

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., № 3 (41)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ахмадиев Ф.Г., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ;	Латыпов Р.Х., д-р техн. наук, проф.;
Есаулов Г.В., д-р арх., проф., академик РААСН;	Мирсяяпов И.Т., д-р техн. наук, проф.;
Зиятдинов Н.Н., д-р техн. наук, проф.;	Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф., почетный член РААСН;
Ильичев В.А., д-р техн. наук, проф., первый вице-президент РААСН;	Сулейманов А.М., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ;
Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.;	Хозин В.Г., д-р техн. наук, проф.;
Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.;	

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

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, № 3 (41)

BBC 38
I 33
UDC 69

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

EDITORIAL BOARD:

Ahmadiev F.G., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT;	Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Esaulov G.V., Dr. arch. sci., prof., member of the Academy of RAACS;	Latypov R.Kh., Dr. tech. sci., prof.;
Ziiatdinov N.N., Dr. tech. sci., prof.;	Mirsayapov I.T., Dr. tech. sci., prof.;
Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS;	Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;	Suleimanov A.M., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT;
	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);	Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);	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>



ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Агишева И.Н., Покка Е.В. Творчество архитектора Константина Мельникова	7
Ахметсагирова Э.И., Айдарова Г.Н. Принципы архитектурно-пространственной организации городских набережных на примере Казани	15
Ибрагимова А.Ф. Принципы расположения городской скульптуры в открытых общественных пространствах архитектурной среды	23
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Габдрахманова И.И., Ахтямов И.И., Ахтямова Р.Х. Адаптивная архитектура, как реакция города на изменяющиеся запросы общества	32
Мубаракшина Ф.Д. Архитектура изо льда и снега: исчезающая красота	41
Саляхова М.Р. Архитектура изо льда и снега в Японии	49
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Дембич А.А., Закирова Ю.А., Латыпова М.С. Казань – ресурсы и перспективы полицентричного развития	57
Залетова Е.А. Возможности изменения ландшафтно-плотностных параметров застройки, как современная парадигма планирования и реорганизации урбанизированных поселений	67
Смолова М.В. Типологическое многообразие сетей метрополитена как отражение пространственно-планировочной структуры города	75
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Замалиев Ф.С. Напряженное состояние преднапряженных сталежелезобетонных балок от действия эксплуатационных нагрузок	87
Каюмов Р.А., Ибрагимова А.А. Об оценке предельной нагрузки железобетонной стенки, подверженной одностороннему воздействию влаги	98
Каюмов Р.А., Мухамедова И.З., Ханафиев А.Г., Тазюков Б.Ф. Методика расчета тентовых покрытий	109
Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р., Салахутдинов М.А., Фахрутдинов А.Э. Совершенствование узлов стальных ферм с поясами из многогранных труб	116
Куприянов В.Н. К оценке применимости стеклопакетов для обеспечения нормированного естественного освещения в помещениях зданий	124
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Антипов В.В., Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б., Шутова О.А. Численное моделирование динамического воздействия от одиночного транспортного средства на существующее здание	131
Шакиров И.Ф., Шайхутдинов И.И. Исследование несущей способности буронабивной сваи в массиве грунта, укрепленного напорной инъекцией цементного раствора	139
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Багоутдинова А.Г., Вачагина Е.К., Золотоносов Я.Д. Математическое моделирование поверхностей теплообмена пружинно-витых каналов	146
Таймаров М.А., Лавирко Ю.В. Теплогенерирующий агрегат с выработкой пиролизного газа	158
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Захватов Г.И. Роль некоторых дополнительных факторов в процессе электронейтрализации водных эмульсий	167
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на свойства глинистого сырья	174
Зарезнов Д.А., Сагдиев Р.Р., Шелихов Н.С. Низкообжиговые гидравлические вяжущие с добавками минерализаторами	181
Лапин И.В., Кузнецов В.Г., Аминова Г.А. Новые модификации металлов в современном производстве	188
Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Вахитов Б.Р. Применение модельных сред для оценки биостойкости минеральных строительных материалов	196
Шелихов Н.С., Смирнов Д.С., Сагдиев Р.Р., Мавлиев Л.Ф. Обследование материалов исторических конструкций при восстановлении собора казанской иконы божьей матери	203
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Мудров А.Г. Оптимизация пространственных устройств	216

Мухаметрахимов Р.Х., Шафигуллин Р.И., Куприянов В.Н. Разработка радиозащитных шунгитосодержащих гипсоволокнистых облицовочных листов	224
Хузиахметов Р.А., Нуриева Д.М. Оценка состояния откоса котлована при устройстве свайных фундаментов	232
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Логина О.А., Николаева Р.В. Альтернативные решения пересечений в разных уровнях	244
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА	
Семенов Д.А., Вахрушев С.И. Анализ экологической проблемы при строительстве зданий и сооружений в городе Перми	251
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (в строительстве)	
Горская Т.Ю., Галимянов А.Ф. Аппроксимация дробных интегралов частными суммами ряда Фурье	261
Гришина Н.М., Мицко Д.И. Разработка и внедрение BIM-стандарта: исследование методов управления в строительстве	266
Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы обучения BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве	277
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	289



CONTENTS

ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION		
Agisheva I.N., Pokka E.V. Works of the architect Konstantin Melnikov		7
Akhmetsagirowa E.I., Aidarova G.N. Principles of architectural and spatial organization of city embankments on the example of Kazan		15
Ibragimova A.F. The location principles of the urban sculpture in the open public spaces of the architectural environment		23
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES		
Gabdrakhmanova I.I., Akhtiamov I.I., Akhtiamova R.Kh. Adaptive architecture, as a reaction of the city to changing needs of society		32
Mubarakshina F.D. The architecture of ice and snow: the vanishing beauty		41
Salyakhova M.R. The architecture of ice and snow in Japan		49
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING		
Dembich A.A., Zakirova J.A., Latypova M.S. Kazan – resources and prospects of polycentric development		57
Zalyotova E.A. The possibilities of change the green-dense features, as modern paradigm of planning and reorganization of the urban settlements		67
Smolova M.V. Typological variety of subway networks as the reflection of spatial and layout city structure		75
BUILDING STRUCTURES, HOUSES		
Zamaliyev F.S. To the evaluation of the stressed state of prestressed steel-concrete composite beams		87
Kayumov R.A., Ibragimova A.A. On the assessment of the maximum load of a reinforced concrete wall subjected to unilateral action of moisture		98
Kayumov R.A., Muhamedova I.Z., Hanafiev A.G., Tazyukov B.F. Method of calculating the tent coverings		109
Kuznetsov I.L., Gimranov L.R., Salakhutdinov M.A., Fakhrutdinov A.E. Joints perfection of steel trusses with chords of hollow polygonal cross section		116
Kupriyanov V.N. On the issue of assessing the applicability of insulating glass to ensure standardized natural lighting in buildings		124
FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES		
Antipov V.V., Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B., Shutova O.A. Numerical modelling of dynamic impact from a single vehicle on the existing building		131
Shakirov I.F., Shaikhutdinov I.I. Researches of the bored pile bearing capacity in a soil massive, reinforced by cement mortar pressure injection		139
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING		
Bagoutdinova A.G., Vachagina E.K., Zolotonosov Ya.D. Mathematical modeling of heat transfer surfaces of spring-twisted channels		146
Taymarov M.A., Lavirko Yu.V. The heat generating unit with the pyrolysis gas generation		158
WATER SUPPLY, SEWERAGE, WATER CONSERVATION CONSTRUCTION		
Zakhvatov G.I. The role of some addition factors in electro neutralization process of water emulsions		167
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS		
Bogdanov A.N., Abdrakhmanova L.A. Research of influence of surface-active substance on properties of clay raw materials		174
Zareznov D.A., Sagdiev R.R., Shelikhov N.S. Low-bending hydraulic binders with mineralizers		181
Lapin I.V., Kuznetsov V.G., Aminova G.A. New modifications of metals in modern production		188
Stroganov V.F., Sagadeev E.V., Vahitov B.R. Application of model mediums for the biostability assessment of mineral construction materials		196
Shelikhov N.S., Smirnov D.S., Mavliev. L.F., Sagdiev R.R. A survey of historical structures when restoration of the Cathedral of the Kazan icon of the Mother of God		203
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION		
Mudrov A.G. Optimization of spatial devices		216
Mukhametrakhimov R.Kh., Shafigullin R.I., Kupriyanov V.N. Development of radioprotective schungite-containing gypsum-fiber facing sheets		224
Khuziakhmetov R.A., Nurieva D.M. Assessment of a condition of a slope of a ditch at the device of the pile bases		232
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION		
Loginova O.A., Nikolaeva R.V. Alternative solutions of crossings in different levels		244

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND MUNICIPAL ECONOMY		
Semenov D.A., Vahrushev S.I. Analysis of the environmental problem in the construction of buildings and structures in the city of Perm		251
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT (in building)		
Gorskaya T.Yu., Galimyanov A.F. Approximation of fractional integrals by private sums of the Fourier series		261
Grishina N.M., Mitsko D.I. Development and implementation of the BIM-standard: a study of management practices in construction		266
Grishina N.M., Chaly Iu.Iu. Problems and prospects of BIM in high school: development management in construction		277
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»		289



УДК 72.036

Агишева И.Н. – кандидат архитектуры, профессор

Покка Е.В. – кандидат архитектуры, старший преподаватель

E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Творчество архитектора Константина Мельникова

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить стилистические особенности творчества архитектора Константина Мельникова в ситуации воплощения в новом общественном строе архитектурных сооружений новейших видов, таких как дома-коммуны, фабрики-кухни, клубы для рабочих.

