и 3 и станину 4. Кривошипы 2 и 3 полые (трубчатые), с ведущим кривошипом 2 связан подающий патрубок 5, внутри которого установлена заслонка 6, с другим кривошипом 3 соединен приемный патрубок 7 с заслонкой 8.

На ведущем кривошипе 2 закреплен шкив 9 клиноременной передачи, второй шкив 10 которой закреплен на валу источника привода 11 (мотор-редуктор или электродвигатель с редуктором).

Структурные параметры смесителя отличаются от параметров смесителя первого варианта.

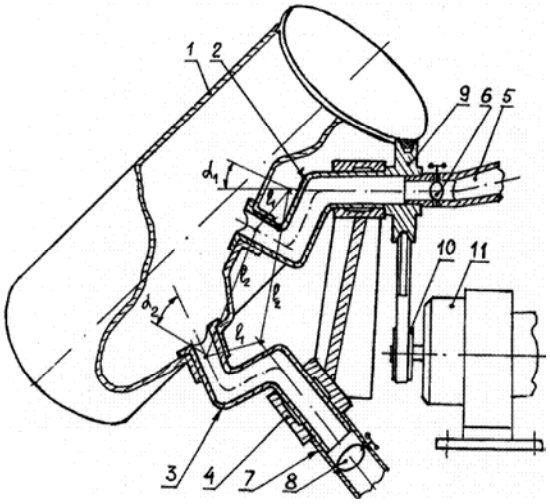


Рис. 3. Схема смесителя второго варианта

Так, углы α_1 расположения шарниров кривошипов равны и могут принимать значение в пределах $10\text{-}55^0$, либо $125\text{-}170^0$. Угол α_2 расположения геометрических осей валов кривошипов равен углу расположения осей шарниров емкости и может принимать значение в пределах $30\text{-}75^0$, либо в пределах $10\text{-}55^0$. Расстояния ℓ_1 между геометрическими осями шарниров кривошипов, расстояния ℓ_2 между осями шарниров емкости, соответственно между геометрическими осями валов вращения кривошипов и углы α_1, α_2 связаны соотношением:

$$\sin \alpha_1/\ell_1=\sin \alpha_2/\ell_2. \quad (8)$$

Перемешиваемые материалы подаются в емкость 1 смесителя через подающий патрубок 5 при открытой заслонке 6, открываемой и закрываемой автоматически реле временем, в это время заслонка 8 приемного патрубка 7 закрыта. Емкость заполняется перемешиваемым материалом на 0,6-0,7 объема, закрывается заслонка 6 и включается источник привода 11 в работу. Вращение через шкивы 10 и 9 клиноременной передачи передается ведущему кривошипу 2, емкости 1 и ведомому кривошипу 3, который вращается с переменной угловой скоростью, определяемой выражением,

$$w_3 = \frac{\cos a_2 - \cos a_1}{1 - \cos a_1 \cdot \cos a_2 - \sin a_1 \cdot \sin a_2 \cdot \cos f} w, \quad (9)$$

где α_1, α_2 – углы расположения осей шарниров кривошипов и валов их вращения;
φ – угол вращения ведущего кривошипа;
ω – угловая скорость ведущего кривошипа.

Так как плоскости вращения кривошипов 2 и 3 расположены под углом α_2, емкость 1 имеет сложное пространственное движение, траектория оси емкости показана на рис. 4.

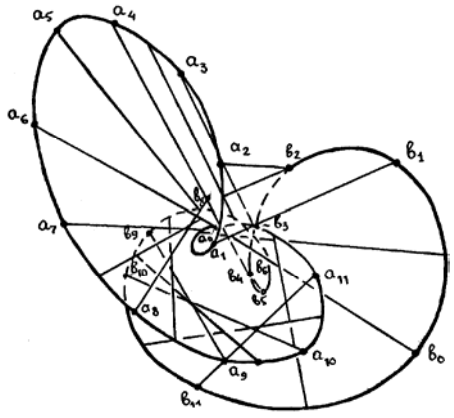


Рис. 4. Траектория оси емкости

Поскольку часть емкости со стороны ведущего кривошипа 2 вращается с постоянной угловой скоростью, а часть емкости со стороны ведомого кривошипа 3 с переменной угловой скоростью, определяемое выражение (9), то емкость в результате имеет сложное пространственное неравномерное движение с дополнительным регулируемым силовым инерционным воздействием на материал. При таком режиме работы существенно интенсифицируется процесс обработки находящихся в емкости компонентов, улучшается качество готового продукта, сокращается время процесса, снижаются энергозатраты.

После нескольких секунд работы открывается заслонка 8 приемного патрубка 7 и происходит выгрузка готовой смеси. Затем заслонка 8 закрывается и открывается заслонка 6 подающего патрубка 5 и процесс повторяется без остановки смесителя.

К зарубежным публикациям по базовому механизму, на основе которого созданы инерционные пространственные смесители непрерывного действия относятся [9, 10, 11].

Выводы

1. Выявлено, что пространственные смесители только с вращательными шарнирами с одинаковым успехом обеспечивают смешение материалов с самыми разными физико-механическими свойствами без ограничений, а также другие технологические процессы: галтовку, мойку, дробление и измельчение, шлифование, обработку шкурок ценных пушных зверей без каких-либо переделок конструкции, т.е. обладают широкой многофункциональностью.

2. Показаны сложности осуществления непрерывной подачи и отвод компонентов в емкости, совершающей сложное неравномерное пространственное движение.

3. Приведены примеры разработок непрерывного режима работы в смесителях с тремя подвижными звеньями: емкости и двух кривошипов, представляющие две разновидности базового механизма Беннетта.

4. Непрерывная подача и отвод компонентов в инерционных смесителях осуществляется через полые кривошипы или гибкие шланги и патрубки.

5. Разработанные варианты практического обеспечения непрерывного процесса обработки материалов применимы и к пространственным смесителям с четырьмя, пятью и с шестью подвижными звеньями.

Список библиографических ссылок

1. Першин В. Ф., Першина С. В., Однолько В. Г. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. М. : Машиностроение, 2009. 220 с.
2. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М. : Машиностроение, 1973. 215 с.
3. Мудров А. Г. Использование пространственных механизмов в строительной технике // Механизация строительства. 2015. № 8. С. 27−29.
4. Мудров А. Г. Способы интенсификации процессов в строительных технологиях // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 233−240.
5. Мудров А. Г. Молотковая мельница // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 238−243.
6. Мудров А. Г. Способ и устройство для приготовления цветного бетона // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 444−450.
7. Устройство для галтовки деталей: авт. св. № 753611 СССР № 2647479/25-08 ; заявл. 17.07.78 ; опубл. 30.07.80, Бюл. № 28, 3 с.
8. Устройство для промывки часовых механизмов и деталей: авт. св. № 1158969 СССР № 3681464/24-10 ; заявл. 22.11.83 ; опубл. 30.05.1985, Бюл. № 20, 4 с.
9. Nastase A., Bocioaca R. Utilisarea Programului AutoCAD Pentru Generarea Configuratiilor mechanismului Bennett, Simposionul national cu participare international PRoieectarea ASIstata de Calculator, Brasov. 2002. C. 237−240.
10. Chen Y., Baker E. J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177−185.
11. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125. 2003. P. 98−104.

Mudrov A.G. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Inertial spatial continuous mixers

Abstract

Problem statement. Spatial inertial mixers employ complex irregular movement of capacity, resulting in the processed material (mixing, surface treatment parts, cleaning and washing products, etc.) receives an additional inertial force impact to the main turbulent motion, thereby intensifying the treatment process of improvement in the quality of the final product.

However, in view of the difficult spatial movement of the container machining process is possible only in periodic mode, i.e. in removable containers, which makes impossible the use of mixers in the production lines of continuous operation.

Results. The proposed options for construction of continuous operation in the spatial mixers with complex traffic capacity on the example of four-bar mechanism.

Conclusions. Design of mixers with the complex spatial movement of the container in two versions: with flexible hoses for input and output of the processed material and with tubular cranks are guaranteed to provide continuous operation of mixers in the production lines of various manufacturing processes, including construction.

Keywords: inertial spatial mixers, tubular joints, flexible hoses, swivels.

References

1. Pershin V. F., Pershina S. V., Odnolko V. G. Processing of granular materials in drum-type machines. M. : Mashinostroeniye, 2009. 220 p.
2. Makarov Y.I. Apparatus for mixing bulk materials. M. : Mashinostroeniye, 1973. 215 p.
3. Mudrov A. G. Use of spatial mechanisms in construction machinery // Mechanizachiya stroitelstva. 2015. № 8. P. 27−29.
4. Mudrov A. G. Ways of intensification of processes of construction technologies // Izvestiya KGASU. 2016. № 2 (36). P. 233−240.
5. Mudrov A. G. Hammer mill // Izvestiya KGASU. 2016. № 3(37). P. 238−243.
6. Mudrov A. G. Method and device for the preparation of colored concrete // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 444−450.
7. Device for surface finishing of parts: patent № 753611 USSR № 2647479/25-08 ; decl. 17.07.78 ; publ. 30.07.80. Bull. in № 29. 3 p.
8. The device for washing of watch movements and parts: patent № 1158969 of the USSR № 3681464/24-10 ; decl. 22.11.83; publ. 30.05.85. Bull. in № 20. 4 p.
9. Nastase A., Bocioaca R. Utilisarea Programului AutoCAD Pentru Generarea Configuratiilor mechanismului Bennett, Simposionul national cu participare international PRoieectarea ASIstata de Calculator, Brasov. 2002. C. 237−240.
10. Chen Y., Baker E. J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177−185.
11. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125. 2003. P. 98−104.

УДК 625.08
Габдуллин Т.Р. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: talgat2204@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Вырезание технологических отверстий в дорожном покрытии

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась оптимизации рабочего процесса при вырезании технологических отверстий под люки в новой дорожной одежде, а также ремонте дорожного покрытия при проседании люков на основе применения более универсального оборудования, позволяющего вырезать любые рабочие геометрические формы необходимые для проведения установочных или ремонтных работ.

Результаты. Предлагается проект оборудования способного вырезать отверстия в дорожном покрытии достаточно точно по размерам, разных по геометрическим формам, без ущерба окружающей среде и заметным экономическим эффектом. Проведен анализ технологий и оборудования известных иностранных производителей широко применяемых в дорожной отрасли РФ. Выявлены их преимущества и недостатки. На основе проведенного анализа предлагается более совершенный способ вырезания технологических отверстий в дорожном покрытии, основанный на применении предлагаемого оборудования.

Выводы. Разработана конструкция предлагаемого оборудования. Описана особенность его применения. Рассчитана сравнительная экономическая эффективность внедрения предлагаемых технологии и разработки. Установлено, что внедрение предложенной технологии и оборудования для нарезания технологических отверстий является экономически более выгодным (~24 %) по сравнению с действующими аналогами иностранного производства.

Ключевые слова: дорожное покрытие, отверстие, трещина, технология, оборудование, фреза, прочность, ремонт, качество, эффективность.

Введение

На автомобильных дорогах в результате постоянных нагружений и негативных климатических воздействий возникают различные типы разрушений дорожного покрытия (шелушение, выкрашивание, трещины, сколы, выбоины, ямы, скользкость, колейность и др.).

Результатом разрушений являются некомфортная езда, образование дорожных «пробок», поломки автомобилей и, самое опасное, возникновение аварийных ситуаций и снижение безопасности движения на дорогах.

Полноценная замена дорожного покрытия обходится налогоплательщикам дорого. Поэтому дорожные службы всего мира ежегодно выполняют значительные объемы работ по ликвидации появившихся дефектов и разрушений локально. Практикой установлено, что поверхность дорожного покрытия, нуждающаяся в локальном текущем ремонте, ежегодно может составлять до 3…5 % от общей площади покрытия дороги или ее участка [1].

Постановка задачи

При укладке нового дорожного покрытия или проведении ремонтно-восстановительных работ возникает необходимость нарезания технологических отверстий различного назначения (канализационные и смотровые люки, «ливневки» и др.). Данные работы являются трудоемкими как при вырезании технологических отверстий в новом дорожном покрытии, так и при проведении ремонтно-восстановительных работ по ликвидации разрушений дорожного покрытия по периметру люков или при их проседании.

Наблюдения показывают, что работы по нарезанию таких отверстий выполняются дорожными рабочими, как правило, с применением ручного механизированного

инструмента (отбойные молотки и лопаты, обычный лом и др.). При применении подобного инструмента кромка дорожного покрытия получается с неравномерной трещиноватой структурой. В трещины проникает вода и при переходах через нулевые температурные отметки дорожное покрытие разрушается.

Решение обозначенной проблемы требует применения специализированного высокотехнологичного оборудования.

Данная проблема в настоящее время активно изучается. Производителями машин и оборудования для дорожной отрасли предложено разнообразное оборудование для подготовки отверстий в дорожном покрытии.

При типовом локальном ремонте производится разметка границ ремонта дорожных ям прямыми линиями вдоль и поперек оси дороги с перекрытием неразрушенного слоя покрытия на 3…5 см, при этом несколько близко расположенных ям объединяют одним контуром или картой. Затем производится вырезка, вырубка или холодное фрезерование материала дорожного покрытия по очерченному контуру на всю глубину ямы, но не менее толщины слоя покрытия, при этом боковые стенки должны быть вертикальными.

Существующие методы проведения подобных работ имеют ряд недостатков, которые требуют своего устранения. Например, при холодном фрезеровании (рис. 1), стенки имеют закругления, что не соответствует требованиям действующих ТУ, СНиП и ГОСТ.

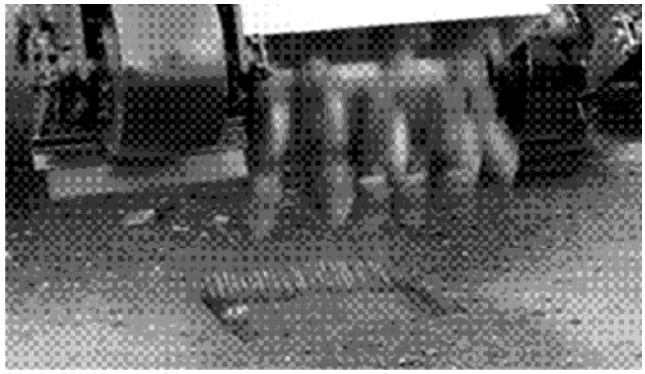


Рис. 1. Пример холодного фрезерования поврежденного сегмента дорожного покрытия

В качестве примера можно также отметить, что при вырезке контура диск нарезчика швов заходит на часть дороги не подлежащую механическому воздействию и образуется перекрестие (рис. 2) концентрации напряжений и в дальнейшем, как результат, начинается разрушение дорожного полотна.

Острым также является вопрос полной автоматизация рабочих процессов и снижение степени влияния человеческого фактора на качество выполняемых работ.

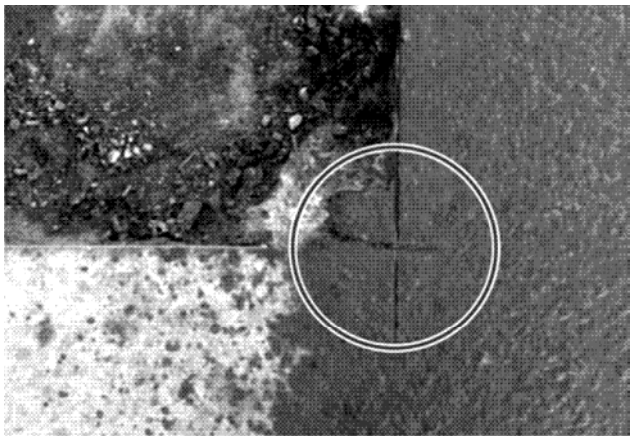


Рис. 2. Пример перекрестия при вырезке контура нарезчиком швов

Обзор существующих технологий и оборудования для вырезания технологических отверстий в дорожном покрытии

Стремление к созданию высокоточных и технологически правильных рабочих выемок, как в новой (для первоначальной установки люков), так и в старой дорожной одежде (для ремонта просевших люков) и при этом максимальное исключение влияния человеческого фактора на результат работ требует от производителей все более эффективных технических решений.

Ручной труд в данной области в основном искоренен. Техника всегда сделает быстрее и точнее, чем человек. Поэтому разработано и разрабатываются большое количество дорожных машин и оборудования для уменьшения человеческого фактора, а также повышения качества и скорости выполнения ремонтных работ.

Наиболее распространенным и универсальным инструментом являются отбойные молотки, значительно облегчившие работу дорожных работников. Они до сих пор используются в дорожной отрасли и, ни одно новое оборудование пока не может вытеснить их полностью.

Недостатками отбойных молотков являются:

- вибрация и шум от работы, передаваемые на рабочего, что ведет к ухудшению его здоровья;
- грубая и неравномерная обработка дорожного покрытия, которая существенно снижает качество проводимых ремонтных работ;
- малая производительность.

Другим важным инструментом при проведении ремонтных работ дорожного покрытия является нарезчик швов (рис. 3), или как его еще называют швонарезчик. Применяется он при ремонте имеющихся или при строительстве новых дорог и автомагистралей, если необходимо снять слой с участка дорожного полотна. Швонарезчик отличается простотой в управлении и обслуживании. Оператор настраивает агрегат в зависимости от вида поверхности и с помощью специальных рукояток управляет, тем самым выполняя процесс, то есть, по сути, весь процесс полностью автоматизирован.

Рис. 3. Нарезчик швов. Общий вид

Однако данное оборудование тоже имеет ряд недостатков:

- применяться самостоятельно без отбойного молотка для разработки выбоин и просевших люков оно не может;
- не возможна глубокая обработка круглого контура вокруг просевших смотровых колодцев;
- при нарезании швов прямоугольным образом, на пересечении швов образуются перекрестия, от которых в дальнейшем начинаются новые разрушения.

Следующим наиболее распространенным и востребованным оборудованием при проведении ремонтных работ дорожного покрытия вокруг дорожных люков являются навесные фрезы. С их помощью устраняются колейность дорожного покрытия, наплывы, разрушается старое покрытие, устраняются выбоины и т.д. Некоторые виды навесных дорожных фрез позволяют проводить фрезерование вблизи стен, у основ столбов или свай. Навесные дорожные фрезы отличаются компактными размерами и используются как на

больших площадках, так и в узких местах. Они могут крепиться на трактора, погрузчики, мини-погрузчики и экскаваторы, например навесная фреза ДЭМ-121 (рис. 4) [1].

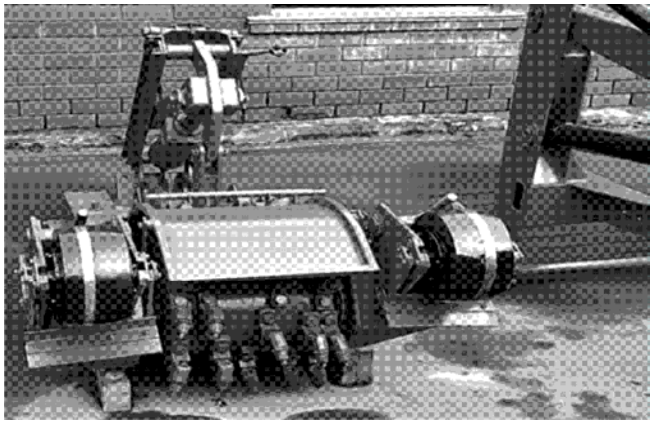


Рис. 4. Общий вид навесной фрезы ДЭМ-121

К недостаткам навесных фрез можно отнести их эффективную применимость только для относительно прямых участков. С их помощью невозможен качественный ремонт просевших смотровых люков, а также создание отверстий для устройства люков в новой дорожной одежде.

Фрезерование вокруг люков можно проводить холодными фрезами малых размеров. При помощи малой фрезы можно снимать покрытие вокруг люков на точно заданную глубину. Чтобы обнажить люк, малой фрезе требуется объехать его один раз, как показано на рис. 5.

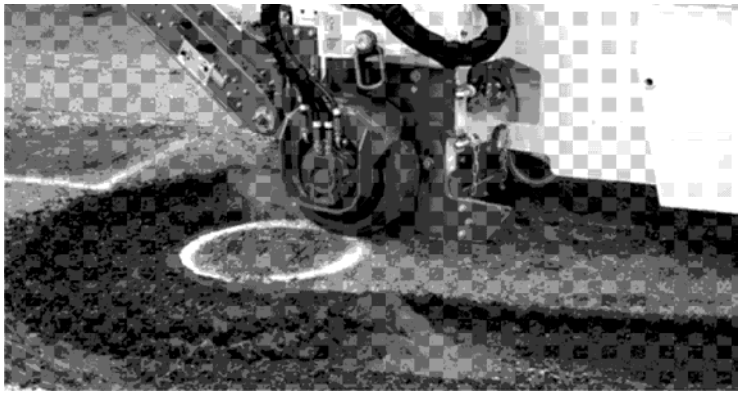


Рис. 5. Фрезерование вокруг люков

Такая фреза может выполнять резание дорожного покрытия в непосредственной близи от люков, что, однако не исключает необходимость последующей обработки иными агрегатами.

В настоящее время иностранные производители, особенно немецкие, для вырезания отверстий в дорожной одежде для устройства люков, а также для ремонтных работ при их проседании стали предлагать специализированные фрезы типа Stehr SKF 950 (рис. 6).

Однако и данное оборудование не лишено недостатка. Недостатком этой фрезы является не универсальность рабочего органа. Учитывая, что каждый люк может иметь разный диаметр и глубину повреждений, требуется транспортировать на специальном транспорте комплект сменных режущих крон. Это влечет дополнительные финансовые затраты и времени на смену крон.

Полностью идентичный принцип работы, а также строение имеет оборудование американского производства PRO-CUTTER Model 1160.

Можно перечислить другое подобное оборудования известных производителей. Но детальное исследование их рабочих возможностей показывает, что общим недостатком приведенного оборудования является их не универсальность в применении. Они могут выполнять лишь одну технологическую операцию. При выполнении полного технологического цикла практически все они требуют использование дополнительной техники и оборудования.

Рис. 6. Общий вид фрезы для вырезания люков Stehr SKF 950

Конструкторская часть

В настоящее время все производители дорожно-строительных машин и оборудования стараются придать выпускаемой продукции максимальную универсальность. Универсальность технической продукции является непременным условием его конкурентности на рынке сбыта. Предлагаемое автором оборудование отвечает требованиям универсальности, позволяет оптимизировать рабочие процессы технологического цикла назначения, исключает физическое участие человека и минимизирует применение вспомогательного дополнительного оборудования при выполнении работ.

Данное оборудование работает аналогично фрезерным станкам с автоматизированным управлением. Рабочим органом является фрезерная насадка.

Разрабатываемое оборудование состоит из следующих основных частей (рис. 7).

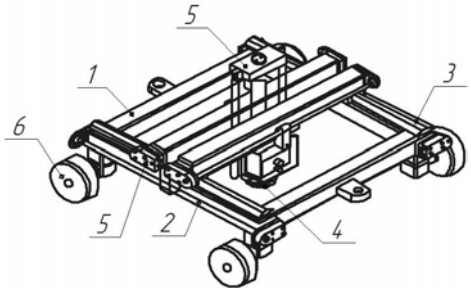


Рис. 7. Общее устройство оборудования для вырезания отверстий в дорожной одежде:
1 – рама; 2 – винтовой привод; 3 – рельс;
4 – фрезерный наконечник; 5 – гидромотор; 6 – колесо

Основным рабочим органом разрабатываемого оборудования является фрезерный наконечник оснащенный резцами типа РБЦ-38 (рис. 8) и имеющими возможность перемещения в 3-х плоскостях. Это позволяет производить фрезерование дорожного покрытия любой геометрической формы на глубину до 300 мм. Для увеличения производственных возможностей оборудования наконечник может быть исполнен в вариантах работы, как по бетону, так и по и асфальтобетону. Все движение обеспечивается гидромоторами.

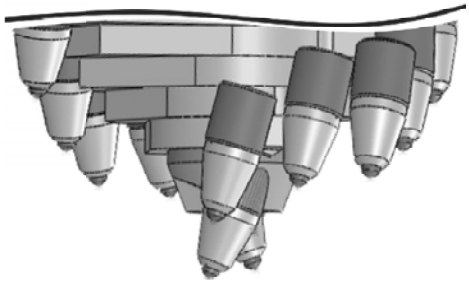


Рис. 8. Фрезерный наконечник

Отличительной чертой конструируемого оборудования является вертикальное фрезерование. Фреза вращается относительно вертикальной оси, приводится в движение гидромотором мощностью 10 кВт с частотой вращения до 400 об/мин. Перемещения наконечника в вертикальной и горизонтальной плоскостях обеспечиваются винтовыми передачами, которые приводятся в движение четырьмя гидромоторами мощностью 2 кВт с частотой вращения до 60 об/мин. Диаметр и геометрическая форма фрезерования контролируются логистической информационной системой. Гидромоторы работает от гидростанции машины для транспортировки.

Рабочая зона воздействия фрезерного наконечника изображена на рис. 8 и равна 2,25 м^2. При фрезеровании поверхности дорожного покрытия прямоугольных форм углы получаются закругленными исключая концентрацию угловых напряжений.

Диаметр фрезерования задается программным обеспечением и выбирается в зависимости от вида ремонта и типа люков. Вырезка материала вокруг одного люка занимает от 3 до 9 минут в зависимости от материала покрытия дороги и глубины фрезерования. Резцы рассчитаны на вырезку в среднем до 130 люков, их замена производится быстро и является мало затратной. Для точной установки люка относительно поверхности дороги устанавливается нивелирующее кольцо.

При устройстве технологических отверстий в новой дорожной одежде перед укладкой слоев дорожного покрытия люк накрывается глухой крышкой, центр которой отмечается геопозиционной отметкой с помощью GPS приборов. Это необходимо для последующей отцентровки фрезы. Затем производится укладка материала дорожного покрытия, его уплотнение и отвердевание. После того как асфальт набрал прочность по геопозиции находится центр люка, над которым устанавливается конструируемое оборудование. Фрезерование происходит по спирали от середины к краям и обратно, послойно от 50 до 80 мм глубиной, до требуемой (проектной) глубины. В созданную площадку устанавливается нивелирующее кольцо и на него устанавливается люк. После этого края люка заполняются материалом дорожного покрытия и уплотняются до уровня дорожного полотна. Таким образом, люки будут установлены на заданную (проектную) высоту.

Расчет прочности конструкции

Во время работы фрезы на ее узлы действуют различные нагрузки [3]. Выполнение прочностного расчета для сложно нагруженного состояния при отсутствии специализированного программного обеспечения является затруднительным. Основные нагрузки приходятся на раму, а также на проушину при перемещении оборудования. При работе возникает вибрация, рама испытывает деформации изгиба [3]. В данном случае расчет прочности конструкции авторами был проведен с использованием методов прочностного анализа системы АРМ WinMachine [4, 6].

Для проведения расчетов материал рамы и проушины был принят: круг ГОСТ 2590-2006; 20-3ГП-М1-ТВ2 ГОСТ 1050-2013 и заданы нагрузки, идентичные тем, что возникают при работе дорожных фрезерных головок.

Проведенные расчеты и их анализ позволили определить основные геометрические размеры конструкции (рис. 9) в зависимости от условий эксплуатации, выбранных материалов и ряда других факторов.

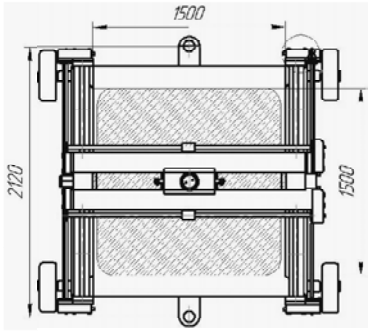


Рис. 9. Область фрезерования

Экологическая безопасность

Предлагаемое оборудование работает методом холодного фрезерования. Нагрев дорожной поверхности, отслаивание и разделение битума от заполнителя не происходит. Следовательно, применение данного оборудования в ходе дорожных работ не наносит вреда окружающей среде.

Заключение

При расчетах по экономическому обоснованию данного проекта были учтены примерные затраты на его изготовление, внедрение и эксплуатацию [7, 8]. Полученные результаты были сопоставлены с аналогичными расходами подобного по назначению оборудования иностранных производителей.

Качественное создание отверстий даст дополнительную экономическую выгоду через увеличение сроков эксплуатации дорожного покрытия.

Данное сравнение подтвердило рентабельность и быструю окупаемость самого оборудования. Расчеты показали, что внедрение предложенной технологии и оборудования для нарезания технологических отверстий является экономически более выгодным (~24 %) по сравнению с действующими аналогами иностранного производства.

Список библиографических ссылок

1. Бургонутдинов А. М., Юшков В.С. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Часть 4: Асфальтобетонные и цементобетонные заводы. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. 170 с.
2. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. М. : Машиностроение, 2001. 920 с.
3. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов 7-е изд. М. : Высшая школа, 2009. 560 с.
4. Горбачев А. Г. Современные методы расчета ПТМ на прочность, выносливость и долговечность при курсовом и дипломном проектировании. Свердловск: УПИ, 2016. 48 с.
5. Подольский В. П. Технология и организация строительства автомобильных дорог». Дорожные покрытия. М. : Академия, 2012. 304 с.
6. Шелофаст В. В., Чугунова Т. Б. Основы проектирования машин. Пример решения задач. М. : АПМ, 2004. 240 с.
7. Горфинкель В. Я., Швандар В. А. Экономика предприятия. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 670 с.
8. Абрамов А. Т. Экономическое обоснование инженерных задач в дипломных проектах: методические рекомендации. Барнаул : АГАУ, 2002. 68 с.
9. Габдуллин Т. Р., Зимдеханов М. М. Разработка демаркировщика с гидродинамическим рабочим органом кавитационного типа // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). С. 464–469.
10. Шарапов Р. Р., Романович А. А., Харламов Е. В. Строительные и дорожные машины и оборудование: лабораторный практикум. Белгород : БГТУ, 2014. 125 с.
11. Сахапов Р.Л., Махмутов М.М. Влияние исследуемых факторов на производительность дорожной фрезы // Известия КГАСУ, 2014. № 4 (30). С. 497–502.

Gabdullin T.R. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: talgat2204@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Cutting technological holes in the road surface

Problem statement. The aim of the work was to optimize the workflow process when cutting holes for the hatches in the new pavement and repair of road surface under hatches' subsidence on the basis of the use of more universal equipment, allowing to cut any working geometric forms that are necessary for carrying out the installation or repair work.

Results. Proposes a draft of equipment able to cut holes in the road surface sufficiently of accurate size, of different geometric shapes, without damage to the environment and the notable economic effect.

Analyzed the technology and equipment of famous foreign manufacturers widely used in the road sector of the Russian Federation. Their advantages and disadvantages identified. Based on the analysis a better way of cutting technological holes in the road surface with the use of the proposed equipment was offered.

Conclusions. Developed a design of a proposed equipment. Described the features of its application. We calculated the relative economic efficiency of the implementation of the proposed technology and development. It is found that the introduction of the proposed technology and equipment for cutting the technological holes is more cost-effective (~ 24 %) compared with the current production of foreign counterparts.

Keywords: road surface, hole, crack, technology, equipment, cutter, durability, maintenance, quality, efficiency.

References

1. Burgonutdinov A. M., Yushkov V. S. Machinery for construction, repair and maintenance of roads. Part 4: Asphalt and cement concrete plants. Perm : Publishing house of Perm. nat. issled. Polytechnic. University Press, 2015. 170 p.
2. Anuriew V. I. Reference Design-mechanic. In 3 Vols. M. : Mechanical Engineering, 2001. 920 p.
3. Alexandrov A. V., Potapov V. D., Derzhavin B. P. Strength of Materials 7-th ed. M. : Higher School, 2009. 560 p.
4. Gorbachev A. G. Modern methods of calculating machines for strength, endurance and durability at course and degree designing. Sverdlovsk : UPI, 2016. 48 p.
5. Podolsky V. P. Technology and organization of construction of highways. Road coverage. M. : Academy, 2012. 304 p.
6. Shelofast V. V., Chugunova T. B. Fundamentals of Machine Design. Example of solving problems. M. : TMA, 2004. 240 p.
7. Gorfinkel V. Y., Shvandara V. A. Business Economics. M. : UNITY-DANA, 2009. 670 p.
8. Abramov A. T. Economic justification of engineering problems in the graduation projects: methodological recommendations. Barnaul : ASAU, 2002. 68 p.
9. Gabdullin T. R., Zimdehanov M. M. Development of the machine to remove the markup with hydrodynamic cavitation working body type // Izvestiya KGASU, 2014, № 4 (30). P. 464–469.
10. Sharapov R. R., Romanovich R. A., Kharlamov E. V. Building and road machines and equipment: laboratory practical. Belgorod : Publishing House of the Baltic State Technical University, 2014. 125 p.
11. Sahapov R. L., Makhmutov M. M. Influence of investigated factors on the performance of road milling machine // Izvestiya KGASU, 2014. № 4 (30). P. 497–502.

УДК 625.7
Хафизов Э.Р. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: hafizov@kgasu.ru
Вдовин Е.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: vdovin@kgasu.ru
Фомин А.Ю. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: fomin-al.78@mail.ru
Мавлиев Л.Ф. – кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru
Буланов П.Е. – ассистент
E-mail: f_lays@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Современные методы оценки эксплуатационных свойств дорожных асфальтобетонов

Аннотация

Постановка задачи. Исследовать дорожные асфальтобетоны на участках покрытий имеющих дефекты в виде выбоин, колеи, трещин, шелушения.

Результаты. Проведенный сопоставительный анализ компонентов в асфальтобетонах показал, что составы применяемых битумов характеризуется повышенным содержанием асфальтенов. Также установлено, что структура пород входящих в состав крупных минеральных заполнителей асфальтобетонов имеет дефекты и содержит вредные примеси. Выявленные отклонения от требований нормативной документации могут влиять на снижение долговечности асфальтобетона и преждевременное его разрушение.