Результаты. Основным результатом исследования является изучение и анализ объемно-пространственного строя и функционально-планировочного решения некоторых работ архитектора Константина Мельникова. К таким работам относятся: проект дома-коммуны (1922 г.), павильон для Международной выставки в Париже (1925 г.), проект гаража-стоянки для такси на 1000 машин (1925 г.), клуб им. Русакова (1927-1929 гг.).

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в выявлении творческого подхода архитектора Константина Мельникова – это сугубо индивидуальное воплощение в каждом архитектурном творении авторского видения художественной формы как течение в архитектуре советского авангарда получившее название формализм.

Ключевые слова: формализм, авангард, современная архитектура, объемно-планировочное решение.

Архитектурный авангард – явление 1920-х годов, целью которого явился поиск нового содержания и нового художественного языка. В советском архитектурном авангарде особое место занимает архитектор К. Мельников. Он обладатель удивительного таланта превращать каждое свое архитектурное сооружение в объемно-пространственный символ [1-10].

Великий «формалист» советского авангарда К. Мельников писал о своем творческом методе следующее: «В первичной стадии работы над проектом нет какого-либо общего априорного закона последовательности творческих процессов. Очень многое зависит от интуиции и от того, что принято еще грубо называть «творческой находкой». Конечно, без предварительного общего ознакомления с технико-экономическими показателями задания невозможна никакая работа над идеей сооружения. Но иной раз объемное решение и композиция вырисовываются в воображении архитектора значительно раньше детальной проработки экономических и технических расчетов проекта... архитектурное решение нередко видоизменяет несколько технико-экономические показатели заданий, – и это по-своему закономерно. Здесь, очевидно, имеется какая-то внутренняя органическая связь между обоими элементами, составляющими, по существу, единое целое в творческом процессе архитектуры; всякое их разделение является в высшей степени условным» (Мельников К. С. Оформление проекта // Архитектура СССР. 1933, № 5. С. 35).

Свой талант он продемонстрировал в первой же крупной работе, победив в 1922 году в конкурсе на жилой дом.

Дом «Пила»

Рационально скомпонованный, функционально безупречно решенный им жилой комплекс, своим содержанием, пространственным строем, архитектурными формами символизирует новое жилье. Это дом-коммуна для малочисленных и многочисленных семей (рис. 1).

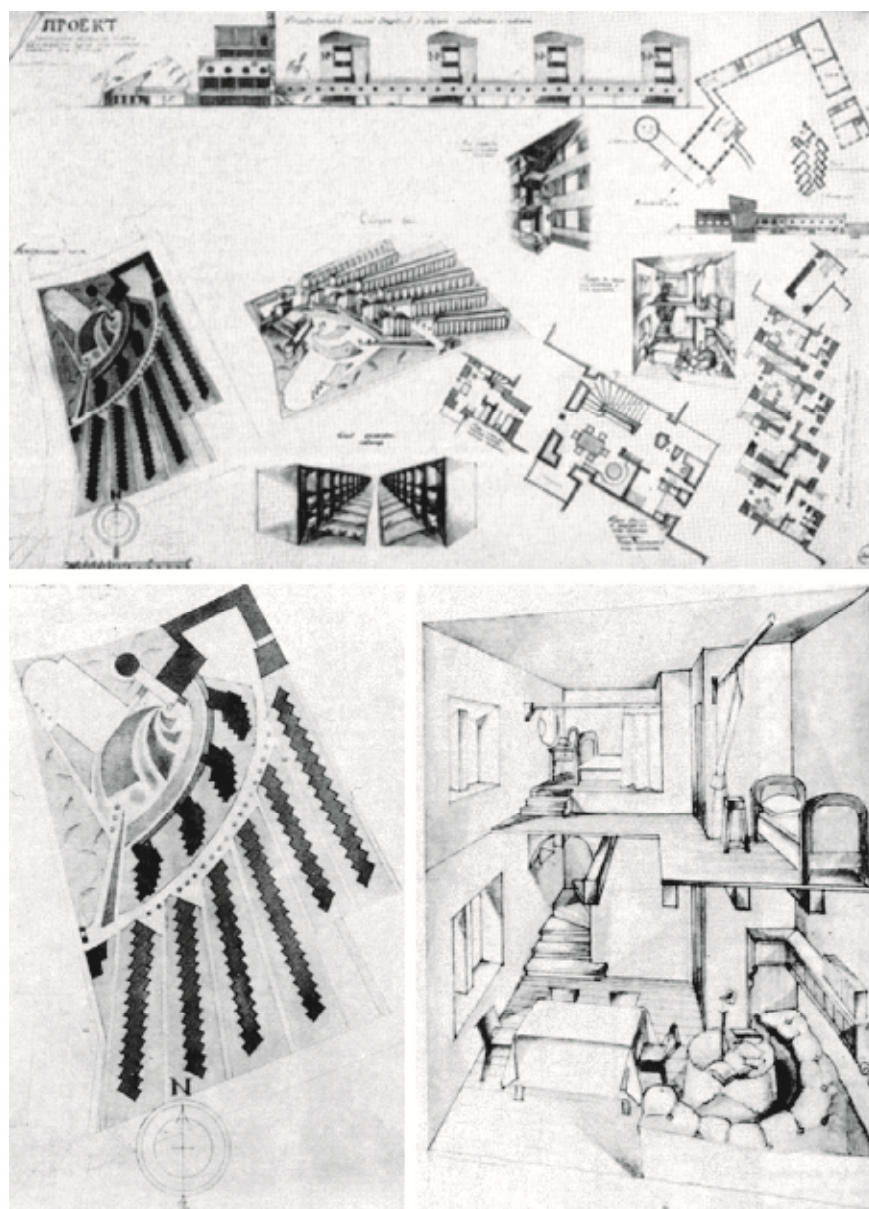


Рис. 1. Дом «Пила»

Общественная жизнь коммунаров – это центр пространственной композиции. В первую очередь, он предназначен для тех, чей быт обобществлен в большей степени. Поэтому непосредственно от него расходятся 4-этажные жилые корпуса с индивидуальными комнатами для проживания одиночек и семей из двух человек, связанные между собой и с общественно-коммунальным корпусом. Далее веерно расположены 3-этажные жилые корпуса с индивидуальными квартирами для семей с различной численностью членов. Эти корпуса сформированы из прямоугольных объемных элементов, сблокированных под углом к продольным осям корпусов. Первые этажи предназначены для семей с меньшим числом членов, вторые и третьи, состоящие из двухуровневых квартир, – для многочисленных семей. Каждая квартира в этих корпусах имеет свой вход с улицы и небольшой изолированный палисадник.

По второму этажу эти корпуса охвачены крытым переходом, связывающим их с общественным центром и коммунальным корпусом. По пилообразной форме этих жилых корпусов этот проект вошел в авангардную архитектуру 20-х годов под названием «Пила».

Этим проектом, павильоном «Махорка» на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке 1923 года, конкурсными проектами Дворца труда в 1923 году и Московского отделения газеты «Ленинградская правда», акционерного общества «Аркус» в 1924 году

К. Мельников демонстрирует совершенно новый художественный язык, позволяющий, раскрывая глубокое содержание архитектурного творения, выражать его главный смысл и создавать образ.