Выводы. Современные методы контроля эксплуатационных свойств асфальтобетонов должны опираться на изучение компонентного состава битумов и сырья для его производства, а также структуры заполнителей и наличия в их составе вредных примесей методами петрографии на стадии геологической разведки в карьерах, что должно повысить транспортно-эксплуатационные показатели асфальтобетонов и их долговечность.

Ключевые слова: автомобильная дорога, битум, щебень, асфальтобетон, дефект.

В последние годы одной из проблем дорожной отрасли Российской Федерации и ряда зарубежных стран является преждевременное разрушение покрытий автомобильных дорог и улично-дорожной сети. Под воздействием многократных нагружений фактически происходит накопление необратимых деформаций. Это связанно с тем, что многие дорожно-строительные материалы в расчетных условиях обладают упруго-вязко-пластичными свойствами. Кроме того, возможны и структурные разрушения материала. Образующиеся при этом дефекты способствует процессу разрушения дорожных покрытий, сужению их межремонтных сроков, снижению скорости и безопасности движения, производительности автотранспорта и прочих показателей транспортно-эксплуатационного состояния дорог.

К основным факторам образования дефектов асфальтобетонных покрытий относятся: качество применяемых материалов и подбора составов дорожных смесей, условия движения (интенсивность, скорость, состав потока), наличие пересечений, спусков и подъемов, участков кривых, геометрические параметры проезжей части, нормативная база, качество выполненных дорожно-строительных работ, климатическое воздействие, состав и качество применяемых противогололедных материалов и т.д. [1-7].

Опыт обследования автомобильных дорог в период эксплуатации показал, что накопление остаточных деформаций в покрытии и последующее разрушение могут проявляться в конструкциях дорожных одежд различных типов, в том числе с жестким основанием. Как показывает практика, даже при подборе асфальтобетонов высокого качества сложно спрогнозировать образование трещин, выбоин, колеи и иных дефектов,

снижающих сроки службы покрытий. Установлено, что наибольшее количество дефектов на дорожных покрытиях наблюдается в районах сегрегации асфальтобетона, технологических стыков, пересечений, на участках подъема и спуска, что неразрывно связано с погодно-климатическими факторами и с действием сил трения в зоне контакта колеса автомобиля с поверхностью дорожного покрытия [8-10].

В этой связи изучение процессов, влияющих на разрушение асфальтобетонного покрытия под воздействием колес автомобилей, а также прочих факторов располагающих к образованию дефектов является актуальной задачей.

В лаборатории дорожно-строительных материалов ИДНПЦ ИТС КГАСУ были проведены исследования образцов верхних слоев покрытий на участках дорог, имеющих различные дефекты. Так, исследования проводились на образцах-кернах щебеночно-матичного асфальтобетона (ЩМА) марок 10 и 15 (рис. 1).

Рис. 1. Образцы кернов из асфальтобетонного покрытия (верхний слой)

Предварительный анализ паспортов качества всех материалов, применяемых в составе данных асфальтобетонов – битума, щебеня, песка и минерального порошка, а также готовых асфальтобетонных смесей показал, что все они соответствуют требованиям соответствующих ГОСТ.

Порядок исследования образцов осуществлялся в следующей последовательности. На первом этапе проводился химический анализ битума с целью установления возможности его тероммокислительного старения на стадии производства асфальтобетонной смеси, в условиях воздействия высоких температур (160-180 ^{0}C).

Для этого был проведен анализ компонентного состава битумов методом хроматографии. Сущность заключалась в выделении из битума асфальтенов гексаном или петролейным эфиром, с последующим отделением их фильтрованием. Масла и смолы, растворенные в фильтрате, адсорбировались на силикагеле и затем последовательно десорбировались различными растворителями. Затем было проведено хроматографическое разделение деасфальтенизированной нефти на масла и смолы.

Образцы-керны асфальтобетона предварительно измельчались до получения размера частиц 5-7 мм, которые далее помещались в аппарат Сокслета, широко применяемого для разделения различных веществ. Промывку проводили бензолом до полного обесцвечивания истекающего растворителя. Затем от образовавшегося экстракта отгоняли растворитель, а полученный битум доводили до постоянной массы в вакуум-сушильном шкафу.

Проведенный сопоставительный анализ компонентного состава экстрагированных органических составляющих образцов асфальтобетонов показал, что составы большинства битумов (образцы № 1, 3, 5, 7) в составах асфальтобетонов, характеризуется повышенным содержанием асфальтенов и пониженным содержанием смол (табл. 1).

Высокое содержание асфальтенов в составе битума способствует повышению его прочности, температуры хрупкости, снижению пластических свойств, что косвенно подтверждает вероятность прохождения процесса термоокислительного старения битума на стадии производства асфальтобетона. Асфальтобетоны, содержащие в составе такой битум менее стойки к многократным воздействиям динамических транспортных нагрузок, что вероятно является одним из факторов, влияющих на образование дефектов.

Таблица 1

Компонентный состав битумов исследуемых проб щебеночно-мастичных асфальтобетонов

Марка ЩМА, номер пробы	Содержание битума, мас. %	Компонентный состав битума, мас. %			
		асфальтенов	смол	масел (углеводородов)	твердых парафинов
ЩМА-10, Проба 1	7,2	37,6	20,8	38,3	3,3
ЩМА-15, Проба 2	7,7	31,1	23,1	42,6	3,2
ЩМА-15, Проба 3	7,6	36,7	16,8	43,4	3,1
ЩМА-10, Проба 4	6,6	23,7	26,0	49,8	2,5
ЩМА-10, Проба 5	9,0	40,0	29,1	26,8	4,1
ЩМА-15, Проба 6	7,7	33,7	36,0	24,8	5,5
ЩМА-15, Проба 7	7,1	30,2	31,3	35,1	3,4
ЩМА-10, Проба 8	8,3	29,8	27,6	38,8	3,8

На втором этапе исследований была проведена оценка минералогического состава щебня, входящего в состав асфальтобетона, а также изучена структура его частиц.

Важным условием обеспечения долговечности асфальтобетона, в частности щебеночно-мастичного, является прочностные показатели и минералогический состав материалов, применяемых в качестве крупного заполнителя минеральной части смеси, поскольку его свойства и определяют степень прочности каркаса макроструктуры асфальтобетона, обеспечивающего как его высокие прочные показатели, так устойчивость к сдвиговым деформациям, выраженную в показателе сдвигоустойчивости. Установлено, что в составе исследованных ЩМА использовался щебень, имеющий сравнительно высокий показатель марки по дробимости 1200-1400 (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика материалов щебеночно-мастичных асфальтобетонов

№ п/п	Марка ЩМА, номер пробы	Характеристика материалов щебеночно-мастичного асфальтобетона	
		марка битума и его дозировка	марка щебня
1	ЩМА-10, Проба 1, 4, 5, 8	БНД 60/90, дозировка битума – 6 %	1200
2	ЩМА-15, Проба 2, 3, 6, 7	ПБВ-60, дозировка ПБВ – 5,6 %	1400

Визуальное исследование зерен щебня с использованием линзы позволило оценить степень однородности породы, ее цвет, текстурные характеристики (сланцеватость, полосчатость, массивность) и др. Главной особенностью структуры породы является степень ее измененности, то есть наличие в структуре минералов, отличных по составу от основной породы.

Для ее оценки были проведены петрографические исследования зерен щебня. Проводились они на прозрачных шлифах (пластинках) с использованием поляризационного микроскопа «ПОЛАМ Л-213» со специальными насадками для фотографирования и комплектом компьютерных программ для обработки полученной информации.

Для этого из частиц щебня изготавливались тонкие пластины толщиной 2-3 мм. Далее они шлифовалась, полировалась и закреплялась на предметном стекле с помощью

клея. Далее верхняя часть пластины дополнительно стачивалась до толщины 30-35 мкм. При данных условиях было возможно произвести весь комплекс петрографических исследований, в том числе: определить минералогический состав пород, размерность зерен породообразующих минералов, вторичных и акцессорных минералов, их взаимоотношения между собой (прорастания, замещения).

В нашей работе эта методика позволила получить следующие характеристики: тип породы, ее минералогический состав и степень измененности, количественное содержание вредных минеральных примесей и т.п.

Результаты исследований пород сопоставлялись с требованиями ГОСТ 32703-2014.

Было установлено, что щебень в составе ЩМА по составу соответствовал проектной документации и представлен породами титаномагнетитовой руды, габбро-диабаза и его переходными разновидностями. При этом некоторые породы имеют дефекты структуры и вредные минеральные примеси, в количестве до 35 % по объему (табл. 3).

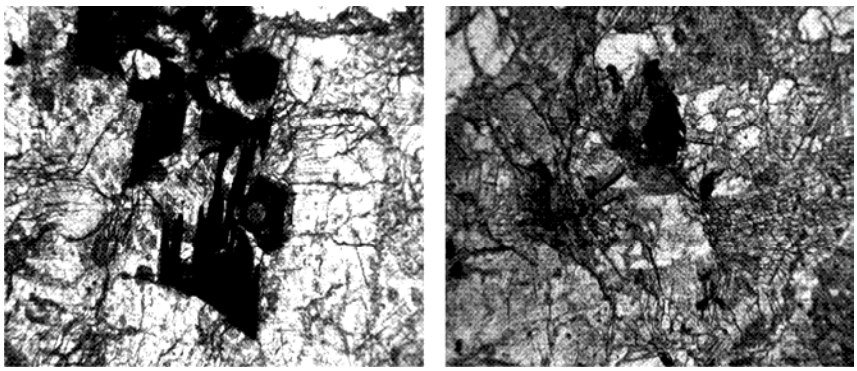
Таблица 3

Исследование петрографического состава пород щебня в составе асфальтобетонного покрытия

Номер пробы	Марка щебня по истираемости	Генезис и тип горной породы по паспортным данным	Соответствие паспортных данных петрографическому анализу	Вредные минеральные примеси, %
Проба 1, 2	И-1	Интрузивная порода титаномагнетитовые руды	соответствует	от 14 до 17
Проба 3, 4	И-1	Интрузивная порода габбро-диабаз	соответствует	от 16 до 20
Проба 5	И-1	Интрузивная порода габбро-диабаз, диорит-диабаз, диабаз-диорит	соответствует	от 8 до 12
Проба 6			соответствует	от 18 до 35
Проба 7			соответствует	от 10 до 35
Проба 8	И-1	Интрузивная порода габбро-диабаз	соответствует	от 8 до 28

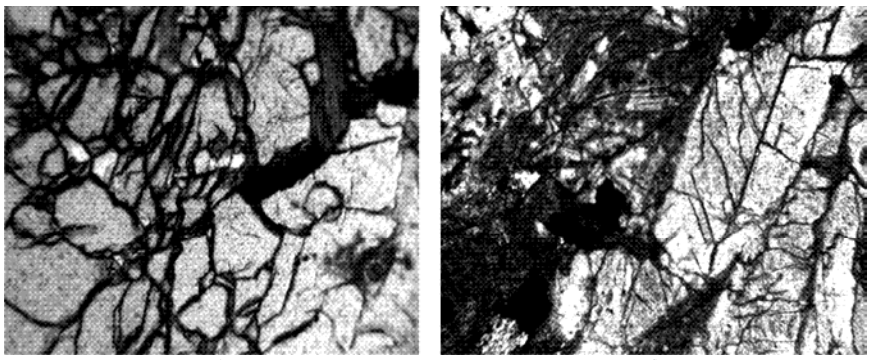
Ранее, содержание таких соединений не регламентировалось, но в соответствии с введенным в действие ГОСТ 32703-2014 их количество в составе щебня не должно превышать 15 %.

В табл. 3 приведены результаты петрографических исследований щебня, выделенного из проб-кернов асфальтобетонов, отобранных с дефектных участков. Приведен минералогический состав, а также количество вредных минеральных примесей в процентах от объема.



а) б)

Рис. 2. Структура микрошлифа щебня, выделенного из кернов щебеночно-мастичного асфальтобетона (проба 1 и 2 соответственно): а) участок с дефектами покрытия; б) участок без дефектов покрытия



а) б)

Рис. 3. Структура микрошлифа щебня, выделенного
из кернов щебеночно-мастичного асфальтобетона (проба 3 и 4 соответственно):
а) участок с дефектами покрытия; б) участок без дефектов покрытия

На рис. 2 и 3 приведены изображения микрошлифов поверхности частиц щебня. В области приведенных структур визуально наблюдаются трещиноватые новообразования неоднороднозернистых пород, что свидетельствует об образовании в основном породообразующем минерале частиц слабых пород и вредных примесей и, как следствие, приводит к преждевременному разрушению щебня в составе ЩМА.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов было показано, что преждевременному разрушению асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог может способствовать изменение группового состава битума и минералогического состава горных пород, с образованием вредных примесей. Поэтому, при подборе материалов для составов асфальтобетонов необходимо учитывать, что интенсивность старения битума определяется компонентным составом сырья, а также характером и длительностью температурного воздействия на него, а степень измененности горной породы для производства щебня характеризуется ее возрастом.

По нашему мнению, в производственных условиях, необходимо разрабатывать и внедрять экспресс-методики по оценке группового состава битумов на стадии входного контроля качества, с целью выявления их склонности к термоокислительному старению и определения содержания парафинов, отрицательно влияющих на адгезионные свойства. Также современные методы контроля эксплуатационных свойств асфальтобетонов должны опираться на изучение структуры заполнителей и наличия в их составе вредных примесей методами петрографии на стадии разведывательных работ в карьерах, что должно повысить транспортно-эксплуатационные показатели асфальтобетонов и их долговечность.

Стоит отметить, что немаловажное значение имеет также совершенствование контроля за технологией и качеством производства работ.

Список библиографических ссылок

1. Углова Е. В. Моделирование деформирования нежестких дорожных конструкций при воздействии движущего транспорта // Известия вузов. Строительство. 2009. № 34. С. 31–35.
2. Юшков Б. С., Сергеев А. С., Бажуков Н. М. Причины возникновения колеи на автомобильных дорогах // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. № 1. С. 401–407.
3. Костельов М. П., Перевалов В. П., Пахаренко Д. В. Практика борьбы с колейностью асфальтобетонных покрытий может быть успешной // Дорожная техника. 2011. С. 54–70.
4. Подольский В. П., Нгуен В. Л., Черноусов Д. И. Причины колееобразования на асфальтобетонных покрытиях и методы повышения их деформативной устойчивости в условиях Южного Вьетнама // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (29). С. 57–65.

5. Хафизов Э. Р., Фомин А. Ю. Применение модифицированных битумов для дорожного строительства Республики Татарстан // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 303–307.
6. Хафизов Э. Р., Фомин А. Ю. Применение полимерасфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах Республики Татарстан // Известия КГАСУ. 2015 № 4 (34). С. 312–316.
7. Хафизов Э. Р., Вдовин Е. А, Ильина О. Н., Фомин А. Ю. Исследование физико-механических свойств многощебенистых асфальтобетонов с использованием полимерно-битумных вяжущих // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 211–215.
8. Nakseok K. Development of a Practical Rutting Characterization Method for Bituminous Mixtures // Journal of the Korea Society of Disaster Information. 2014. Vol. 10, № 1. P. 25–32.
9. Kerboua Mohammed, Megnounif A., Benguediab M., Benrahou Kh., Kaoulala F. Bituminous Materials with a High Resistance to Flow Rutting // American Journal of Civil Engineering and Architecture. 2014. Vol. 2, № 1. P. 1–11.
10. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.

Khafizov E.R. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: hafizov@kgasu.ru
Vdovin E.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: vdovin@kgasu.ru
Fomin A.Y. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: fomin-al.78@mail.ru
Mavliev L.F. – assistant
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru
Bulanov P.E. – post-graduate student
E-mail: f_lays@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Modern methods of assessment of operating ability of road asphalt concrete

Problem statement. To investigate road asphalt concrete on sites of the coverings having defects in the form of hollows, track, cracks of peeling.

Results. The carried-out comparative analysis of components in asphalt concrete has shown what compositions of the applied bitumens are characterized by the increased maintenance of asfalten. It is also found that the structure of the breeds included in the major mineral aggregates of bituminous concrete has defects contain harmful impurities.

The revealed deviations from requirements of normative documentation can influence the decrease in durability of asphalt concrete and its premature destruction.

Conclusions. Modern inspection methods of operating ability of asphalt concrete have to rely on studying of component composition of bitumens and raw materials for its production, and also the structure of fillers and existence in their composition of harmful impurity by petrography methods at the stage of prospecting works in the pits that has to raise transport and operational indicators of asphalt concrete and their durability.

Keywords: highway, bitumen, crushed stone, asphalt concrete, defect.

References

1. Uglova E. V. Modeling of deformation of nonrigid road designs at influence of driving transport // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 34. P. 31–35.
2. Yushkov B. S., Sergeyev A. S., Bazhukov N. M. The causes of a track on highways // Ekologiya i nauchno-texnicheskij progress. Urbanistika. 2015. № 1. P. 401–407.

3. Kostelyov M. P., Pakharenko V. P., Pakharenko D. V. Practice of fight against rutting of asphalt concrete coverings can be successful // Dorozhnaya texnika. 2011. P. 54–70.
4. Podolsk V. P., Nguyen V. L., Chernousov D. I. The reasons of rut forming on asphalt concrete coverings and methods of increase of their deformative stability in the conditions of the Southern Vietnam // Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitelstvo i arhitektura. 2013. № 1 (29). P. 57–65.
5. Khafizov E. R., Fomin A. Y. Application of the modified bitumens for the travelling building of the Republic of Tatarstan // Izvestiya KGASU. 2014. № 4 (30). P. 303–307.
6. Khafizov E. R., Fomin A. Y. Application the polymer asphaltic concrete of coverings on highways of the Republic of Tatarstan // Izvestiya KGASU. 2015. № 4 (34). P. 312–316.
7. Khafizov E. R., Vdovin E. A., Ilina O. N., Fomin A. Y. Research of physicomechanical properties of crushed stone asphalt concrete with use of polymeric and bituminous knitting // Izvestiya KGASU. 2016. № 1 (35). P. 211–215.
8. Nakseok K. Development of a Practical Rutting Characterization Method for Bituminous Mixtures // Journal of the Korea Society of Disaster Information. 2014. Vol. 10, № 1. P. 25–32.
9. Kerboua Mohammed, Megnounif A., Benguediab M., Benrahou Kh., Kaoulala F. Bituminous Materials with a High Resistance to Flow Rutting // American Journal of Civil Engineering and Architecture. 2014. Vol. 2, № 1. P. 1–11.
10. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.

УДК 621.929
Сахапов Р.Л. – доктор технических наук, профессор
E-mail: rustem@sakhapov.ru
Махмутов М.М. – кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: maratmax@yandex.ru
Земдиханов М.М. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: mr.minsur@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Экспериментальная модель влияния влажности и типа почв на удельное сопротивление сдвигу

Аннотация

Постановка задачи. В летний период работы движители транспортно-технологических машин чаще контактируют с переувлажненной почвой, находящейся в пластичном состоянии, поэтому данное ее состояние при исследовании представляет наибольший интерес. Диапазон влажности, при котором почва находится в пластичном состоянии, характеризуется числом пластичности J_p. Поставлена и решена задача исследования – составить модель влияния влажности и типа почв на удельное сопротивление сдвигу.

Результаты. После обработки экспериментальных исследований получены модели влияния влажности и типа почв на удельное сопротивление сдвигу. С повышением W_o величина удельного сопротивления почвы сдвигу снижается. С уменьшением глинистых частиц в почве значимость данного фактора на отклик функции также снижается. С повышением удельного веса почвы γ_S для пластических почв увеличивается, а для текучих − снижается, что объясняется уменьшением φ_o.

Выводы. В результате решения данной задачи на ЭВМ получили следующие экспериментальные модели, отражающие в закодированном виде влияние значимых факторов на внутреннее сцепление частиц почвы и угол внутреннего трения соответственно.

Ключевые слова: относительная влажность, удельный вес, угол внутреннего трения, удельное сопротивление почвы сдвигу, давление.

Введение

Почва в зависимости от степени влажности может находиться в трех состояниях: твердом, пластичном и текучем. В летний период работы движители транспортно-технологических машин чаще контактируют с переувлажненной почвой [1, 2], находящейся в пластичном состоянии, поэтому данное ее состояние при исследовании представляет наибольший интерес. Диапазон влажности, при котором почва находится в пластичном состоянии, характеризуется числом пластичности J_p [3]. Анализ литературных источников [4-7] показывает, что J_p можно определить по формуле: $J_p = 0{,}6 \cdot G_{гл}$. В расчетах удобнее пользоваться γ_S, далее получим:

$$G_{гл} = (\gamma_S - 25) \cdot 10 \Rightarrow J_p = 0{,}6 \cdot (\gamma_S - 25) \cdot 10. \quad (1)$$

Относительную влажность, при которой наступает предел пластичности $W_o^{П}$ (%) от удельного веса почвы, можно определить: $W_o^{П} = (\gamma_S - 20) \cdot 4$. Относительную влажность, при которой наступает предел текучести $W_o^{Т}$ (%) от удельного веса почвы, определим:

$$W_o^{Т} = W_o^{П} + J_p = (\gamma_S - 20) \cdot 4 + 0{,}6 \cdot (\gamma_S - 25) \cdot 10. \quad (2)$$

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что в диапазонах перехода почв из твердого в пластичное, из пластичного в текучее состояние силы сопротивления сдвигу изменяются по кривой с различным характером ускорений. Однако в диапазоне влажности пластичного состояния почвы можно принять линейный характер влияния исследуемых факторов на отклик функции (рис. 1, 2).

В табл. 1 приведены значения γ_S от содержания глинистых частиц, пределов пластичности и текучести (по Качинскому Н.А.), в табл. 2 – значения c_o и φ_o (по Агейкину Я.С.).

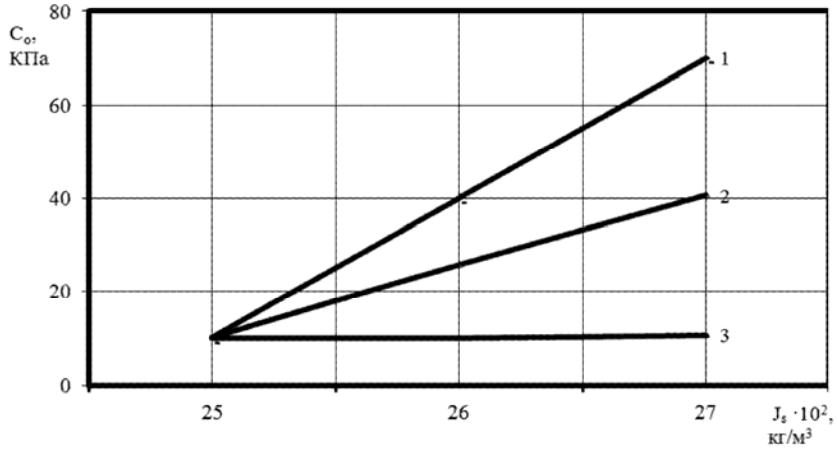


Рис. 1. Зависимость внутреннего сцепления почвы от влажности и удельного веса почвы:
1 – $W_{ОП}$; 2 – 0,5 $W_{ОТ}$; 3 – $W_{ОТ}$; φ_0,^{0}

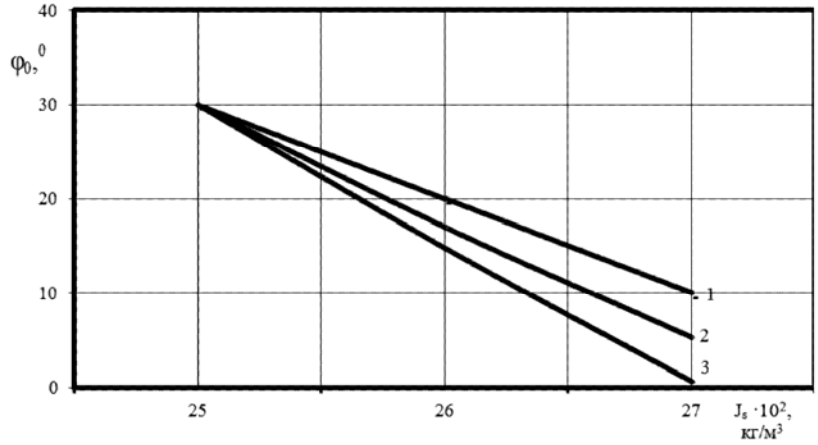


Рис. 2. Зависимость угла внутреннего трения от влажности и удельного веса почвы:
1 – $W_{ОП}$; 2 – 0,5·$W_{ОТ}$; 3 – $W_{ОТ}$

Таблица 1

Зависимость γ_S от содержания глинистых частиц, пределов пластичности и текучести [5]

γ_S, кг/м^3	Содержание глинистых частиц, %	$n_{пластич.}$	$W_o^{П}$, %	$W_o^{Т}$, %
2550	0	0	20	20
2650	10	6	24	30
2750	20	12	28	40
2850	30	18	32	50

Таблица 2

Значения c_o и φ_o [6]

№ п/п	γ_S, кг/м^3	W_o, %	c_o, кПа	φ_o, в град.
1	2550	17,3	11,0	30,0
2	2850	33,0	78,0	10,0
3	2550	18,0	8,0	30,0
4	2850	52,0	9,0	3,0
5	2650	28,0	40,0	20,0
6	2650	26,0	9,5	16,5
7	2550	18,0	9,0	30,0
8	2850	51,0	10,0	3,0
9	2650	32,5	26,0	18,3

В результате обработки экспериментальных данных на ЭВМ получили математические модели, отражающие влияния значимых факторов на внутреннее сцепление частиц почвы c_o и угол внутреннего трения φ_o соответственно:

$$c_o = 26{,}3 - 16{,}8X_1 + 16{,}3X_2 - 15{,}8X_1X_2, \quad (3)$$

$$\varphi_o = 18{,}3 - 1{,}8X_1 - 11{,}8X_2 - 1{,}8X_1X_2, \quad (4)$$

где c_o – внутреннее сцепление частиц почвы, кПа; φ_o – угол внутреннего трения, град.;

$$X_1 = \frac{W_O - 0{,}5W_O^T}{0{,}5W_O^T},\ X_2 = \frac{g_S - 27{,}5}{2{,}5},$$

соответственно относительная влажность и удельный вес почвы в закодированном виде.

Анализируя коэффициенты регрессии с соответствующим доверительным интервалом видим (5), что наибольшее влияние на φ_o оказывает фактор W_o. Влияние фактора ниже на 3 %. Что же касается коэффициентов факторов при парных взаимодействиях, то их влияние ниже доверительного интервала.

С повышением W_o величина силы сцепления снижается. С уменьшением глинистых частиц в почве значимость данного фактора на отклик функции также снижается. С повышением удельного веса почвы c_o снижается, а с повышением влажности уменьшается.

Анализ математической модели (4) показывает, что наибольшее влияние на угол внутреннего трения оказывает фактор удельного веса почвы.

Влияние влажности почвы ниже на 82 % относительно фактора γ_S. Анализируя коэффициенты факторов при парных взаимодействиях видно, что влияние его также ниже на 85,1 % относительно фактора удельного веса почвы [7, 8].

С увеличением W_o угол внутреннего трения при увеличении глинистых частиц в почве снижается [9]. С уменьшением c_o удельный вес почвы снижается, а с повышением влажности почв γ_S увеличивается [10, 11]. Следовательно, модель влияния влажности и типа почв на удельное сопротивление почвы сдвигу в общем виде можно записать:

$$\tau_{сд} = 26{,}3 - 16{,}8X_1 + 16{,}3X_2 - 15{,}8X_1X_2 + q \cdot tg\,(18{,}3 - 1{,}8X_1 - 11{,}8X_2 - 1{,}8\,X_1X_2), \quad (5)$$

где q – среднее давление на почву, кПа.

В результате обработки экспериментальных данных получим модель, отражающую влияния значимых факторов на удельное сопротивление почвы сдвигу при q = 100 кПа:

$$\tau_{сд} = 61{,}0 - 20{,}7X_1 + 7{,}0X_2 - 19{,}0X_1X_2. \quad (6)$$

Из математической модели (6) видно, что наибольшее влияние на удельное сопротивление почвы сдвигу оказывает фактор влажности почвы. Влияние удельного веса почвы ниже на 67 %. Анализ факторов при парных взаимодействиях показывает, что влияние γ_S ниже на 8 % относительно фактора влажности почвы.

С увеличением W_o величина $\tau_{сд}$ снижается. С уменьшением глинистых частиц в почве значимость данного фактора на $\tau_{сд}$ снижается. С повышением удельного веса почвы γ_S для пластических почв увеличивается, а для текучих − снижается, это из-за уменьшения φ_o (рис. 2). Данные экспериментальные модели учитывают влияние физико-механических свойств почвы на удельное сопротивление сдвигу (рис. 3).

В исследования теории качения колеса и его контакта с почвой и физики почвы значительный вклад внесли В.П. Горячкин [4], Н.А. Качинский [5], Я.С. Агейкин [6], М.М. Махмутов [7-9], А.Х. Зимагулов [10], Д.И. Золотаревская [11], М.Г. Беккер [12, 13], Р.Л. Сахапов [15, 16], С.А. Сейгер [14] и другие.

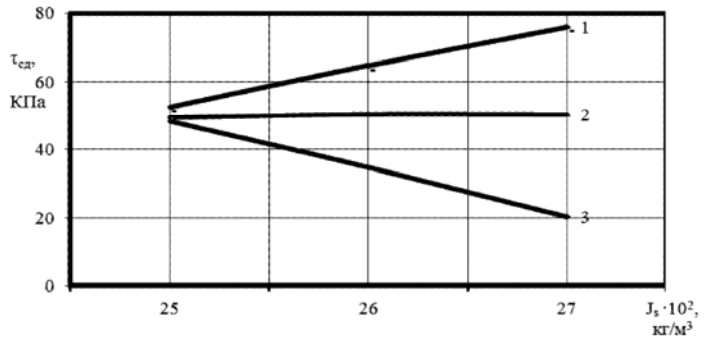


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления почвы сдвигу от влажности и удельного веса:
1 – $W_{ОП}$; 2 – 0,5·$W_{ОТ}$; 3 – $W_{ОТ}$

Условно разделим почву, находящуюся под штампом, на слои толщиной равной диаметру твердых частиц. Частицы первого слоя давят на частицы второго слоя, которые воспринимаются третьим слоем и т.д. С увеличением глубины $h_ш$ количество частиц, воспринимающих нагрузку повышается, за счет чего величина напряженности, приходящаяся на каждую частицу, уменьшается. Так, если площадь частиц первого слоя равна площади штампа (для квадрата) $a_ш^2$, то на глубине $h_ш$ она составляет − $A_ш^2$. Значение параметра $A_ш$ зависит от угла давления почвенных частиц на последующие слои $a_ш$. Выразим данное предположение в математической форме:

$$S_h = A_ш^2 = a_ш^2 + 2\cdot(tg\alpha_ш \cdot h_ш), \quad (7)$$

где S_h − площадь почвенного слоя, воспринимающего нагрузку на глубине $h_ш$.

Количество точек соприкосновений с соседними частицами почвы $Z_ш$ зависит от пористости почвы и его можно представить в логарифмической функции типа:

$$Z_ш = \log_a(F_п). \quad (8)$$

Показатель основания логарифмической функции «а» определится:

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}; \Rightarrow a = \left(\sqrt[12]{\frac{1}{0,26}} + \sqrt[8]{\frac{1}{0,32}} + \sqrt[6]{\frac{1}{0,48}} \right) \Big/ 3 = 0,885.$$

Следовательно,

$$Z_{Ш} = \log_{0.885}\left[1 - \frac{1 + \frac{W}{1-W}}{1 + \frac{g_S \cdot W}{g_W \cdot (1-W)} + \frac{V_3}{V_1}}\right]. \quad (9)$$

Учитывая, что напряженность в почвенной частице $\sigma_п$ есть отношение силы на площадь слоя воспринимающего частицей нагрузку, получим:

$$\sigma_п = P_ш / S_ш; \quad (10)$$

- для прямоугольного сечения определим S_h:

$$S_h = (a_ш + 2\cdot(tg\alpha_ш \cdot h_ш) \cdot (в_ш + 2\cdot(tg\alpha_ш \cdot h_ш)),$$

- для треугольного сечения:

$$S_h = \frac{[(a_ш + 2\cdot(tga_ш \cdot h_ш))\cdot(в_ш + 2\cdot(tga_ш \cdot h_ш))]}{2};$$

- для круглого сечения:

$$S_h = \frac{[p \cdot (d_ш + 2\cdot tga_ш \cdot h_ш)^2]}{4}.$$

Следовательно, для прямоугольного сечения получим:

$$s_{П} = \frac{P_ш}{\left(a_ш + 2\cdot h_ш \cdot tg\left(131 - \frac{F_П}{(3,66\cdot 10^{-3})}\right)\right)\cdot\left(b_ш + 2\cdot h_ш \cdot tg\left(131 - \frac{F_П}{(3,66\cdot 10^{-3})}\right)\right)}. \quad (11)$$

Полученные модели описывают напряженное состояние почв в зависимости от содержания влаги, воздуха, удельного веса почв, параметров и формы штампа. По мере роста напряженности в почве растет также и пористость почвенного ядра.

Пористость почвы можно выразить также через объемный вес (плотность) почвы:

$$F_п = 1 - \gamma_п / \gamma_s \rightarrow \gamma_п = \gamma_s \cdot (1-F_п). \quad (12)$$

Почвенную структуру можно рассматривать как частицу, состоящую из слипшихся мелких частиц. Если элементарную частицу рассматривать как первичную, то последующие образования можно рассматривать как вторичное, третичное и т.д.