К. Мельникову близок образный символизм И. Голосова (некоторое время они вместе преподают в творческой мастерской в ВХУТЕМАСе). Но ограничиваться поиском символики только в объемной художественной форме его не устраивает. Его привлекает девиз Н. Ладовского «работать с пространством» (в 1923 году он даже временно входит в творческую группу АСНОВА). Но рамки теоретических поисков художественной композиции для К. Мельникова слишком узки. Он – свободный художник. Он не разрабатывает собственный творческий метод и не ограничивает свой талант методами, разработанными иными архитекторами. Он не позволяет себе в очередном своем творении воспользоваться каким-нибудь творческим приемом, использованным в предыдущей работе.

Единственный принцип, которому следует К. Мельников и будет ему верен всю свою творческую жизнь, – это отрицание фасада в архитектуре. Все его произведения настолько разноплановые, их композиционные оси пересекаются в таких немыслимых направлениях, а объемы формируют такое пространственное разнообразие, все преисполнено такого движения, что к его архитектуре менее всего подходит определение «застывшая музыка».

Павильон СССР на международной выставке в Париже

Вот этот мастер с такой характеристикой его творчества в 1925 году побеждает в конкурсе, и по его проекту сооружается павильон СССР на международной выставке в Париже. Павильон представляет собой прямоугольное двухэтажное здание каркасной деревянной конструкции (рис. 2). Боковых ограждений у него почти нет. Есть стекло, которое единит экстерьер с интерьером. Пространство этого объема перерезано по диагонали широкой открытой лестницей, с двух сторон ведущей на второй этаж. Над лестницей парит необыкновенный по форме навес. Его образуют деревянные щиты, в шахматном порядке закрепленные концами к краям разрезанной лестницей на две части объема второго этажа. Незакрепленные концы подняты навстречу друг другу. Таким образом, над лестницей создано два ряда перекрещенных щитов. И хотя в местах их перекрещения они закреплены между собой, взмывающие вверх их концы придают им эффект легкого парения. Плоские кровли обеих частей второго этажа выполнены с одинаковым уклоном, но в противоположные стороны. В результате угол подъема щитов от одного конца к другому в одном ряду нарастает, а в другом убывает. Это придает их парению динамику взлета. Она усиливается при восприятии всей конструкции при движении по лестнице. Один ряд щитов, взмывший вверх, приглашает к подъему по лестнице, в то время как другой ряд, взмывая вместе с лестницей, усиливает динамику подъема по ней.

Пространство и движение, легкость и простота – все это сплавляет воедино метрический ряд лестничных ступеней, щитов навеса. Эта удивительная диагональ превратила павильон в своеобразные пропилены, через которые на выставке проходят ежедневно десятки тысяч людей.

Советский павильон разительно отличается от павильонов других стран, привычно решенных в качестве дворцовой архитектуры. Парижская газета «Лямур де Ляр» пишет: «Построенный из легких материалов – дерева и стекла – павильон СССР, со своими наклонными лестницами, со своей вышкой, похожей на леса, со своей ребристой крышей... представляет тип современной конструкции, оптимально отвечающей своей функции. Павильон Мельникова – это обыкновенная конструкция, поставленная в пространстве и обеспечивающая максимум обозрения. Этот дом из стекла, себестоимость которого, безусловно, ниже всех других павильонов, является ценным уроком для всех архитекторов, ибо Мельников утверждает себя не только как конструктор, но и как художник. Он освобождает понятие объема от понятия сплошной массы. Он выражает третье измерение. Он создает ощущение пространства самим направлением архитектурных линий... Этот архитектор призван сыграть большую роль в его стране, охваченной пафосом героической деятельности» (Le journal parisien de Lyamour de Lyar, 1925. № 8).

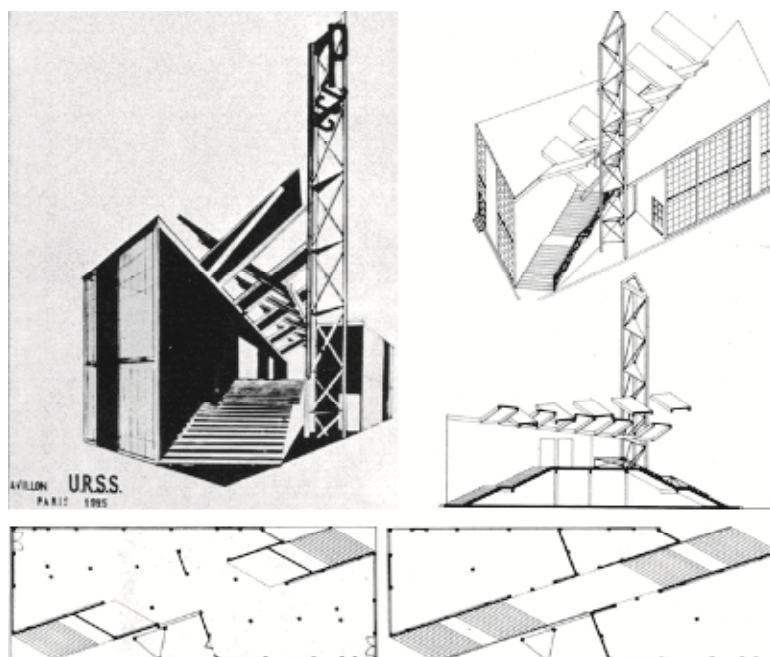


Рис. 2. Павильон СССР на международной выставке в Париже

Выставочный павильон, став неожиданностью, откровением, осуществил кардинальный поворот в развитии мировой архитектуры выставочных зданий.

Гараж-стоянка для такси на 1000 машин

В Париже К. Мельников по заказу мэрии выполняет проекты двух гаражей. Местом для одного из них он выбирает транспортный мост через Сену и создает над ним свой лучший проект гаража-стоянки. Новаторством в этом проекте является не просто освоение воздушного пространства города, а освоение пространства над транспортной магистралью, а также освоение таким объектом, которому не противопоказаны экологические характеристики таких городских пространств (рис. 3).

К. Мельников проектирует гараж-стоянку для такси на 1000 машин. Он решает здание во всю длину моста, подняв его в центральной части на высоту 10 метров, и в концах – 25 метров. С дорожного полотна моста на обоих его концах начинаются пандусы для подъема автомобилей на рабочие уровни гаража-стоянки. С центральной части моста в объем гаража ведут две закрытые вертикальные коммуникации.

Здание не ставится на опоры, и пандусы не представляют собой эстакады. К. Мельников использует конструктивную систему наклонно перекрещенных опор, угол наклона которых соответствует допустимому для автомобильного движения уклону. Вот по ним и проложены пандусы для машин, и на этих опорах расположен объем паркинга. Его горизонтальные перекрытия воспринимают растягивающие усилия этих перекрестно наклонных балок-пандусов.

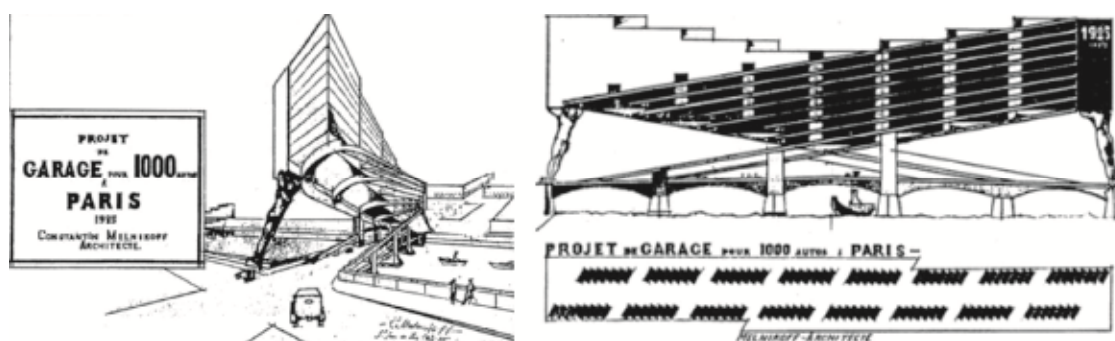


Рис. 3. Гараж-стоянка для такси на 1000 машин

Архитектурное решение гаража построено на художественно-выразительных качествах этой конструкции. Но К. Мельникова не удовлетворяет эта хоть и чрезвычайно динамичная, но уравновешенная система, и он вносит в нее изменение. Он раздвигает и смещает пространственные оси объема паркинга и опор-пантусов, чем создает неустойчивое расположение паркинга и неравномерную загрузку опор. И тогда в конструктивную систему вводятся дополнительные опоры, символически выполненные в виде фигур атлантов, облик которых обеспечивает надежность сооружения.