Выразим плотность почвы через весовые и объемные показатели ее фаз, получим:

$$g_{П} = \frac{g_1 + g_2}{V_1 + V_2 + V_3}. \quad (13)$$

Учитывая, что:

$$g_1 = g_S \times V_1; g_2 = g_W \times V_2;\ W_a = \frac{g_2}{g_1 + g_2}; W_o = \frac{g_2}{g_1}; g_2 = W_o \cdot g_1.$$

$$W_a = \frac{g_1 W_o}{g_1 + g_1 W_o} = \frac{W_o}{1 + W_o};$$

$$W_a = W_o - W_a \cdot W_o = W_o \cdot (1 - W_a); W_o = \frac{W_a}{1 - W_a}.$$

Получим:

$$g_2 = W_a \cdot (g_1 + g_2) = W_a \cdot g_1 + W_a \cdot g_2; W_a \cdot g_1 = g_2 - W_a \cdot g_2 = g_2 \cdot (1 - W_a);$$

$$g_1 = \frac{g_2 \cdot (1 - W_a)}{W_a}; \Rightarrow g_S \cdot V_1 = \frac{g_П \cdot V_2 \cdot (1 - W_a)}{W_a};$$

$$V_1 = \frac{g_W \times V_2 \times (1 - W_a)}{g_S \times W_a}; \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \times g_S \times W_a}{g_W \times (1 - W_a)}, \quad (14)$$

где γ_W – объемный вес воды, γ_W = 1000 кг/м^3; γ_S – удельный вес почвы, кг/м^3; W_a – абсолютная влажность почвы.

Подставляя формулы (14) в модель (15), получим:

$$g_П = \frac{g_S \times V_1 + g_W \times V_2}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{g_S \times V_1 + \frac{g_W \times V_1 \times g_S \times W_a}{g_W \times (1 - W_a)}}{V_1 + \frac{V_1 \times g_S \times W_a}{g_W \times (1 - W_a)} + V_3}; \quad (15)$$

$$F_П = 1 - \frac{1 + \frac{W_a}{1 - W_a}}{1 + \frac{g_S \cdot W_a}{g_W \cdot (1 - W_a)} + \frac{V_3}{V_1}}. \quad (16)$$

Определение коэффициентов динамики изменения угла давления (КДУ) и формы почвенного ядра (КФЯ)

Для определения коэффициента динамики изменения угла давления используем следующую формулу, получим:

$$a_ш = 131 - \frac{1 - g_g / g_s}{(3{,}66 \cdot 10^{-3})}. \quad (17)$$

В результате воздействия штампа, плотность почвы увеличивается, следовательно, угол давления изменится и составит:

$$a_я = 131 - \frac{1 - g_я / g_s}{(3{,}66 \cdot 10^{-3})}, \quad (18)$$

где $\gamma_я$ – плотность почвенного ядра под штампом, кг/м^3.

Тогда теоретическая модель КДУ определится:

$$K_a = \frac{a_Ш}{a_я} = \left[131 - \frac{1 - g_П / g_S}{(3{,}66 \cdot 10^{-3})}\right] : \left[131 - \frac{1 - g_Я / g_S}{(3{,}66 \cdot 10^{-3})}\right]. \quad (19)$$

Полученная модель (19) позволяет определить экспериментальные значения КДУ в зависимости от параметров штампа и свойств почв.

Форма поперечного сечения и длина образовавшегося почвенного ядра зависят в основном от формы штампа, липкости почвы, определяющейся типом, минералогическим составом и влажностью. Геометрическая связь между длиной ядра $l_я$, параметром штампа $a_ш$ и углом при вершине $\alpha_ш$ выразится (рис. 4):

$$l_я = \frac{a_ш}{2 \cdot tg a_ш}. \quad (20)$$

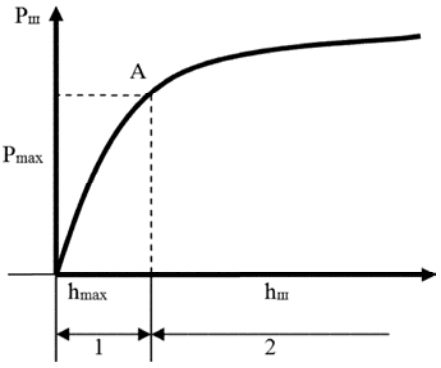


Рис. 4. Зависимость силы сопротивления почвы смятию от деформации

Объем почвы, сжатой штампом, образует почвенное ядро, тогда для пирамидальной (конусообразной) формы почвенного ядра, получим:

$$V_{я} = \frac{S_{ш} \cdot l_{я}}{3}; \frac{g_{п}}{g_{я}} = \frac{V_{п}}{V_{я}}; V_{п} = S_{ш} \cdot h_{\max};$$
$$\frac{1-F_{я}}{1-F_{п}} = \frac{3 \cdot h_{мах}}{l_{я}} \Rightarrow h_{мах} = \frac{l_{я} \cdot (1-F_{я})}{3 \cdot (1-F_{п})}; g_{я} = g_{s} \cdot (1-F_{я}); g_{п} = g_{s} \cdot (1-F_{п}). \quad (21)$$

На практике форма почвенного ядра не всегда имеет конусообразную форму, и с целью ее корректировки введем поправочный коэффициент формы почвенного ядра. Используя модель (21), КФЯ определится:

$$e_{я} = \frac{3 \cdot c_{o} \cdot (1-F_{П})}{(1-F_{я}) \cdot (1-\sin(K_{a} \cdot a_{ш}) \cdot tg j_{o}) \cdot l_{я} \cdot cos(K_{a} \cdot a_{ш}) \cdot K_{t}}. \quad (22)$$

Таким образом, зная плотность почвы, ядра и коэффициент объемного смятия по моделям (19), (22), можно определить экспериментальные значения КДУ и КФЯ в зависимости от параметров штампа и свойства почв.

Выводы

1. С увеличением относительной влажности величина силы сцепления снижается. С уменьшением глинистых частиц в почве значимость данного фактора также снижается. С повышением γ_S почвы c_o снижается, а с повышением ее влажности уменьшается.

2. С повышением влажности почв φ_o при увеличении глинистых частиц в почве снижается. С уменьшением γ_S φ_o снижается, а с повышением влажности почв γ_S увеличивается. С увеличением плотности почвы растет также ее напряженное состояние.

Список библиографических ссылок

1. Абсалямова С. Г., Сахапов Р. Л. Глобальное партнерство в сфере трансфера технологий как фактор сокращения инновационного разрыва // Известия КГАСУ. 2013. № 3 (25). С. 193−198.
2. Сахапов Р. Л., Мазитов Н. К., Рахимов Р. С., Лобачевский Я. П., Галяутдинов Н. Х., Шарафиев Л. З. Влаго- и энергосберегающая технология обработки почвы и посева в острозасушливых условиях // Техника и оборудование для села. 2013. № 3 (189). С. 2−6.
3. Габдуллин Т. Р., Загретдинов Р. В., Сахапов Р. Л. Моделирование систем управления дорожно-строительной техникой // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. т. 16. № 1 (2). С. 394–396.
4. Горячкин В. П. Собрание сочинений. в 3 т. М. : Колос, 1968. 328 с.
5. Качинский Н. А. Физика почв. М. : Высшая школа, 1965. 323 с.
6. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей: учеб. пособие для ВУЗов. М. : Машиностроение, 1981. 232 с.
7. Махмутов М. М. Оптимизация параметров конусности стойки устройства противоскольжения // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 6. С. 31–33.
8. Махмутов М. М., Сахапов Р. Л. Параметры упаковок различных типов грунтов Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (32). С. 294–299.
9. Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства : пат. 2453445 Рос. Федерация. № 2010150215/11 ; заявл. 07.12.2010 ; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17. 2 с.
10. Зимагулов А. Х., Юлдашев А. К. Повышение тягово-сцепных качеств колесных тракторов. Казань : Татарское книжное издательство, 1975. 64 с.
11. Золотаревская Д. И. Взаимосвязь различных математических моделей деформирования почвы // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 10−16.
12. Bekker M. G. Wheels and track // Journal Automobile engineers. 1955. № 6. P. 15−17.

13. Bekker M. G. Off-the-Road Lokomotion : research and development in Terramechanics. The Univ. of Michigan Press. AnnArbor. Mich, 1960. P. 16−18.
14. Ceiger F. A. Reifen für die Landwirtschaft // Der Land und Forstwirtschaftliche Betrieb. 1987. № 2. P. 6−8.
15. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012008.
16. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012119.

Sakhapov R.L. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: rustem@sakhapov.ru
Makhmutov M.M. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: maratmax@yandex.ru
Zemdikhanov M.M. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: mr.minsur@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Experimental model of influence of moisture and soil type on shift resistivity

Abstract

Problem statement. In summer, drivers of transport-technological machines often work in contact with waterlogged soil, which is in plastic condition, so the given condition in the study is of most interest. Humidity range in which the soil is in a plastic state, is characterized by a number of plasticity J_P. Set and solved the problem of the study is to make a mathematical model of the influence of moisture and type of soil on $\tau_{сд}$.

Results. After processing the experimental research model of the influence of moisture and type of soil on resistivity shift. With increasing W_o, the value of the specific resistance of soil to shear is reduced. With a decrease in clay particles in the soil the importance of this factor on the response functions is also reduced. With the increase of the specific weight of the soil γ_S for a plastic soil increases, and the fluid is reduced due to the reduction of angle of φ_o.

Conclusions. The solution of this problem on a computer received the following experimental models that reflect in coded form the influence of important factors on the internal cohesion of soil particles and the angle of internal friction, respectively.

Keywords: relative humidity, specific weight, angle of internal friction, unit soil resistance to shear pressure.

References

1. Absalyamova S. G., Sakhapov R. L. Global partnership in the field of technology transfer as a factor of reduction of the innovation gap // Izvestiya KGASU. 2013. № 3 (25). P. 193−198.
2. Sakhapov R. L., Mazitov N. K., Rakhimov R. C., Lobachevsky Y. P., Galyautdinov N. X., Sharafiev L. Z. Water- and energy-saving technology of soil tillage and sowing in high-draught conditions // Technica i oborudovaniye dlya sela. 2013. № 3 (189). P. 2−6.
3. Gabdullin T. R., Zagretdinov R. V., Sakhapov R. L. the Modeling of control systems of road-building equipment // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2014. vol. 16. № 1 (2). P. 394–396.
4. Goryachkin V. P. Collected works; 3 vol. M. : Kolos, 1968. 328 p.
5. Kaczynski N. A. Physics of soils. M. : Vishaya schola, 1965. 323 p.
6. Ageikin J. S. Permeability of vehicles: Textbook: Visaya schola. M. : Mashinostroenie, 1981. 232 p.

7. Makhmutov M. M. Optimization of parameters of taper of the strut device chains // Tractori i chelhozmachinye. 2013. № 6. P. 31–33.
8. Makhmutov M. M., Sakhapov R. L. Parameters of packages of different types of soils // Izvestiya KGASU. 2015. № 2 (32). P. 294–299.
9. Anti-skid device for the wheels of the vehicle, the application : pat. № 2453445 Rus. Federation. № 2010150215/11 ; decl. 07.12.2010 ; publ. 20.06.2012. Bull. № 17. 2 p.
10. Zimagulov A. H., Yuldashev A. K. Improve traction qualities of wheeled tractors. Kazan : Tatarskoe knignoe izdatelstvo, 1975. 64 p.
11. Zolotarevskaya I. D. Relationship of different mathematical models of deformation of the soil // Mechanizachiya i electrifikasiya selskogo hoziystva. 1983. № 5. P. 10−16.
12. Bekker M. G. Wheels and track // Journal Automobile engineers. 1955. № 6. P. 15−17.
13. Bekker M. G. Off-the-Road Lokomotion : research and development in Terramechanics. The Univ. of Michigan Press. AnnArbor. Mich, 1960. P. 16−18.
14. Ceiger F. A. Reifen für die Landwirtschaft // Der Land und Forstwirtschaftliche Betrieb. 1987. № 2. P. 6-8.
15. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012008.
16. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012119.

УДК 628.4
Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: obbars@mail.ru
Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: a0an@mail.ru
Мусин Б.Х. – студент
E-mail: bulatmusa@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Метод утилизации твердых бытовых и промышленных отходов

Аннотация

Постановка задачи. Любые отходы можно классифицировать по происхождению на бытовые, промышленные, медицинские, сельскохозяйственные и т.д., и по свойствам на «опасные», т.е. токсичные, едкие, воспламеняющиеся и т.п., и «неопасные». Твердыми бытовыми отходами (ТБО) или по западной терминологии «твердыми муниципальными отходами» (Municipal Solid Waste) обычно называют отходы, захоронением или утилизацией которых занимаются городские власти, хотя в последние годы заметно возросла на Западе роль частных предприятий в сборе и переработке ТБО. В связи с этим, было решено найти универсальную методику расчета условной молекулы топлива.

Результаты. Авторами найдена универсальная методика расчета условной молекулы топлива. Поскольку состав и объем бытовых отходов чрезвычайно разнообразен, а усредненные характеристики и свойства этих отходов могут существенно различаться не только для различных стран, но и для различных регионов отдельной страны и даже для разных районов одного и того же города, то для нахождения формулы условной молекулы топлива был использован среднестатистический состав твердых бытовых и промышленных отходов.

Выводы. Авторами была разработана методика расчета условной молекулы топлива. Эта формула необходима для того, чтобы определить при сжигании топлива состав продуктов сгорания, выявить наличие диоксинов и их предсвестников, и предпринять меры по обезвреживанию продуктов сгорания. Данная формула может быть использована для любого топлива.

Ключевые слова: диоксины, кинетика, равновесие, неравновесие, прогнозирование, твердые бытовые отходы.

Рост объемов ТБО и обращение с ними вызывает множество экономических, экологических, социальных и медицинских проблем. Это проявляется, в частности, в резко отрицательном отношении населения к традиционным методам утилизации мусора (особенно с использованием свалок), принятии более жестких экологических стандартов (что в свою очередь приводит к росту цен утилизации и необходимости привлечений крупных инвестиций), в совершенствовании управления отходами. Понятие управление отходами (Waste managment) включает комплекс мероприятий не только по организации сборов отходов, их эффективной утилизации, но и мероприятия по уменьшению количества самих отходов.

Объем бытовых отходов в развитых странах составляет от 1 до 3 кг на человека в день. Недавний дефицит в России товаров и потребительских услуг приводил к меньшим, чем на Западе, объемам ТБО на душу населения и составлял 0,2-0,5 кг в день на человека. Однако экономические и политические процессы, происходящие в России в настоящее время, способствуют устойчивому росту и разнообразию бытовых отходов, а возросшая самостоятельность местных властей приводит к тому, что становится проблематичным создание мощного предприятия по переработке мусора на относительно дешевой земле

вдали от городов, поскольку никто не хочет «чужого» мусора. Все это также свидетельствует о необходимости разработки новых экологически чистых технологий по переработке ТБО.

Проведенный анализ литературных источников по структурному составу ТБО в различных регионах России несмотря на определенные различия в отдельных ингредиентах бытовых отходов позволил представить их среднестатистический состав, а также типичный состав отходов медицинских учреждений в табл. 1.

Таблица 1

Средний структурный состав ТБО

Наименование отходов	Удельное содержание ингрaдиентов в общей массе ТБО в %
	ТБО
Бумага, картон	36,6
Пищевые отходы	27,5
Древесина	4,1
Стекло	3,3
Металл	4,0
Камни, керамика, гипс	1,2
Текстильные отходы	5,1
Пластмассы, полимеры	6,0
Резина, кожа	1,5
Кости	1,7
Операционные отходы	-
Отработанные лекарственные препараты	-
Прочие отходы	9,0

Одним из направлений утилизации отходов является метод термического обезвреживания (сжигания) ТБО. Для прогнозирования параметров горения необходимы сведения об энергетической эффективности отходов.

Тепловые эффекты химических реакций горения, фазовых переходов (плавления, кипения и т.д.), полиморфных превращений и других процессов, протекающих при постоянном давлении (что характерно, в частности, для топочных устройств), характеризуются изменением энтальпии (ΔH). Используемые в термодинамических расчетах величины энтальпий имеют относительные значения с некоторым условным началом отсчета и обозначается символами I, если размерность кДж/кмоль, или $i=I/m$, кДж/кг. В теплотехнических расчетах топочных устройств традиционно пользуются теплотой сгорания (теплотворностью), представляющей собой количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы или объема горючего при некоторых стандартных условиях сжигания. При этом используют низшую теплоту сгорания H_u, при определении которой тепловой эффект рассчитывают при условии, что вода в продуктах сгорания при стандартной температуре находится только в газообразном состоянии. Зная величину H_u, можно определить значение энтальпии ТБО $i_{ТБО}$ по следующей зависимости:

$$i_{ТБО} = H_u/(1 + k_m^\circ) + i_{пс}(T_0), \quad (1)$$

где k_m° – массовый стехиометрический коэффициент, кг воздуха/кг ТБО; $i_{пс}(T_0)$ – энтальпия недиссоциированных газообразных продуктов сгорания ТБО при T_0=298,15 К.

Низшая теплота сгорания H_u бытовых отходов колеблется от 4,2 до 12,6 МДж/кг. Теплоту сгорания среднестатистического состава ТБО можно принять равной 8,4 МДж/кг. Значения низшей теплоты сгорания некоторых составляющих ТБО приведены в табл. 2.

Таблица 2

Низшая теплота сгорания твердых веществ и материалов, присутствующих в ТБО

Вещество	H_u, МДж/кг	Вещество	H_u, МДж/кг
Бумага	17,6	Белок растительный	23,45
Бумага разрыхленная	13,4	Сахар	16,5
Картон	16,5	Мука	16,6
Волокно:		Ячмень	17,37
ацетатное	18,77	Зерно	16,8
капрон	30,72	Крахмал	16,6
лавсан	22,58	Кожаные обрезки	19,9
нитрон	30,75	Линолеум	21,0
шерстяное	23,14	Оргстекло	25,1
Шелк	21,00	Парафин твердый	11,2
Шерсть	20,5-23,1	Пенополистирол	41,63
Текстиль	18,84	Пенополиуретан	24,3
Хлопок	17,5	Пенопласт ПХВ-1	19,51
Хлопок разрыхленный	15,7	Пенопласт ФС-7 Пенопласт ФФ	24,43 31,4
Дерматин	21,54	Полиэтилен	46,62
Жиры животные	40,00	Триацетат Целлофан	19,1 17,37
Животное масло	38,2	Целлюлоза Рубероид	16,4 29,5
Древесина сосновая	15,32-20,85	Толь Кальций	15,95 15,5
Древесина дубовая	19,9	Алюминиевый порошок	31,1
Древесново-локнистая плита	20,9	Плитка полистирольная	41,87
Каучук синтетический	40,2	Резина	14,1
Каучук натуральный	44,8	Резинотехнические изделия	33,5

Элементный химический состав бытовых отходов

Для определения состава и параметров продуктов сгорания бытовых отходов необходимо знание элементного химического состава ТБО. Как и всякое топливо ТБО преимущественно состоит из горючей и негорючей частей. Горючая часть ТБО состоит из сложных органических соединений, в состав которых входят: углерод (*C*), водород (*H*), кислород (*O*), азот (*N*), сера (*S*) и хлор (*Cl*). В состав горючей части могут входить также металлы, фосфор и другие вещества, участвующие в реакциях горения. Негорючая часть ТБО состоит из влаги (W) и минеральных (неорганических) веществ, превращающихся при сжигании ТБО в золу (A). В химическом составе ТБО специальным верхним индексом отмечается, при каких условиях определено содержание в ТБО или топливе различных горючих и негорючих составляющих. Так элементный состав только органической массы топлива отмечается индексом «о». Состав, полученный добавлением к органической массе части серы из минеральных примесей, способных участвовать в процессе горения (главным образом, колчеданной серы FeS_2), определяет горючую массу топлива и содержит индекс «г». Состав горючей массы с минеральными и негорючими примесями «A» характеризует сухую массу топлива и включает индекс «с». Добавление к сухой массе влаги W представляет собой рабочий состав горючего, обозначаемый индексом «р». Таким образом, состав рабочей массы может быть представлен, например, в виде процентного содержания химических элементов, минеральной неорганической составляющей и влаги:

$$H^{р}+C^{р}+N^{р}+O^{р}+A^{р}+W^{р}=100\ \%. \qquad (2)$$

При сжигании или термической переработке топлива или ТБО содержащиеся в нем минеральные вещества претерпевают различные изменения. Аналогичные изменения происходят при стандартном определении зольности ТБО. По анализу золы испытуемого образца топлива можно определить количественное содержание химических элементов в минеральной части ТБО, но не точно восстановить исходный состав минеральных веществ. Поэтому в расчетах обычно делается допущение о равенстве по массе и составу минеральной части топлива и золы, образующейся при сгорании этого ТБО табл. 3.

Таблица 3

Химический состав ТБО

углерод	18-32 %
кислород	15-22 %
азот	0,2-0,4 %
сера	0,1-0,4 %
хлор	0,1-0,8 %

По данным Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова элементный состав среднестатистических твердых бытовых отходов в процентах по массе может быть задан следующим образом:

C^p =29,7, H^p =3,6, O^p =22,6, N^p =0,3, S^p =0,1, Cl^p =0,7, A^p =24,3, W^p =18,7.

Зола ТБО состоит из оксидов алюминия, кремния, кальция и других элементов.

Для пересчета состава ТБО с одной массы на другую, более обогащенную горючим, пользуются следующими соотношениями:

$$A^{(i)c} = A^{(i)p}\frac{100}{100-W^p}, \quad (3)$$

$$A^{(i)г} = A^{(i)p}\frac{100}{100-W^p-A^p}, \quad (4)$$

где $A^{(i)}$ – символ химического элемента i; $A^{(i)c}$ и $A^{(i)г}$ – соответственно процентное содержание элемента i в сухом и горючем составах; A^p – процентное содержание золы в рабочем составе.

С учетом зависимостей (3) и (4) элементные составы сухой и горючей масс среднестатистических твердых бытовых отходов можно представить в процентах по массе в виде:

$$\begin{gathered} C^c = 36{,}53,\ H^c = 4{,}428,\ O^c = 27{,}798,\ N^c = 0{,}369,\ S^c = 0{,}123,\ Cl^c = 0{,}861,\ A^c = 29{,}889; \\ C^г = 52{,}105,\ H^г = 6{,}316,\ O^г = 39{,}649,\ N^г = 0{,}526,\ S^г = 0{,}175,\ Cl^г = 1{,}228. \end{gathered} \quad (5)$$

Таким образом, твердые бытовые отходы можно представить состоящими на 57 % из горючей массы состава (5), на 24,3 % из минеральной части (золы) и 18,7 % воды. В свою очередь минеральная часть (зола) задается процентным составом (массовыми) долями оксидов металлов: SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, SO_3 и др. Если в состав ТБО входят металлы в виде крупных фрагментов различных деталей, а также обрезки уголков, жестяные банки, гвозди и т.д., то в исходные данные по составу ТБО в горючую часть необходимо включить массовую долю металла, участвующего в горении с образованием окалины, а в минеральную, неизменяемую часть – остальную долю металла, не участвующего в горении, но снижающего температуру за счет аккумуляции тепла, фазовых превращений.

Условная формула компонентов топлива

Для расчета химического состава продуктов сгорания, нагрева или разложения, необходимы данные об элементном составе исходных веществ: окислителе и горючем. В данном случае окислителем является воздух (точнее кислород воздуха), а горючим ТБО. Результаты расчета химического состава не должны зависеть от химических формул, представляющий исходный элементный состав. Поэтому элементный состав участвующих в высокотемпературных процессах исходных веществ целесообразно представлять условной формулой. Эту формулу обычно относят к некоторой условно выбранной молекулярной массе.

Представим согласно [1-4], исходную условную формулу любого компонента с выбранной произвольно молекулярной массой $m_к$ в символьном виде:

$$A_{b_{1к}}^{(1)} A_{b_{2к}}^{(2)} A_{b_{iк}}^{(i)} \dots A_{b_{mк}}^{(m)}, \quad (6)$$

где $A^{(i)}$ – символ химического элемента с количеством атомов $b_{iк}$ в условной формуле компонента, m – число различных химических элементов в компоненте.

Вычисление количества атомов $b_{iк}$, зависит от способа задания исходного химического состава компонента. Так, если компонент является индивидуальным веществом с известной химической формулой, например, метан, пропан, кислород и т.д., то значения $b_{iк}$ вычисляют по формуле:

$$b_{iк} = b_i(\mu_к/\mu), \quad (7)$$

где b_i – число атомов элемента i в известной химической формуле компонента с молекулярной массой m. В частности, отношение $\mu_к/\mu$ может быть равно единице, т.е. для расчетов задается истинная химическая формула компонента.

Состав ТБО, нефтяных углеводородных горючих (бензина, керосина, дизельного топлива, мазута) можно характеризовать содержанием химических элементов в массовых долях g_i. В этом случае при выбранной молекулярной массе $\mu_к$ числа $b_{iк}$ рассчитывают по формуле:

$$b_{iк} = \mu_к\left(\frac{g_i}{\mu_i}\right), \quad (8)$$

где m_i – атомная масса химического элемента $A^{(i)}$. Если выбрать $m_к$ =1 кг/кмоль, то в соответствии с формулой (8) условная формула 1 кг углеводородного горючего примет вид:

$$C_{\frac{g_C}{\mu_C}} H_{\frac{g_H}{\mu_H}} O_{\frac{g_O}{\mu_O}} S_{\frac{g_S}{g_S}} N_{\frac{g_N}{\mu_N}}. \quad (9)$$

Компонент топлива может быть раствором или механической смесью нескольких веществ с известными истинными или рассчитанными условными химическими формулами; содержание веществ может быть задано их массовыми долями в компоненте g_n, n=1, 2, 3, …, r. При выбранном значении $\mu_к$ формула для вычисления $b_{iк}$ записывается так:

$$b_{iк} = \mu_к \sum_{n=1}^{r}(b_{in} g_n/\mu_n), \quad (10)$$

где b_{in} – количество атомов элемента $A^{(i)}$ в формуле вещества n с молекулярной массой m_n.

Состав газообразных горючих, а также воздуха часто характеризуют объемным содержанием (объемными долями или в процентах) отдельных веществ с известными химическими формулами. Известно, что для смесей идеальных газов объемные доли совпадают с мольными долями x_n (n=1, 2, 3,…, r). Учитывая простую связь мольных x_n и массовых g_n долей, формулу (10) для произвольно выбранного значения $m_к$ можно записать в виде:

$$b_{iк} = (\mu_к/\mu_{см}) \sum_{n=1}^{r} b_{in} x_n, \quad (11)$$

где $m_{см}$ – молекулярная масса газообразного топлива (смеси газов) или воздуха.

Например, сухой воздух содержит (в процентах объема) 78,09 % N_2, 20,95 % O_2, 0,93 % Ar, 0,03 % CO_2. Выбирая $m_к$=$m_{см}$=$m_в$ и пренебрегая содержанием в воздухе Ar и CO_2, условную формулу воздуха можно записать в виде:

$$O_{b_O} N_{b_N},\ b_O = 2x_{O_2},\ b_N = 2x_{N_2}.$$

Условная формула топлива

Условную формулу топлива, состоящего из окислителя и горючего, можно составить, если известно либо соотношение компонентов k, вычисляемое по известным расходам окислителя $\dot{m}_{ок}$ и горючего $\dot{m}_г$:

$$k = \dot{m}_{ок}/\dot{m}_г, \quad (12)$$

либо коэффициент избытка окислителя:

$$\alpha_{ок} = k_m/k_m^{\circ}, \quad (13)$$

где k_m° – массовое стехиометрическое соотношение [кг ок/кг гор], соответствующее полному замещению электроположительных валентностей горючих (окисляющихся) химических элементов валентностями окислительных элементов. Согласно такому определению:

$$k_m^{\circ} = æ^{\circ}\mu_{ок}/\mu_г, \quad (14)$$

где $m_{ок}$ и $m_г$ – вычисляемые по $b_{iк}$ в условных формулах молекулярные массы окислителя и горючего; $æ^{\circ}$ – мольное стехиометрическое соотношение [моль ок/моль гор], определяемое по соотношению:

$$æ^{\circ} = -\sum_{i=1}^{m} b_{iг} n_i \,/\, \sum_{i=1}^{m} b_{iок} n_i, \tag{15}$$

где n_i – валентности химических элементов.

Величину $æ^{\circ}$ обычно определяют по высшим валентностям химических элементов, соответствующим образованию продуктов только полного сгорания, например, CO_2, H_2O. Поэтому при горении углеводородных горючих в воздухе или кислороде валентности элементов *C, H, O, N, S, Cl* соответственно составляют 4, 1, -2, 0, 4, -1. Принимаемые в расчетах значения $æ^{\circ}$ валентности химических элементов даны в [5-8, 9-11].

По известным значениям $\alpha_{ок}$ и $æ^{\circ}$ можно составить химическую формулу условной молекулы двухкомпонентного топлива с количеством атомов каждого химического элемента b_{im} и молекулярной массой μ_m:

$$\left.\begin{aligned} b_{im} &= b_{iг} + \alpha_{ок} æ^{\circ} b_{iок} \\ \mu_m &= \mu_г + \alpha_{ок} æ^{\circ} \mu_{ок} \end{aligned}\right\}. \tag{16}$$

Другим путем определения химической формулы двух- или многокомпонентного топлива является представление топлива в виде раствора или механической смеси окислителя и горючего. Массовые доли окислителя $g_{ок}$ и горючего $g_г$ определяются по соотношениям:

$$\left.\begin{aligned} g_{ок} &= \frac{k_m}{1+k_m} = \frac{\alpha_{ок} k_m^{\circ}}{1+\alpha_{ок} k_m^{\circ}} \\ g_г &= \frac{1}{1+k_m} = \frac{1}{1+\alpha_{ок} k_m^{\circ}} \end{aligned}\right\}. \tag{17}$$

Для определения количества атомов химических элементов в условной формуле топлива в этом случае используется зависимость (10).

Полученные значения чисел атомов в формуле условной молекулы топлива является исходными величинами при решении уравнений сохранения вещества.

Приведем параметры условной формулы ТБО, элементный состав горючей части которого задан значениями (5). Молекулярную массу условной молекулы горючей части ТБО примем равной 1000 кг/кмоль. В соответствии с формулой (8) будем иметь:

$$(C_{43,38}H_{62,66}O_{24,78}N_{0,375}S_{0,0546}Cl_{0,346})^{2}. \tag{18}$$

Предположим, что минеральная часть ТБО (зола) содержит: CaO – 37 %; SiO_2 – 29 %; Al_2O_3 – 20 %; K_2O – 14 %. Точный состав золы определяют химическим анализом. В соответствии с формулой (10) получим химическую формулу условной молекулы золы:

$$(O_{23,622}Ca_{6,598}Si_{4,826}Al_{3,923}K_{2,9725})^{3}. \tag{19}$$

Химическую формулу воды H_2O также запишем для μ_{H_2O} =1000 кг/кмоль. В соответствии с формулой (7) имеем:

$$H_{111,02}O_{55,51}. \tag{20}$$

Ранее было принято, что горючей смеси в ТБО содержится 57 %, минеральной – 24,3 % и воды 18,7 %. С учетом этого по соотношению (10) получим химическую формулу условной молекулы ТБО:

$$C_{24,73}H_{56,47}O_{80,425}N_{0,2137}S_{0,0311}Cl_{0,1972}Ca_{1,6033}Si_{1,1727}Al_{0,9533}K_{0,7223}. \tag{21}$$

Условная формула воздуха в расчете на 1000 кг/кмоль составляет:

$$N_{53,91}O_{14,48}Ar_{0,3204}C_{0,01045}, \tag{22}$$

С учетом химических формул условных молекул воздуха и ТБО массовый стехиометрический коэффициент равен:

$$k_m^{\circ} = æ^{\circ}\mu_в / \mu_{ТБО} = 3{,}6636 \text{ кг воздуха/кг ТБО.}$$

Предполагая механизм горения ТБО в воздухе диффузионным, для которого характерно $\alpha_в \approx 1$, химическая формула условной молекулы топлива (воздух+ТБО) в соответствии с (16) примет вид:

$$\begin{gathered} C_{24,768}H_{56,47}O_{83,475}Ar_{1,1738}S_{0,0311}Cl_{0,1972}Ca_{1,6033}Si_{1,1727}Al_{0,9533}K_{0,7223}, \\ m_т = 4663{,}67 \text{ кг/кмоль.} \end{gathered} \tag{23}$$

После приведения к молекулярной массе $m_т$=1000 кг/кмоль, условная молекула топлива примет вид:

$$C_{5,3108}H_{12,108}N_{42,396}O_{17,899}Ar_{0,2517}S_{0,0066}Cl_{0,0423}Ca_{0,3438}Si_{0,2515}Al_{0,2044}K_{0,1548}. \tag{24}$$

Пренебрегая давлением насыщенных паров конденсированных веществ, входящих в состав золы, что допустимо для температур менее 2000 К, можно сразу найти массовые доли оксидов металлов. Поскольку для окисления одного атома *Ca*, *Si*, *Al*, *K* требуется соответственно 1, 2, 1,5, 0,5 атома кислорода, то на окисление кальция, содержащегося в топливе, уйдет 0,3438 атома кислорода, на окисление кремния – 0,503, алюминия – 0,3066, калия – 0,0774 атомов кислорода. На сумму этих чисел уменьшится число атомов кислорода в условной молекуле топлива без металлов. Молекулярная масса $Ca_{0,3438}O_{0,3438}$ равна 19,28 кг/кмоль. Поскольку условная формула топлива (24) рассчитана на $m_т$=1000 кг/кмоль, то массовая доля оксида кальция *CaO* составит z_{CaO} =0,01928.

Аналогично получим z_{SiO_2} =0,0151, $z_{Al_2O_3}$ =0,01042, z_{K_2O} =0,00729. Суммарная массовая доля конденсата равна z_Σ =0,0521. Теперь расчет равновесного состава газовой фазы топлива можно провести для условной молекулы топлива с меньшим числом химических элементов:

$$C_{5,3108}H_{12,108}N_{42,396}O_{16,6681}Ar_{0,2517}S_{0,0066}Cl_{0,0423}. \quad (25)$$

При расчете температуры горения топлива влияние конденсата учитывается энтальпией продуктов сгорания, включающей как газовую, так и конденсированную фазы:

$$i_{nc} = (\sum_q n_q I_q + \sum_q n_{qs} I_{qs})/(N\mu_{nc}), \quad (26)$$

где индекс «s» обозначает конденсированное вещество; n_q – число молей вещества «q»; $N = \sum_q n_q$ – суммарное число молей газообразных веществ; $m_{пс}$ – средняя молекулярная масса смеси.