Клуб им. Русакова

1927-1929 годы – самый плодотворный период в творчестве К. Мельникова. В эти годы он проектирует и строит значительное число рабочих клубов. Рабочие клубы – это архитектурно-типологическое детище 20-х годов. Оно зарождается в «красных уголках», возникших в первые годы советской власти в целях агитационной и антирелигиозной пропаганды. Когда к этим целям прибавляются ликвидация безграмотности и политическое просвещение, начинает развиваться первичная клубная работа. Попав в поле внимания архитекторов, клубы приобретают свое содержание и материальные формы. В середине 20-х годов созревает социальный заказ на рабочие клубы как на массовый вид общественного здания. Заказчиками их являются профсоюзы различных отраслей производства, отдельных организаций, промышленных объектов. Им предписывается обеспечивать условия для ликвидации безграмотности их работников, повышения их культурного уровня, а также предоставляется свобода в расходовании некоторых финансовых средств на эти нужды.

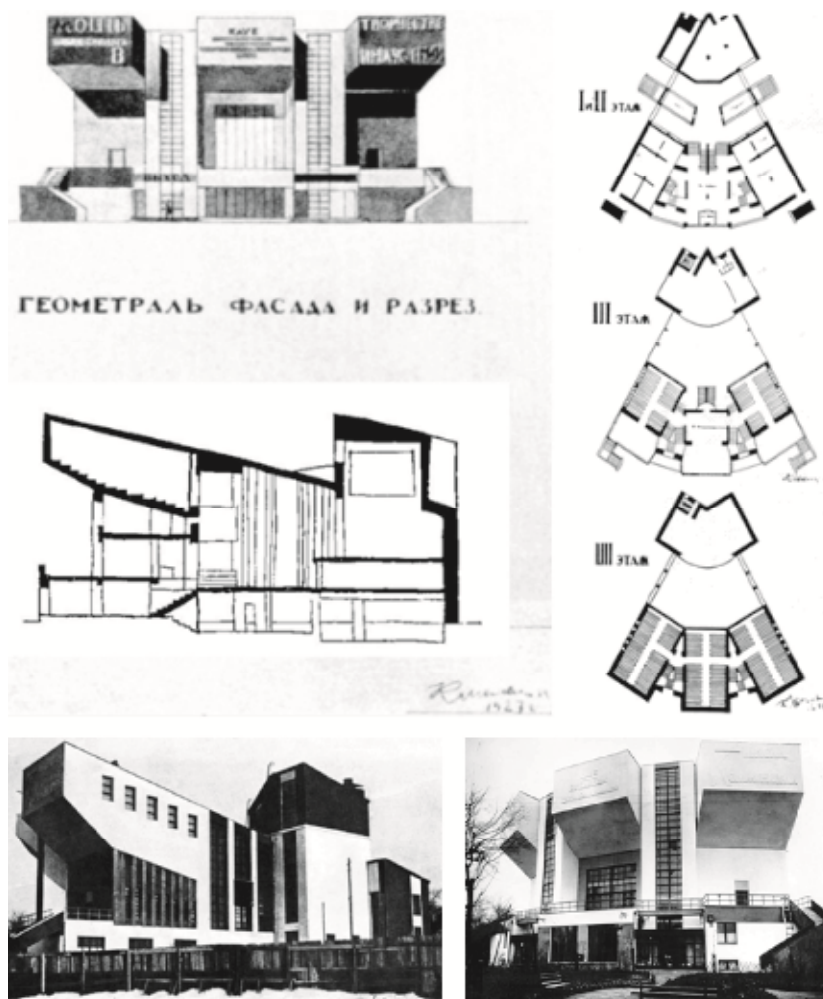


Рис. 4. Клуб им. Русакова

В условиях скорейшего выполнения этих предписаний заказчики обходятся без конкурсов. Исследователь творчества К. Мельникова С. Хан-Магомедов считает, что только это благоприятное стечение обстоятельств позволило воплотиться в жизнь проектам клубов К. Мельникова. Его клубы настолько необычны, что никакое жюри его проекты не оценило бы по достоинству. К. Мельников так пишет о своей работе в эти годы: «Начиная с 1927 года... мой авторитет вырос в монопольный захват. Вслед за Бахметьевским гаражом, поручается строительство гаража для грузовых машин на Ново-Рязанской улице, строительство здания клуба имени Русакова на Стромынке (рис. 4), клуба имени Фрунзе на набережной, против Ново-Девичьего монастыря, клуба завода «Каучук» на Плющихе, клуба «Буревестник» у парка Сокольники, клуба «Свобода» на Вятской улице, клуба при фарфоровом заводе в Дулеве, перестройка Камерного театра на Тверском бульваре, постройка на личные деньги собственного дома по Кривоарбатскому переулку... здания клубов проектировались мною не просто как здания, я составлял проект грядущего счастья, проект архитектуры большого подъема строительства новой жизни...» (Хан-Магомедов С. О. Константин Мельников. М. : Стройиздат, 1990. 296 с. С. 124).

С. Хан-Магомедов пишет: «...когда один за другим вводились в строй клубы Мельникова, они были в центре внимания архитектурной общественности Москвы. Это было действительно крупномасштабное явление в архитектуре. Не только в проектах, но и в натуре рождалось новое понимание возможностей формообразования в архитектуре» (Хан-Магомедов С. О. Константин Мельников. М. : Стройиздат, 1990. 296 с. С. 160).

Творческой вершиной этих лет является клуб им. Русакова на Стромынке. В этом сооружении наиболее полно воплотился талант архитектора в единении максимально рациональной организации функциональных процессов с внутренним пространством здания и с художественной выразительностью его облика (рис. 4).

Этот клуб проектируется первым, и здесь наиболее полно воплощается его авторский принцип, о котором мастер говорит следующее: «При проектировании мною зданий для клубов я проводил тот основной принцип, что вся работа клуба должна проходить на глазах масс, совершенно открыто, а не в закрытых коробках-комнатах, базирующихся на ряд коридоров. Этому я достигаю устройством системы зал – и почти только зал – которые могут переключаться, выключаться, объединяться и т.п.» (В мастерской Мельникова // Рабис, 1929. № 46. С. 8).

Залы, составляющие основную часть (70 %) кубатуры здания этого клуба, предназначены для различных видов функциональных процессов, таких как собрание, митинги, спектакли, спортивные мероприятия (партер большого зала), включая даже функцию ресторана (зал под сценой). Выделение трех балконов большого зала в самостоятельные аудитории вместимостью по 180 человек каждая, обеспечивает его одновременную разнообразную эксплуатацию. Этот прием трансформации пространства в целях его многофункционального использования осуществляется подъемно-опускными звукоизолирующими щитами («живыми стенами»).

Объемно-пространственная композиция здания клуба имени Русакова и его внутренняя пространственная организация гармонично вытекают одно из другого. Главным формообразующим элементом в здании является большой зал с его тремя секторами, решенными балконами. Выделяемые в самостоятельные аудитории, эти балконы наделяются и самостоятельной ролью в формообразовании здания. Их объемы мощными консолями вырываются из тела здания. Своим пространственным разворотом они придают зданию клуба необычную экспрессию. Как и во всех творениях К. Мельникова, у клуба нет фасада. Для полного восприятия его динамичного облика необходимо движение. Тогда в различных ракурсах раскрываются все его художественные достоинства.

Клуб завода имени Русакова – это то достижение советского авангарда, которое не сходит со страниц мировой профессиональной печати.

Достижения Константина Мельникова в методике архитектурного проектирования находят применение в среде студентов архитектурного факультета. Его творческий метод, такой как воплощение в каждом архитектурном творении авторского видения художественной формы, когда каждое отдельное творение «разговаривает» со зрителем на

своем языке, остается актуальным по сей день. Имя Константина Мельникова, которое обрело мировую известность, не сходит со страниц зарубежных источников информации и сегодня.

Список библиографических ссылок

1. Адамов О. И. Мельников К. С. Архитекторское слово в его архитектуре. М. : Архитектура-С, 2006. 144 с.
2. Иконников А. В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. В 2-х т. М. : Прогресс-Традиция, 2002.
3. Кудрявцев А. П. Архитектура изменяющейся России: состояние и перспективы. М. : КомКнига, 2011. 463 с.
4. Маклакова Т. Г. Архитектура двадцатого века: современная архитектура. М. : Издательство АСВ, 2002.
5. Материалы ИКОМОС. Консервация и реставрация : науч.-информ. сб. / Рос. гос. б-ка, НИЦ Информкультура. М. : Изд-во РГБ, 2005. Вып. 1. Наследие архитектора К. С. Мельникова. 64 с.
6. Материалы ИКОМОС. Консервация и реставрация : науч.-информ. сб. / Рос. гос. б-ка, НИЦ Информкультура. М. : Изд-во РГБ, 2007. Вып. 4. Памяти Константина Степановича Мельникова. 80 с.
7. Семенов В. Н. Дидактика и диалектика наследия архитектуры современного движения: Константин Степанович Мельников // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 199–207.
8. Semenov V. N. International Student Workshop On Architectural-Landscape Design Employing The Reconstruction And Recreation Of Examples Of The Avant-Garde Heritage Of Architect K.S. Melnikov 20th Century Russian Avant-Garde: Moscow's Central Gorky Amusement Park And Its Surroundings. RCM Rome Kiev Moscow. Rome : Gangemi Editore, 2012. P. 23, 70–72, 75–80.
9. Trusiani E. Dall'ex Tempore Al Workshop. Esperienze di ricerca e progetto. Rome : Gangemi Editore, 2012. 112 p.
10. Aoki Mitsumi. Again light of Russian avant-guard // Tokyo Shimbun. Japan, Aug. 7, 2001. P. 11.