В итоге, мы получили формулу, из которой можем найти состав продуктов сгорания при любых значениях давления, температуры и энтальпии. Мы сможем спрогнозировать до процесса утилизации ТБО возможный выброс канцерогенов, и, следовательно, сможем предотвратить этот процесс.

Список библиографических ссылок

1. Коробко В. И., Бычкова В. А. Твердые бытовые отходы. М. : Юнити-Дана, 2014. 132 с.
2. Подавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. М. : Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.
3. Другов Ю. С., Муравьев А. Г., Родин А. А. Экспресс-анализ экологических проб. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. 424 с.
4. Почекаева Е.И. Экология и безопасность жизнедеятельности. М. : Феникс, 2010. 560 с.
5. Федоров Л.А. Химическое разоружение по-русски. М. : НЛО, 2011. 984 с.
6. Акинин Н.И. Техносферная безопасность. М. : ИД, 2016. 248 с.
7. Астахов А.С., Диколенко Е.Я., Харченко В.А. Экологическая безопасность и эффективность природопользования. М. : Феникс, 2010. 323 с.
8. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
9. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.

Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: obbars@mail.ru
Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: a0an@mail.ru
Musin B.Kh. – student
E-mail: bulatmusa@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The method of utilization of Municipal Solid Waste

Abstract

Problem statement. Any waste can be classified by origin to the household, industrial, medical, agricultural, etc., and by properties – to the «dangerous», toxic, corrosive, flammable, etc., and «non-hazardous». Municipal solid waste (MSW) or Western terminology «municipal solid waste» (Municipal Solid Waste) commonly referred to as waste, dumping or disposing of which involved city authorities, although in recent years has increased markedly in the West, the role of private enterprises in the collection and recycling of solid waste. In this regard, was decided to find a universal method of calculating the conditional fuel molecules.

Results. The authors found a universal method of calculation of conditional fuel molecules. Since the composition and volume of waste is extremely diverse, and the average characteristics and properties of the waste can vary widely not only across countries, but also for different regions of a country and even in different areas of the same city, then to find the conditional fuel molecule of formula It was used by the average composition of solid household and industrial waste.

Conclusions. The author's method of calculating the conditional fuel molecules has been developed. This formula is needed to determine the combustion of fuel composition of the combustion products, to identify the presence of dioxins and take measures for the disposal of the products of combustion. This formula can be used for any fuel.

Keywords: dioxins, kinetics, equilibrium, disequilibrium, forecasting, municipal solid waste.

References

1. Korobko V. I., Bychkova V. A. Municipal solid waste. M. : Unity-Dana, 2014. 132 p.
2. Podavalov Ju. A. Oil and Gas Production Ecology. M. : Infra-Engineering, 2010. 416 p.
3. Drugov Ju. S., Muravev A. G., Rodin A. A. Rapid analysis of environmental samples. M. : Binom. Laboratory znanij, 2010. 424 p.
4. Pochekaeva E. I. Ecology and life safety. M. : Phoenix, 2010. 560 p.
5. Fedorov L. A. Chemical disarmament in Russian. M. : NLO, 2011. 984 p.
6. Akinin N. I. Technosphere safety. M. : ID, 2016. 248 p.
7. Astahov A. S., Dikolenko E. Ja., Harchenko V. A. Environmental safety and efficacy of nature. M. : Phenix, 2010. 323 p.
8. Porter M. What is strategy? Harvard : Business Review, 2009. 108 p.
9. Mill R. S., Morrison A. M. Nature and Ecology. Boston : Prentice-Hall, 2009. 230 p.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Second Edition, 2009. 336 p.

УДК 004.043
Булатов Б.Г. – ассистент
E-mail: bfd82@mail.ru
Башкирский государственный аграрный университет
Адрес организации: 450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34
Недосеко И.В. – доктор технических наук, профессор
E-mail: nedoseko_1964@mail.ru
Уфимский Государственный нефтяной технический университет
Адрес организации: 450062, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Перспективы использования результатов функционирования системы автоматизации производства стеновых изделий из фосфогипса

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось исследование процесса функционирования системы автоматизированного управления процессом производства стеновых и перегородочных изделий на основе фосфогипса – крупнотоннажного отхода производства минеральных удобрений.

Результаты. С применением стандартных методов исследований строительных материалов изучено влияние технологических характеристик исходного фосфогипсового сырья на механические и эксплуатационные показатели стеновых изделий, полученных на их основе. Анализ и обработка экспериментальных данных позволили построить различные статистические модели, необходимые для эффективного управления технологическим процессом и качеством получаемой готовой продукции.

Вывод. Исследованы функциональные зависимости верхнего иерархического уровня системы автоматизированного управления технологическим процессом производства. Полученные результаты позволяют накапливать фактические данные обработки, которые позволят получить новые знания о технологическом процессе производства стеновых изделий из фосфогипса.

Ключевые слова: фосфогипс, система автоматизированного управления, технология прессования, обработка данных, технологическая операция, этапы управления.

Одной из главных задач, стоящей как перед строительным комплексом Российской Федерации в целом, так и перед строительной индустрией в частности, является резкое увеличение объемов и ускорение темпов строительства недорогого, доступного и комфортного жилья. Естественно, решение данной задачи практически невозможно без опережающего роста объемов производства строительных материалов и изделий разнообразного назначения (стеновых, отделочных, гидроизоляционных и др.). Поэтому практически во всех регионах Российской Федерации крупнейшими инвестиционными проектами являются планы по многократному увеличению объемов производства основных строительных материалов, при этом особое внимание уделяется увеличению производства материалов для малоэтажного, в том числе и индивидуального строительства.

Несмотря на то, что в малоэтажном строительстве могут применяться самые разнообразные строительные материалы и изделия с самым широким спектром механических, технологических и эксплуатационных показателей, определяющий выбор зачастую отдается теплофизическим свойствам и экологичности, которые в максимальной степени определяют комфортность жилья.

Важным стратегическим резервом сырьевой базы гипсовой промышленности является накопление многотоннажных гипсосодержащих отходов (фосфогипс, фторогипс, борогипс, цитрогипс и др.) различных отраслей промышленности, самым массовым из которых является фосфогипс.

Фосфогипс – крупнотоннажный отход производства минеральных удобрений. В настоящее время в отвалах предприятий России накоплено около 200 млн. тонн фосфогипса и ежегодно эти цифры увеличиваются на 10-15 млн. тонн отходов. Отвалы фосфогипса образуют огромные белые горы, занимающие значительные земельные

площади, они пылят на ветру, попадают в почву, загрязняют водоносные слои вредными растворимыми соединениями фтора, фосфора и другими примесям. Предложено огромное количество способов использования фосфогипса, но, несмотря на это, объемы его утилизации, в сравнении с выходом, остаются незначительными (по данным 90-х гг. процент утилизируемого фосфогипса в нашей стране составлял около 17 %). Основная сложность, связанная с фосфогипсом, состоит в следующем. Несмотря на то, что он по своему химическому и минералогическому составу соответствует природному гипсовому сырью первого сорта (содержит в своем составе более 95 % дигидрата сульфата кальция – $CaSO_4{}^*2H_2O$), присутствующие в нем примеси (остатки фосфорной и фтористоводородной кислот и их растворимые соли), а также повышенная влажность, от 30 % и более, делает процесс его переработки в готовые изделия, или полуфабрикаты практически нерентабельным [1]. В частности даже такая, казалось бы, несложная технологическая операция, как доставка фосфогипса к месту его переработки автомобильным или железнодорожным транспортом практически невозможна в зимнее время из-за смерзания фосфогипса и большого коррозионного поражения вагонов и кузовов самосвалов. Отмывка же фосфогипса от примесей, к сожалению, не только не решает, а даже усугубляет экологическую проблему, так как на каждую тонну промываемого фосфогипса необходимо порядка 3-4 $м^3$ чистой воды, и сточные воды необходимо очищать дорогостоящими методами [2-3]. Поэтому многими исследователями признается, что одним из наиболее эффективных методов утилизации отходов фосфогипса является производство строительных изделий и конструкций методом прессования, без использования дорогостоящих технологических операций по его отмывке от примесей. При этом с целью значительного снижения единовременных и текущих затрат для производства стеновых и перегородочных изделий большой практический интерес представляет применение метода полусухого прессования, как обладающего наибольшей производительностью. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено [3-4], что прессование достаточно жестких смесей (влажность прессованной композиции составляет 15-20 %), содержащих до 80 % отвального фосфогипса и 20-30 % шлакового вяжущего под кратковременным действием прессующего давления от 5 до 20 МПа позволяет получить практически всю номенклатуру стеновых и перегородочных изделий с достаточно высокой марочной прочностью (М50 и более). Сама организация производства не требует значительных капитальных затрат, при этом возможно использование серийного оборудования, выпускаемого отечественными заводами для производства грунтоблоков (рис. 1), а также использование действующих технологических линий по прессованию силикатного кирпича, многие из которых в настоящее время простаивают.

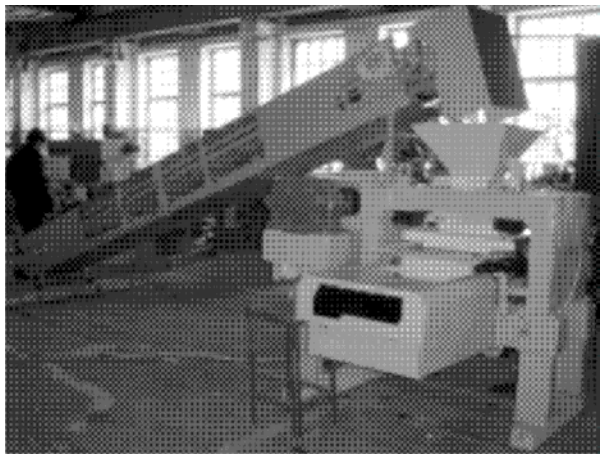


Рис. 1. Мобильная установка РК-250
для полусухого прессования стеновых и перегородочных изделий из различного сырья
(гипсовые и грунтоцементные композиции).
Кувандыкский механический завод, Оренбургская область

Для реализации данного направления промышленного использования фосфогипсовых отходов в настоящее время завершаются исследования по отработке составов композиционного гидравлического гипсового вяжущего и технологии получения строительных изделий на его основе. Участок производства искусственного гипсового камня, реализующий данную технологию, пущен в эксплуатацию на отвале фосфогипса одного из химических заводов. Принципиальная схема участка приведена на рис. 2. Приведенный технологический процесс производства включают в себя следующие основные технологические операции: частичная сушка и дозирование исходных компонентов (отвальный фосфогипс с естественной влажностью, подсушенный фосфогипс, модифицирующие добавки, шлаковое вяжущее); приготовление формовочной композиции в смесителе принудительного действия; кратковременное прессование изделий в пресс-формах с одновременной выпрессовкой; выдержка до достижения требуемой прочности; транспортировка изделий на склад готовой продукции и отправка их потребителю.

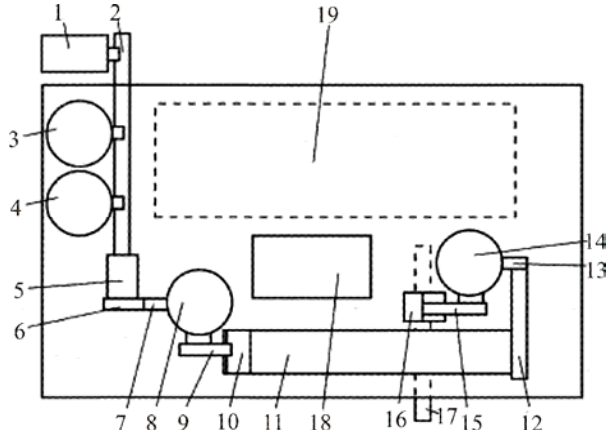


Рис. 2. Принципиальная схема участка производства искусственного гипсового камня:
1 – приемный бункер; 2 – ленточный конвейер; 3, 4 – силоса для технологических добавок;
5 – шнековый смеситель; 6 – ленточный питатель; 7 – элеватор; 8 – бункер томления;
9 – ленточный питатель; 10 – приемный бункер-дозатор ИК-сушила; 11 – ИК-сушило;
12 – ленточный питатель; 13 – элеватор; 14 – бункер охладитель; 15 – ленточный питатель;
16 – брикетировочный пресс; 17 – наклонный ленточный конвейер; 18 – диспетчерский пункт;
19 – резервная площадь для второй очереди

В дальнейших исследованиях мы будем ориентироваться на эту технологию.

Для оперативного управления качеством готовой продукции – стеновых изделий из фосфогипса – необходимо знание о процессе формировании качества готовой продукции. Влияние показателей качества компонентов смеси $\boldsymbol{X(t)}$ и параметров технологического процесса $\boldsymbol{TP(t)}$ на свойства готового изделия $\boldsymbol{Y(t)}$ с учетом совокупного возмущения, приведенного к выходу технологического процесса $\boldsymbol{F(t)}$ может быть представлено в следующем виде:

$$\boldsymbol{Y(t)=\Psi[X(t-\tau_1);\ TP(t-\tau_2)]+F(t)}, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\tau_1}$ – транспортное запаздывание соответствует времени цикла производства изделий из фосфогипса;

$\boldsymbol{\tau_2}$ – транспортное запаздывание между моментом времени действия $\boldsymbol{i}$-ого технологического фактора и временем окончания производственного цикла[1].

К сожалению, на практике [5-7, 9] зависимость вида (1) отсутствует и вместо такой зависимости имеется ограниченный набор связей следующего вида:

$$\begin{cases} y_m = \psi[x_i;\ \ldots; x_j] \\ y_k = \psi[tp_f;\ \ldots; tp_g] \\ \ldots \\ y_b = \psi[x_i;\ \ldots; x_j;\ tp_f;\ \ldots; tp_g] \end{cases}, \qquad (2)$$

[1]Для различных технологических операций транспортное запаздывание меняется

где $m = \overline{1,N}; k = \overline{1,N}; b = \overline{1,N}; i = \overline{1,K}; j = \overline{1,K}; f = \overline{1,M}; g = \overline{1,M}$.

Зависимости вида (2) получают из-за ограниченного участия действующих факторов при изучении связей. Кроме того, как правило, не учитывается динамика процесса.

Рассмотрим структуру САУ для технологии прессования полусухой смеси на основе отвального фосфогипса с сушкой всей массы фосфогипса до оптимальной влажности (рис. 3). В данной работе мы рассматриваем САУ верхнего иерархического уровня [9].

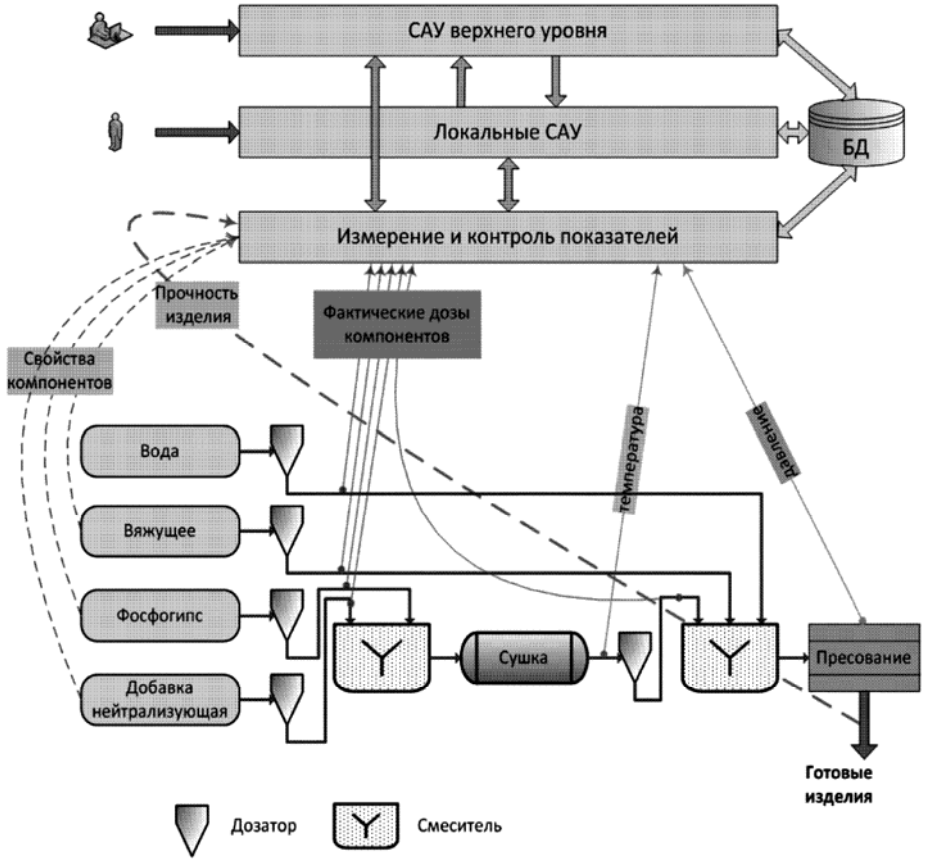


Рис. 3. Общая структура САУ для технологии прессования полусухой смеси на основе отвального фосфогипса с сушкой всей массы фосфогипса до оптимальной влажности

САУ верхнего уровня (рис. 4) как правило, не имеет связи непосредственно с технологическим процессом, а контролирует состояние процесса и управляет им через подсистему нижнего уровня [5].

Рис. 4. Основные задачи САУ верхнего иерархического уровня

Построение статистических моделей необходимо для эффективного управления процессом. Имеющиеся аналитические зависимости между отдельными показателями и качеством готовой продукции либо отсутствуют, либо имеют невысокую точность. Поэтому по мере накопления фактических данных в СУБД реализуются различные

статистические модели процесса. При этом следует постоянно оценивать точность моделей и использовать их только при удовлетворительной точности.

Как показывают исследования различных технологических процессов в строительной индустрии [5] в САУ верхнего уровня управления широко используется динамика различных показателей. Это подразумевает решение двух взаимосвязанных задач:

- Идентификация – оперативная оценка параметров модели временного ряда.
- Прогнозирование. При достаточной точности идентификации можно использовать найденные динамические характеристики для решения задач прогнозирования.

В процессе работы САУ в ее базе данных накапливаются результаты контроля:

- компонентов смеси ***X(t)***;
- режимов технологического процесса ***TP(t)***;
- рецептуры смеси ***R(t)***;
- показателей качества готовой продукции ***Y(t)***.

Необходимо особо подчеркнуть, что все эти данные упорядочены по времени, что создает хорошие условия для их анализа.

В работе [6] отмечается, что использование этих данных неэффективно из-за крайне медленного поступления и накопления новых данных. Действительно, пусть параметр **X** контролируется один раз в смену. Тогда для того, чтобы получить для анализа динамических характеристик ряд всего из 100 значений ***{X[t]; X[t–1]; …; X[t–99]}*** потребуется около 1 месяца. Но это справедливо только для решения задач оперативного управления технологическим процессом.

Статистический анализ накопленных в СУБД данных позволит получить зависимости вида:

$$Y(t)=Ф[X(t); TP(t); R(t)], \quad (3)$$

позволит выявить устойчивые связи между параметрами и идентифицировать возмущение действующее на технологический процесс.

Таким образом, разработанная САУ [5-10] не только обеспечивает эффективное оперативное управление технологическим процессом производства стеновых изделий из фосфогипса, но и накапливает фактические данные, обработка которых позволит получить новое знание о технологическом процессе.

В результате анализа имеющихся данных могут быть внесены новые предложения:

- по изменению технологии производства гипсобетонных изделий;
- изменения ограничений, накладываемых нормативными документами.

Новые технические средства, обеспечивающие, в первую очередь, эффективный контроль свойств компонентов смеси, режимов технологического процесса и качества готовой продукции. При этом требования к частоте и точности контроля параметров могут быть обоснованы накопленными данными. По мере внедрения новых технических средств контроля повышается эффективность управления.

Для обеспечения работоспособности новых технологий и технических средств необходима коррекция программного обеспечения САУ верхнего иерархического уровня. Новые знания о процессе в виде корреляционных зависимостей так же требуют обновления программного обеспечения. Кроме того, по мере накопления и анализа опыта работы САУ возможно усовершенствование алгоритмов и программного обеспечения.

Список библиографических ссылок

1. Бабков В. В., Недосеко И. В., Мирсаев Р. Н. Опыт производства и применения гипсовых вяжущих в Республики Башкортостан : сб. трудов второй всероссийской конференции «Гипс и его применение». Уфа. 2004, С. 196-200.
2. Гаитова А. Р., Ахмадулина И. И., Печенкина Т. В., Пудовкин А. Н., Недосеко И. В. Наноструктурные аспекты гидратации и твердения гипсовых и гипсошлаковых копмозицый на основе двуводного гипса // Строительные материалы. № 1-2. 2014, С. 46–51.

3. Eipeltauer E., Bamik G., Adsorbiertes Waser und auberggewohnliche Hydrate in Gipsplastern und dadurch belingte fehler in Phasenanalysen // Tonindustrie Zeitung. 1975. № 10. B. 99.
4. Мирсаев Р. Н., Бабков В. В., Недосеко И. В., Юнусова С. С., Ахмадулина И. И., Шаяхметов У. Ш. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция // Строительные материалы. № 6. 2009. С. 6–9.
5. Булатов Б. Г., Недосеко И. В. Разработка структуры системы управления производством стеновых изделий на основе гипсосодержащих отходов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. № 2 (30) 2014. С. 109–112.
6. Булатов Б. Г., Недосеко И. В. Система управления процессом переработки многотонажного гипсосодержащего отхода производства минеральных удобрений – фосфогипса в готовые изделия // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. № 2 (34) 2015. С. 69–71.
7. Ostroukh A. V., Surkova N. E., Nuruev Y. E. O., Nedoseko I. V., Fattakhov M. M., Salov A. S. Automated information-analitical system for dispatching control of transportation concrete products // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. P. 40063–40067.
8. Программа расчета составов гипсовых и гипсошлаковых сырьевых смесей для производства мелкоштучных стеновых изделий на основе отвального фосфогипса : свид. Роспатента РФ № 2015614693 на регистрацию программы для ЭВМ № 2015611008. заявл. 24. 02. 2015 г. Зарегестрированно в гос. реестре программ для ЭВМ 23.04.2015 г.
9. Остроух А. В., Недосеко И. В., Булатов Б. Г. Автоматизированная система управления сушильным комплексом завода по изготовлению минерального порошка // Промышленные АСУ и контроллеры. № 11. 2015. С. 3–11.
10. Ostroukh A. V., Nedoseko I. V., Surkova N. E., Bulatov B. G. Automated control system for the milling unit of mineral powders plant // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 4. P. 2625–2628.

Bulatov B.G. – assistant
E-mail: bfd82@mail.ru
Bashkir State Agrarian University
The organization address: 450001, Russia, Ufa, 50-letiya Oktyabrya st., 34
Nadeseko I.V. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: nedoseko1964@mail.ru
Ufa State Oil Technical University
The organization address: 450062, Russia, Ufa, Mendeleyev st., 195

Prospects for the use of the results of functioning automation system production of wall products from phosphogypsum

Resume

Problem statement. The aim the work was to study the process of functioning of automated control system of production process of wall and partition products on the basis of phosphogypsum – large-scale waste production of mineral fertilizers.

Results. With the use of the standard methods of researches of building materials the influence of technological characteristics of original phosphogypsum raw materials on mechanical and operational indicators of wall products, produced on their basis was studied. Analysis and processing of experimental data allowed us to construct different statistical models needed for effective industrial process control and the finished product quality control.

Conclusion. We investigated the functional dependence of the upper hierarchical level of the automated control system of technological production process. The results allow to accumulate the actual processing data that will provide new insights about the process of production of the phosphogypsum wall products.

Keywords: phosphogypsum; automatic control system; extrusion technology, data processing; manufacturing operation; management stages.

References

1. Babkov V. V., Nedoseko I. V., Mirsaev R. N., Experience in the production and use of gypsum binders in the Republic Bashkortostan // Proceedings of the II all-Russian seminar with international participation. Improving the efficiency production and use gypsum materials and products. 2004, P. 196–200.
2. Gaitova A. R., Akhmadulina I. I., Pechenkina T. V., Pudovkin A. N., Nedoseko I. V. Nanostructural aspects of hydration and hardening gypsum and slag commodity based on dihydrate gypsum // Stroitel'nyye materialy. № 1-2. 2014. P. 46–51.
3. Eipeltauer E., Bamik G., Adsorbiertes Waser und auberggewohnliche Hydrate in Gipsplastern und dadurch belingte fehler in Phasenanalysen // Tonindustrie Zeitung. 1975. № 10. B. 99.
4. Mirsaev R. N., Babkov V. V., Nedoseko I. V., Yunusova S. S., Akhmadulina I. I., Shayakhmetov U. S. Structure formation and hardening of extruded compositions based on calcium sulphate dihydrate // Stroitel'nyye materialy. № 6. 2009. P. 6–9.
5. Bulatov B. G., Nedoseko I. V. Development management system structure the production wall products based on gypsum-containing wastes // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. № 2 (30) 2014. P. 109–112.
6. Bulatov B. G., Nedoseko I. V. Control system of recycling process of multitonnage gypsum-containing waste production of mineral fertilizers – phosphogypsum into finished products // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. № 2 (34) 2015. P. 69–71.
7. Ostroukh A. V., Surkova N. E., Nuruev Y. E. O., Nedoseko I. V., Fattakhov M. M., Salov A. S. Automated information-analitical system for dispatching control of transportation concrete products // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 19. P. 40063-40067.
8. Program for calculating the composition of gypsum and gypsum slag raw mixtures for the production of small-piece wall products based on phosphogypsum dump : Certificate of Rospatent of the Russian Federation № 2015614693 for registration of computer program Application № 2015611008 from 24.02.2015 Registered in the state register of computer programs 23.04.2015.
9. Ostroukh A. V., Nedoseko I. V., Bulatov B. G. Automated control system of drying complex of plant for the production of mineral powder // Promyshlennyye asu i kontrollery. № 11. 2015. P. 3–11.
10. Ostroukh A. V., Nedoseko I. V., Surkova N. E., Bulatov B. G. Automated control system for the milling unit of mineral powders plant // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 4. P. 2625–2628.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297х210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в основных графических форматах (tif, jpg, bmp, gif) с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Выравнивание – по центру. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 80х80 мм, максимальный – 170х240 мм.

Для набора формул, которые не возможно набрать в Word, и вставки символов использовать встроенный в Microsoft Word редактор формул Microsoft Equation или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы (формулы и их порядковые номера - в таблицах с невидимыми границами). Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте. При этом, ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Уникальность текста статьи должна составлять не менее 75 %.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 691.33
Иванов И.И. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: ivanov@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
разделительный интервал
Современные строительные материалы
разделительный интервал
Аннотация
Текст аннотации (15-20 строк)
Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.
разделительный интервал
Текст статьи
разделительный интервал
Список библиографических ссылок
разделительный интервал
Ivanov I.I. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ivanov@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
разделительный интервал

Modern building material

разделительный интервал

Abstract

Текст abstract (15-20 строк)

Keywords: thermal insulating materials, of carbamide foams, updating.

разделительный интервал

References[*]

[*]Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия издательств, журналов и фамилии не переводить – писать в латинской транскрипции).

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры:

1. Благовещенский Ф. А., Букина Е. Ф. Архитектурные конструкции. М. : Архитектура-С, 2011. 232 с.
2. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов. Казань, 2015. С. 156–161.
3. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Морозов В. П. Дегидратация глин различного минерального состава при прокаливании // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 388–394.
4. Тезисы докладов : сб. научных трудов 68-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2016. 357 с.
5. Абдрахманова Л. А., Ашрапов А. Х., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Структурные факторы деформирования и разрушения нанокомпозитов на основе поливинилхлорида : сб. ст. VIII академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–11.
6. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
7. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
8. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
9. Теория машин // PROGNOSIS.RU : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: http://www.prognosis.ru /logos.html (дата обращения: 02.12.2016).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Blagoveshchenskiy F. A., Bukina Ye. F. Architectural construction. M. : Architectura-C, 2011. 232 p.
2. Stroganov V.F., Sagadeyev Ye.V. Introduction to biodamage of building materials. Kazan, 2015. P. 156–161.
3. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Morozov V. P. Dehydration of clay of different mineral composition on ignition // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 388–394.
4. Thesises of reports : proceedings of the 68th All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 357 p.
5. Abdrakhmanova L. A., Ashrapov A. Kh., Nizamov R. K., Khozin V. G. Structural factors of deformation and destruction of nanocomposites based on polyvinylchloride : dig. of art. VIII academic readings of RAACS – International scientific-technical conference / KGASU. Kazan, 2014. P. 8-11.
6. A method of making steel support of multi-faceted cross-section : patent 2556603 of the Rus. Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.2014; publ. 10.07.2015. Bull. in № 19. 5 p.
7. Report of chief of Central administrative of the Press N. Tatischev to the Minister of Internal Affairs, 1913 y. // RGIA, F. 785. Op. 1. D. 188. L. 307.
8. Guschin B. P. Journal key : article // PFA RAS. F. 900. Op. 1. St. un. 23. 5 sh.
9. Theory of machines // PROGNOSIS.RU : daily. internet-edit. 2010. URL: http://www.prognosis. ru/logos.html (reference date: 02.12.2016).

В список библиографических ссылок вносятся только опубликованные работы.

Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким. Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для самостоятельного опубликования.

В разделе **«Введение»** рекомендуется указать нерешенные ранее вопросы, сформулировать и обосновать цель работы и, если необходимо, рассмотреть ее связь с важными научными и практическими направлениями. Могут присутствовать ссылки на публикации последних лет в данной области, включая зарубежных авторов.

Основная часть статьи должна подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками) и содержать анализ последних публикаций, посвященных решению вопросов, относящихся к данным подразделам.

В разделе **«Заключение»** должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Язык публикации: русский или английский.

Подробные требования размещены на сайте журнала!

Если статья была или будет направлена в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции. Ранее опубликованные статьи к рассмотрению не принимаются.

От авторов в редакцию журнала предоставляются следующие материалы:

- **Два экземпляра статьи в четко распечатанном виде;**
- **Электронный вариант** (Электронная версия статьи должна соответствовать варианту на бумажном носителе);
- **Две рецензии** (соответствующего уровня) от двух независимых организаций;
- **Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись**;
- **Сопроводительное письмо в предлагаемой форме** (см. сайт).

Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

После уведомления редакцией принятия рукописи и согласования сроков её публикации с ответственным исполнителем журнала авторы представляют копию платежной квитанции или справку, подтверждающую обучение автора(ов) в аспирантуре на момент подачи статьи.

Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

Авторы, являющиеся членами редколлегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.

СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте «Известия КГАСУ» – электронном научном издании (ЭНИ) http://izvestija.kgasu.ru/ (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008).

Все материалы направлять по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, ОПИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39, 236-26-88 (тел./факс). E-mail: patent@kgasu.ru.

Банковские реквизиты:
КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1
ИНН 1655018025 КПП 165501001
Сч. 40501810292052000002
в ГРКЦ НБ РТ Банка России г. Казань
БИК 049205001
Л/с 20116Х06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 00000000000000000130 реализация изд. деят-ти.

АНКЕТА АВТОРА(ОВ)

(заполняется в электронном виде отдельным файлом, названным «Анкета», с расширением RTF)

Фамилия, имя, отчество (полностью), **учёная степень,** **звание,** **должность.** **Полное наименование организации, город** (указывается, если не следует из названия организации) (для каждого автора) **Адрес организации**	
Название статьи	
Аннотация (от 50 до 100 слов)	
Ключевые слова (от 5 до 10 слов или словосочетаний)	
Научная тематика статьи	Впишите одну из представленных: • теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия; • архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности; • градостроительство, планировка сельских населенных пунктов; • строительные конструкции, здания и сооружения; • основания и фундаменты, подземные сооружения; • теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; • водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов; • строительные материалы и изделия; • гидротехническое строительство; • технология и организация строительства; • проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; • гидравлика и инженерная гидрология; • строительная механика; • экологическая безопасность строительства и городского хозяйства; • информатика, вычислительная техника и управление (в строительстве).
Паспортные данные (номер, кем выдан, дата выдачи, адрес регистрации), **ИНН**	
Адрес для переписки	
E-mail	
Контактные телефоны	

AUTHOR'S QUESTIONNAIRE

(it is filled in electronic type by separate file named «Questionnaire» with expansion RTF)

Full Last name First name, Middle name **Scientific degree,** **Scientific rank,** **Current position.** **Full name of the organization**, **City** (it is noticed if it is not clear from the name of organization) (for each author) **The organization address**	
Title of the article	
Resume (The volume from 150 to 200 words)	
Keywords (from 5 to 10 words or phrases)	
Scientific topic of the article	Include one of the presented: • architecture theory and history, historical and architectural heritage restoration and reconstruction; • houses architecture. The creative concept of architectural activities; • urban development, rural settlements planning; • building structures, houses; • foundations, underground structures; • heating, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting; • water supply, sewerage, water conservation construction; • building materials and products; • hydrotechnical construction; • construction technology and organization; • roads, subways, airports, bridges and tunnels design and construction; • hydraulics and engineering hydrology; • construction Mechanics; • ecological safety of construction and municipal economy; • computer science, computer facilities and management (in building).
Mailing address	
Telephone numbers for communication	

Известия КГАСУ
2017 г., № 1 (39)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикина А.Р.

Адрес редакции: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39

Журнал зарегистрирован: Регистр. ПИ № ФС77-25136
Электронное периодическое издание: http://izvestija.kgasu.ru Регистр. Эл № ФС 77-31046
Федеральная служба
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия.
Индекс издания – 36939
Общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ»

Подп. к печати 03.03.2017 Формат 60×84/8
Заказ 58 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 39,25 Уч.-изд. л. 39,75
Тираж 500 экз.
I завод-100

Отпечатано в Издательстве КГАСУ, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1