Agisheva I.N. – candidate of architecture, professor

Pokka E.V. – candidate of architecture, senior lecturer

E-mail: ekaterina-p-83@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Works of the architect Konstantin Melnikov

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to reveal the stylistic features of the creativity of the architect Konstantin Melnikov in the situation of the embodiment of new architectural forms in the new social system, such as communal houses, kitchen factories, clubs for workers.

Results. The main result of the study is the study and analysis of the three-dimensional structure and the functional-planning solution of some works of the architect Konstantin Melnikov. Such works include: the communal house project (1922), the pavilion for the International Exhibition in Paris (1925), the garage parking project for a taxi for 1000 cars (1925), club of Rusakov (1927-1929-s).

Conclusions. The significance of the obtained results for the architecture consists in revealing the creative approach of the architect Konstantin Melnikov – this is a purely individual embodiment in each architectural creation of the author's vision of the artistic form as a flow in the architecture of the Soviet avant-garde called formalism.

Keywords: formalism, vanguard, modern architecture, space-planning decision.

References

1. Adamov O. I. Melnikov K. S. The architect word in his architecture. M. : Arkhitektura-S, 2006. 144 p.
2. Ikonnikov A. V. Architecture of the 20th century. Utopias and reality. In 2 t. M. : Progress-Traditciya, 2002.
3. Kudryavtsev A. P. Architecture of the changing Russia: state and prospects. M. : KomKniga, 2011. 463 p.
4. Maklakova T. G. Architecture of the twentieth century: modern architecture. M. : ASV publishing house, 2002.
5. Materials IKOMOS. Preservation and restoration: scientific and information collection / Russian state library, SIC Informcultura. M. : RGB publishing house, 2005. Release 1. Heritage of the architect K. S. Melnikov. 64 p.
6. Materials IKOMOS. Preservation and restoration: scientific and information collection / Russian state library, SIC Informcultura. M. : RGB publishing house, 2007. Release 4. Konstantin Stepanovich Melnikov's memories. 80 p.
7. Semenov V. N. Didactics and dialectics of heritage of architecture of the modern movement: Konstantin Stepanovich Melnikov // Vestnik MGSU. 2014. №. 8. P. 199–207.
8. Semenov V. N. International Student Workshop On Architectural-Landscape Design Employing The Reconstruction And Recreation Of Examples Of The Avant-Garde Heritage Of Architect K.S. Melnikov 20th Century Russian Avant-Garde: Moscow`s Central Gorky Amusement Park And Its Surroundings. RCM Rome Kiev Moscow. Rome : Gangemi Editore, 2012. P. 23, 70–72, 75–80.
9. Trusiani E. Dall`ex Tempore Al Workshop. Esperienze di ricerca e progetto. Rome : Gangemi Editore, 2012. 112 p.
10. Aoki Mitsumi. Again light of Russian avant-guard // Tokyo Shimbun. Japan, Aug. 7, 2001. P. 11.

УДК 712.25

Ахметсагирова Э.И. – студент

E-mail: Elluxemburg@gmail.com

Айдарова Г.Н. – доктор архитектуры, профессор

E-mail: aidagalnik@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Принципы архитектурно-пространственной организации городских набережных на примере Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка универсальных принципов архитектурно-пространственной организации городских набережных и методов их решения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в предложении использования принципов, выявленных на основе анализа теоретических исследований и практического опыта, для некоторых неорганизованных типов водных пространств Казани.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что выявленные принципы архитектурно-пространственной организации городских набережных могут быть универсальными для любого прибрежного общественного пространства, в том или ином сочетании и наполнении. Анализ территории, учет факторов конкретного места позволяет использовать тот или иной набор принципов и методов организации общественной прибрежной среды с учетом минимальных, оптимальных или максимально возможных средств, свойственных для определенного участка городской среды.

Ключевые слова: принципы архитектурно-градостроительной организации, городская набережная, экология, водные ресурсы, водоохраные зоны, прибрежные зоны.

Водные пространства – ценный градостроительный ресурс, который пока недостаточно эффективно используется. На территории РФ насчитывается более 8,5 тысяч озер, 400 малых рек и 4 крупные реки. Вследствие прогрессирующей урбанизации многие водные объекты находятся в экологически неустойчивом или деградирующем состоянии. Настоящим исследованием выявлено, что, начиная с 18 века в Казани исчезло ряд крупных водных объектов: реки Ичка, Каменка, озера Рогоское, Камарово, Чистое, Банное, Долгое, Игумново, Кривое. В 1990-2000 г. в Казани существовало 292 водных объекта, а к 2008 г. прекратило существование около 20 % водоемов (1/5 часть). К 2007-2008 гг. отмечено 236 водных объектов. К 2013 году исчезли 5 водных объектов в Ново-Савиновском районе (включая обширную правобережную пойму и часть акватории р. Казанки), 1 – в Московском районе (озеро по ул. Декабристов – Вахитова), 1 – в Советском районе (озеро по ул. Чишмяле) [1].

В Казани из 48 км прибрежных территорий благоустроены лишь 4 км. Часть набережных не доступны для посещения: огорожены и относятся к частным территориям. В 2013-2014 гг. было запрещено использование водоемов из-за отсутствия должного благоустройства и сервиса, наличия необходимого оборудования на городских пляжах.

Повышенный интерес к данной проблеме, ее актуальность проявляется как в проведении многочисленных международных и Российских конкурсов на разработку прибрежных территорий России, так и в теоретических исследованиях. По теме организации городских набережных существуют обширная профессиональная литература. Нефедов В.А. рассматривает развитие ландшафтного городского дизайна путем компенсирующей природы в городской среде за счет осуществления экологической реконструкции береговых пространств, Нефридов В.А. отмечает комплексный подход к гуманизации береговых территорий в мегаполисах [2, 3].

Теоретическая база включает ряд определений. В Водном кодексе РФ № 34-ФЗ под водоохранной зоной понимается территория, примыкающая к береговой линии водных объектов: морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ. В целях предотвращения

экологических проблем и истощения вод, устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности. Ширина водоохранной зоны (ВЗ) рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью: 1) до 10 км – 50 м; 2) от 10 до 50 км – 100 м; 3) от 50 и более – 200 м; ширина ВЗ озера менее 0,5 км²; моря – 500 м; ВЗ магистральных или межхозяйственных каналов совпадают по ширине с полосами их отводов. В границах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых, так же установлен специальный режим контроля состояния водных объектов.

Понятие «городская набережная» включает объемно-планировочные комплексы у водоемов, занимающие значительные городские территории, которые непосредственно связаны и с городской застройкой, и с акваторией. Комплекс набережной включает общественные сооружения, естественный или искусственно создаваемый прибрежный ландшафт, а также подземные и надземные инженерные сооружения, коммуникации и оборудование [4].

На сегодняшний день в Казани существуют разные типы набережных: общественные, городские транспортные, городские пешеходные, природные, эко-берега, производственные, жилые, не благоустроенные. Территориальное расположение, климатические особенности, ландшафт, экологическая ситуация и др. факторы могут повлиять на совокупность и количественную составляющую тех или иных принципов, для формирования гармоничной, стратегически важной, безбарьерной и экологической среды.

Активное освоение общественных пространств Казани началось в формате «года парков и скверов» и «года водоохранных зон», проведения ряда конкурсов: «Открытый конкурс на разработку концепции развития набережных системы озер Кабан» (2016 г.), [5] «Конкурс на разработку концепции развития набережной р. Нокса и благоустройство участка набережной» (2016 г.).

За 2015-2016 год было спроектирована и реализована 21 набережная и 43 парка в районах Татарстана. «Проектная группа 8», работающая по данной программе, ведет обсуждение каждого проекта с жителями города, путем использования методов соучастия – подход к процессу создания и управления материальной средой, в которой происходит жизнедеятельность общества [6] Включение жителей и сообществ в диалог об изменении существующих и проектировании новых общественных пространств: парков, скверов, набережных, важный кейс при благоустройстве общественной среды. За первые полгода работы в Татарстане было проведено более 50 общественных обсуждений. Освоение городских набережных становится главной темой для обсуждения многих архитектурных публицистических изданий: Проект Россия – № 75 тема «Набережные» (03, 2015), Проект Россия № 54 – тема «Ландшафт» (02, 2010), Tatlin Mono – тема «Молодые архитекторы России» [7].

В 2016 в Казани проведен ряд мотивирующих мероприятий, направленных на привлечение жителей города к данной теме водоохранных зон: VII специализированная выставка и конгресс «Чистая вода. Казань-2016», виртуальная выставка, посвященную году водоохранных зон в РТ в Казанском Кремле, акция «Единый экологический урок» прошедшая в школах Татарстана, продление действия программы «Водоохранные зоны» на 2017 год, старт благоустройству лесопарка «Лебяжье» в Казани [8].

В настоящее время в теории и практике сформированы новые принципы организации общественных пространств: безбарьерная, доступная, социально-ориентированная безопасная среда. Это свободные от транспорта городское пространства, к которым имеют доступ разные группы и возраста населения, место социальной активности граждан. Многофункциональное пространство используются для целенаправленного перемещение из одного места в другое, прогулки, работы, проведения переговоров и встреч.

Наиболее удачный зарубежный практический опыт формирования общественных пространств прибрежных зон, демонстрирует, разработанную базу современных тенденций на основе которых, выявлены ключевые принципы архитектурно-пространственной организации городских набережных. Некоторые из них: проект пешеходной набережной «MadridRio», реализованный в 2006 году, в столице Испании, Мадриде; ранее

производственная набережная Hafen-City, выполненная в 2005 году, в Германии, Гамбург; эко берег «Yanweizhou Park», радует жителей Китая с 2013 года [19, 10, 11].

Рассмотрение взаимосвязи архитектуры и акватории в различных аспектах – градостроительном, функциональном, климатическом, эстетическом, экологическом, социально-экономическом, информационном – позволяет отметить необходимость преобразования существующих прибрежных пространств исходя из сложившихся приоритетов во взаимодействии архитектурных и природных компонентов ландшафта. Анализ показал, что в зарубежном опыте используются различные стратегии проектирования, в которых встречаются совокупности тех или иных принципов построения пространства, а также новые тенденции решения тех или иных задач. Качественные общественные пространства достигаются набором ключевых решений на поставленные жителями или городской администрацией задачи. Над такими пространствами работают специалисты различного профиля: архитектор, градостроитель, дизайнер, эколог, дендролог, ландшафтный дизайнер, проектировщик, инженер, гидролог, специалист по световому дизайну, различного рода производители и т.д. Каждый из них выполняет одно связующие звено, без которого, распадется пазл необходимых элементов для той или иной территории.

Рассмотрим эффективность совокупностей различных принципов и решений в организации водного общественного пространства на примере трех набережных: Крымской набережной в Москве, выполненной архитектурным бюро Wowhaus [12], Казанского проекта набережных озер Кабан, спроектированных российско-китайским консорциумом Turenscape + МАП architects с концепцией под названием «Эластичная лента: Бессмертное сокровище Казани» [5] и Казанской Кремлевской набережной [13].

Принцип многослойной структуры коммуникаций – высокие темпы автомобилизации, приводят к превышению автомобильного трафика, пробкам, и к отсутствию беспрепятственного передвижения пешеходов и велосипедистов. Большая часть из них может быть успешно решена только при условии взаимосогласованной организации путей пешеходов и транспорта, комплексного освоения подземного и наземного пространств города:

1. Приоритет движения: а) безопасный город; б) организация пешеходных переходов; в) организация дополнительных остановок общественного транспорта;
2. Поперечные связи: а) многоуровневый мост; б) многофункциональный мост; в) пешеходный мост;
3. Организация парковок: а) зеленая парковка; б) подземная парковка; в) гостевая парковка;
4. Водный/вело транспорт: а) организация велопутей в структуре города; б) организация водного трафика в структуре города; в) организация причалов/велопарковок/проката.

Примером удобных автомобильных, велосипедных и пешеходных коммуникаций является реализованная в 2013 году Крымская набережная в Москве. Еще в 2000 году набережная представляла из себя автомобильную дорогу с интенсивным движением. Московские городские власти решили преобразовать территорию в общественное пешеходное пространство, организовать зеленые зоны, наполненные разнообразными видами досуга, по проекту архитектурного бюро Wowhaus. На сегодняшний день на территории организовано беспрепятственное пешеходное прогулочное движение, велосипедная дорожка в связке с крупными рекреационными пространствами города, необходимый сервис для велосипедистов, скейтеров, роллеров и других спортсменов, парковка на 82 машиноместа, тем самым обеспечена полная проницаемость территории и удобная транспортная, пешеходная и велосипедная сетка.

Принцип биологических мероприятий – важность сохранения экокаркаса при развитии городской застройки сегодня стоит на важном месте. Сохранение исторического ландшафта, его регенерация, приумножение и увеличения разнообразия зеленых насаждений, контроль экологических показателей – неотъемлемые черты современного урбанистического процесса:

1. «Сохраняй и умножай»/жизнеспособная среда: а) высадка крупномеров вдоль проезжей части/береговой линии б) разные виды растительности по всей территории в) биоразнообразие;

2. Укрепление берега: а) габионы; б) каменная наброска; в) лиственница;
3. Очистка воды: а) альгофлора; б) береговые биоплато/экоострова; в) аэрация;
4. Использование экоматериалов: а) экоматериалы в покрытие; б) экоматериалы в строительстве МАФов; в) экостроительство.

В проекте победителей конкурса «Открытый конкурс на разработку концепции развития набережных систем озер Кабан», выполненный архитектурными бюро Turenscape и МАП architects, большое внимание уделено экологии. Архитекторы попытались обеспечить максимальным природным составляющим и создать жизнеспособную среду для обитания. Формирование зеленых коридоров создает лучшие условия и «тропы» для животных и обеспечивает стабильность биотического разнообразия и экосистемы в целом. Создание естественной системы сбора, очистки и сброса сточных вод, позволить снизить загрязнение озера стоками с дорог и земляных участков, и улучшить качество воды. В проектах финалистов, были представлены новейшие технологии очистки озер: береговые биоплато, альгофлора, аэрация природных слоев, экоострова.

Принцип комфортной среды. Комфортная среда – это пространство, максимально приспособленное под нужды горожан. Комфортность общественного пространства определяется такими факторами, как: доступность территории разными социальными и возрастными группами, многофункциональность, организованность общественного пространства в соответствии с нормами, стандартами и тенденциями:

1. Выход к воде: а) ступени/амфитеатр; б) экоберег; в) пирс/смотровая площадка;
2. Универсальный дизайн: а) широкие тротуары/пандусы; б) оборудование для мнг; в) тактильные/звуковые/цветовые сигналы;
3. Многофункциональность: а) активные функциональные зоны; б) пассивные функциональные зоны; в) объекты обслуживания;
4. Разные виды покрытий: а) покрытие зон; б) покрытие дорожек; в) зеленые участки.

Особое внимание в проектировании Крымской набережной в Москве, уделялось созданию комфортной, безбарьерной среды, среди них: большое количество парковочных мест для маломобильных групп населения, широкие прогулочные дорожки, пандусы. Так же проектом предусмотрено комфортное пространство для всех групп населения: кафе, спортивные, фестивальные, тихие зоны.

Принцип круглогодичного использования предполагает организацию общественного пространства в зимнее время. Необходимо учитывать основные зимние и летние как активные, так и пассивные функции, что особенно важно для условий России.

1. Летние активные функции включают: а) детские активности; б) спортивные активности; в) фестивальные активности;
2. Летние пассивные функции: а) кафе/павильоны/строения; б) зоны отдыха/выходы к воде; в) точки притяжения/арт объекты.
3. Зимние активные функции включают: а) каток/лыжи/снежные горки; б) новогодние фестивали; в) зимняя рыбалка
4. Зимние пассивные функции: а) кафе/павильоны/строения; б) точки притяжения/арт объекты/фотозоны.

Казань располагает различного типа набережными, каждая из которых по-своему уникальна: размер, расположение в структуре города, история и культура места, ландшафт, видовое разнообразие, состояние воды, почвы, грунта и покрытий, существующая инфраструктура, транспортная и пешеходная сеть, потенциальные посетители и т. д. Анализ территории и учет данных факторов позволяет использовать выявленный набор принципов в различном их сочетании и наполнении для архитектурно-пространственной организации набережных Казани.

Удачное решение было принято на Казанской Кремлевской набережной, в формировании катка, проката спортивного зимнего оборудования, детских горок и праздничной иллюминации. Данное решение позволяют общественному пространству «жить» и иметь высокую посещаемость как в летнее, так и в зимнее время. Можно сказать, что в ее архитектурно-градостроительной организации проявились принципы доступности, многофункциональности, круглогодичного использования, разделения пешеходных, спортивных и транспортных потоков.

Вместе с тем недостаточно максимально для центральной городской набережной решены такие задачи как озеленение, доступ к воде, разнообразие архитектурно-планировочных решений.

Для повышения статуса данной набережной следует повысить степень комфортности посредством увеличения количества зеленых насаждений, организации выходов к воде, пирсов и лодочных станций, создание безбарьерной среды, связи набережной со знаковыми объектами города (парк горького), дополнить такими функциями как игровая детская площадка, водный транспорт, площадок для проведения массовых мероприятий и зон тихого отдыха.

На основе анализа теоретических исследований и практического опыта предложено использование выявленных принципов для некоторых неорганизованных типов водных пространств Казани.

Городская-пешеходная набережная (участок Ново-Савиновская набережной).

Рассматриваемый участок прибрежной зоны располагается в Ново-Савиновского районе, граничит с ул. Сибгата Хакима, развлекательным комплексом «Ривьера» и с центром Семьи «Казан». Участок представляет собой не благоустроенный пустырь с песчаными насыпями. На данной территории применена стратегия «Природы в техногенном городе»: переход на зеленые строительные стандарты, укрепление берега влагоустойчивой растительностью, «точка притяжения» для всего района, биоразнообразие, минимальная очистка воды, за счет высадки биоплато, организация дополнительной остановки общественного транспорта, надземных переходов, зеленых парковок, велопути, безбарьерная среда. Таким образом, сформировано комфортное многофункциональное общественное пространство путем максимального набора принципов организации прибрежных территорий, таких как: организация пешеходных переходов, поперечных связей, парковок, водного/вело транспорта, очистка воды, использование экологических в строительстве, разнообразной дендрологии, организации выходов к воде, многофункциональности, разных видов покрытий, летних активных и пассивных функции, зимних активных и пассивных функций.

Зеленое ядро, привлечет внимание разные группы населения, разнообразием функций, дендрологических решений, идеологией искусственного лесопарка в городской среде (рис. 1).

1. Общественное здание
2. Кафе
3. Спортивная зона
4. Детская зона
5. Культурные павильоны
6. Амфитеатр
7. пляж
8. Смотровая зона
9. Выход к воде

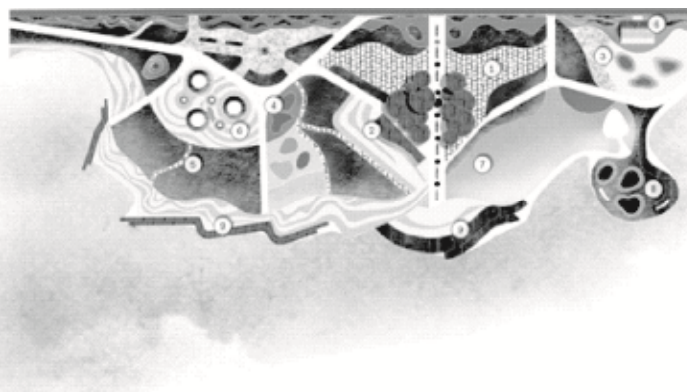


Рис 1. Схема генерального плана Ново-Савиновской набережной

Природная набережная (участок Голубых озер)

Одной из главных достопримечательностей Казани является заповедник с голубыми озерами, который располагается на границе города, возле СДТ Щербаковка. Природная территория богата живописными видами и чистыми озерами. Эко-каркас территории требует минимального вмешательства в природную систему: организация тематических экотроп, использование эко материалов в строительстве покрытий, малых архитектурных форм, мостов, увеличение дендроразнообразия, минимального сервиса для купания, организации живописных точек восприятия (обоняние, осязание, тактильность).

Минимальным набором принципов организации прибрежных зон, можно сформировать комфортное пространство без урона природной составляющей: организация поперечных связей, вело транспорта, очистки воды, высадки растительности, экостроительство, организации выходов к воде, летних активных и пассивных функций (рис. 2).

1. Выход к воде
2. Раздевалка/душевая /сан узел
3. Зона для пикника
4. Амфитеатр
5. Прогулочная дорожка
6. Экотропы
7. пляж

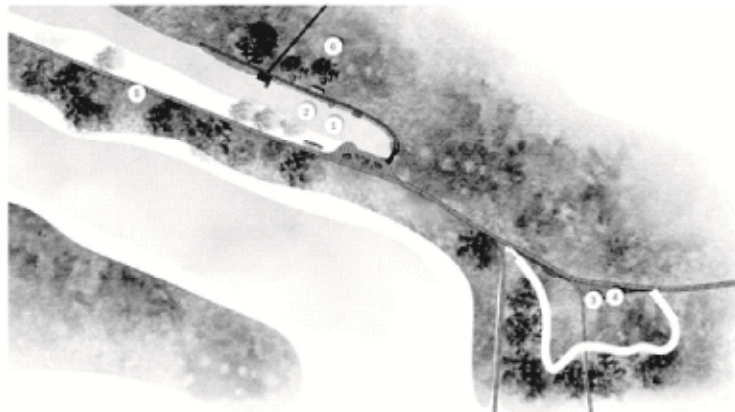


Рис 2. Схема генерального плана участка Голубых озер

Пляж (Локомотив)

Пляжная зона располагается в Вахитовском районе, на берегу Волги, за центральным железнодорожным вокзалом, на одноименном полуострове. На территории отсутствует необходимый пляжный сервис, спуски к воде, освещение, нехватка парковочных мест, критическая замусоренность. В 2013-2014 гг. было запрещено купаться из-за состояния воды. Концепцией предложено: очистка территории, замена не качественного и остаревшего пляжного оборудования, размещение мест для принятия солнечных ванн, детских, спортивных, медицинских зон, точек питания, спасательной вышки, информационных стендов, организованной парковки. К сожалению, исправить критическое состояние воды на сегодняшний день, в кратчайшие сроки, невозможно, поэтому представлена концепция очистки воды методом облесения Волги, подъема объектов и чистки дна, на несколько лет вперед.

Предложено сформировать общественный пляж для проведения семейного досуга путем организации парковок, водного/вело транспорта, очистки воды, специфичной дендрологии, организации выходов к воде, многофункциональности, использование экологических в строительстве и разных видов покрытий, а также организации летних активных и пассивных функций (рис. 3).

1. Входная зона
2. Выход к воде
3. Раздевалка/душевая /сан узел
4. Кафе
5. Тех помещения /прокат
6. Детская зона
7. Спортивная зона
8. Пляж с лежаками
9. Смотровая вышка
10. Парковка

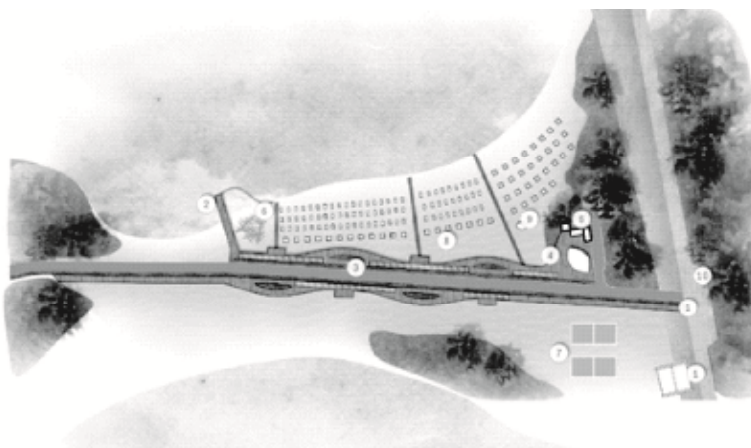


Рис. 3. Схема генерального плана пляжа Локомотив

В заключении можно отметить, что качество жизни горожан напрямую зависит от состояния городских общественных пространств. Благоустройство зон общественного пользования, повышает статус города, комфорт проживания для жителей, и позволяет экономике подняться на новый уровень, привлекая большое количество туристов. Выявленные принципы формирования городских набережных являются универсальными для любого прибрежного общественного пространства, в том или ином сочетании и наполнении. Анализ территории, учет факторов конкретного места позволяет использовать тот или иной набор принципов и методов организации общественной прибрежной среды с учетом минимальных, оптимальных или максимально возможных средств, свойственных для определенного участка проектирования.

Список библиографических ссылок

1. Зарипова А. Н. Реновация фрагмента водного каркаса Казани на примере оз. Лебяжье. Казань : КГАСУ, 2015. 103 с.
2. Нефёдов В. А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. М. : Полиграфист, 2002. 295 с.
3. Нефридов В. А. Как вернуть город людям. М. : Искусство-XXI век, 2015. 160 с.
4. Козлов А. С. Планировочная организация общественного городского пространства набережной // Архитектон: известия вузов. 2011. № 34.
5. Открытый конкурс на разработку концепции развития набережных системы озер Кабан // Kazanlakes : официальный сайт конкурса. 2015. URL: www.kazanlakes.com
6. Санофф Г. Соучаствующее проектирование. Практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов. М. : Проектная группа 8, 2015. С. 7.
7. Проект Россия. Набережные // «Объединенные проекты», 2015. № 75.
8. «Год водоохранных зон РФ» // Bereg.Tatar : официальный сайт. 2016. URL: <http://bereg.tatar/> (дата обращения: 24.03.2015).
9. Urban urban : электронный журнал. 2013. URL: <http://urbanurban.ru/blog/space/90/Madrid-RIO-progulochnaya-zona-vmesto-estakady> (дата обращения: 23.02.2013).
10. Официальный сайт Hafencity // Hafencity : официальный сайт. 2006. URL: <http://www.hafencity.com/en/home.html> (дата обращения: 24.03.2015).
11. Landezine, Yanweizhou Park. // Landezine : официальный сайт. 2009. URL: <http://www.landezine.com/index.php/2015/03/a-resilient-landscape-yanweizhou-park-in-jinhua-city-by-turenscape/> (дата обращения: 24.03.2015).
12. Официальный сайт Крымской набережной // Wowhouse : официальный сайт. URL: <http://wowhaus.ru/urbanistics/crimea-quay.html> (дата обращения: 24.03.2015).
13. Официальный сайт Кремлевкой набережной // Kremlinnab : официальный сайт. 2007. URL: <http://kremlinnab.ru> (дата обращения: 24.03.2015).

Akhmetsagirowa E.I. – student

E-mail: Elluxemburg@gmail.com

Aidarova G.N. – doctor of architecture, professor

E-mail: aidagalnik@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Principles of architectural and spatial organization of city embankments on the example of Kazan

Abstract

Problem statement. The purpose of the article is the development of universal principles of architectural and spatial organization of city embankments and methods for their solution.

Results. The main results of the research consist in proposing the use of principles revealed on the basis of an analysis of theoretical studies and practical experience for some unorganized types of water spaces in Kazan.

Conclusions. The significance of the obtained results for the architecture is that the revealed principles of the architectural and spatial organization of city embankments can be universal for any coastal public space, in this or that combination and filling. The analysis of the territory, taking into account the factors of a particular location, allows one or another set of principles and methods of organizing a public coastal environment to be used, taking into account the minimum, optimal or maximum possible means inherent in a particular section of the urban environment.

Keywords: principles of architectural and town planning organization, city embankment, ecology, water resources, water protection zones, coastal zones.

References

1. Zaripova A. N. Renovation of the fragment of Kazan water skeleton on the example of Lebyazhye Lake. Kazan : KGASU, 2015. 103 p.
2. Nefyodov V. A. Landscape design and environmental sustainability. M. : Polygraphist, 2002. 295 p.
3. Nefriedov V. A. How to return the city to people. M. : Iskusstvo-XXI vek, 2015. 160 p.
4. Kozlov A. S Planning organization of public urban space of the embankment. M. : Architecton: izvestiya vuzov, 2011. № 34.
5. Open competition for the development of the concept of development of embankments of the Kaban lake system // Kazanlakes: official site of the contest. 2015. URL: www.kazanlakes.com (reference date: 24.03.2015).
6. Sanoff G. Participatory design. Practices of public participation in the formation of the environment of cities and towns. M. : Proyektnaya gruppa 8, 2015. P. 7.
7. The project Russia. Naberezhnye // The United Projects, 2015. № 75.
8. The Year of Water Protection Zones of the Russian Federation // Bereg.Tatar: official site. 2016. URL: <http://bereg.tatar/> (reference date: 24.03.2015).
9. Urban urban: an electronic journal. 2013. URL: <http://urbanurban.ru/blog/space/90/Madrid-RIO-progulochnaya-zona-vmesto-estakady> (reference date: 23.02.2013).
10. Official site of Hafencity // Hafencity: official site. 2006. URL: <http://www.hafencity.com/en/home.html> (reference date: 24.03.2015).
11. Landezine, Yanweizhou Park. // Landezine: official site. 2009. URL: <http://www.landezine.com/index.php/2015/03/a-resilient-landscape-yanweizhou-park-in-jinhua-city-by-turenscape/> (reference date: 24.03.2015).
12. Official site of the Crimean embankment // Wowhouse: official site. URL: <http://wowhaus.ru/urbanistics/crimea-quay.html> (reference date: 24.03.2015).
13. Official site of the Kremlin embankment // Kremlinnab: official site. 2007. URL: <http://kremlinnab.ru> (reference date: 24.03.2015).

УДК 74.01/.09

Ибрагимова А.Ф. – аспирант

E-mail: stasiaibragim@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Принципы расположения городской скульптуры в открытых общественных пространствах архитектурной среды

Аннотация

Постановка задачи. Выявить характерные принципы расположения городской скульптуры в открытых общественных пространствах архитектурной среды.

Результаты. Выведены следующие основные принципы расположения городской скульптуры в открытых общественных пространствах архитектурной среды: доминирование, интегрирование, симбиоз, деструкция и номадизм.

Выводы. Значимость выведенных принципов для теории и истории архитектуры заключается в том, что сформулированные понятия, основанные на взаимосвязи между элементами системы «среда-скульптура-человек», представляют собой своеобразное «зеркало», отражающее современное взаимодействие между архитектурной средой, обществом и искусством скульптуры.

Ключевые слова: архитектурная среда, городская скульптура, монумент, монументальная скульптура, монументально-декоративная скульптура, архитектура, открытое общественное пространство, дизайн города, паблик-арт, городская среда.

В классическом определении скульптуры выделяются четыре типа: монументальная, монументально-декоративная, декоративная и станковая скульптуры. О первых двух видах, основным свойством которых является расположение в открытых общественных пространствах архитектурной среды, и пойдет речь в этой статье. В первую очередь стоит отметить, что сегодня термины монументальная и монументально-декоративная скульптура неполно характеризуют скульптурное творчество в городской среде. Подобное деление уместно использовать в качестве характеристик городской скульптуры до середины XX века. Современная городская скульптура сегодня не мыслится без скульптуры паблика-арта и стрит-арта. Скульптура, нашедшая отражение в этих двух видах современного искусства, незаслуженно не ставится в один ряд с монументальной или монументально-декоративной скульптурой, хотя имеет все основные признаки общественного городского искусства. Поэтому, в названии статьи намеренно используется более ёмкое, обобщающее понятие, как скульптура открытых общественных пространств.

Скульптура открытых общественных пространств – публичное, объемно-пространственное искусство в архитектурной среде, которое при помощи своей формы репрезентует отношение автора к миру и наделена такими свойствами, как социально-общественная и художественная значимость. Являясь неотъемлемой частью городской среды, она напрямую участвует в сложении архитектурно-художественного облика города, являясь постоянным компонентом культурно-стилевого контекста.

В целом вопросом рассмотрения расположения монументальной скульптуры в городе занимался ряд авторов, наиболее яркие представители исследования это немецкий искусствовед А.Е. Бринкман [1], который в своем анализе прибегает к рассмотрению скульптуры внутри города, площади, улицы, перекрестка, набережной, а, в конечном счете, всю планировку и всю систему пространственного членения города соотносит со скульптурными формами в ней находящимися. Интересными представляются труды А. В. Иконникова по изучению организации городской среды, он достаточно подробно и глубоко рассматривает искусство в городе, объективно анализируя достижения зарубежных стран [2]. Важным представляется исследование иностранного искусствоведа Розалинда Краусс, выдвинувшей теорию о номадичности скульптуры, как об одном из

новых ее свойств [3]. Но исследования современных авторов часто ограничены приверженностью той или иной специфики скульптуры, так например особенности расположения скульптуры публич-арта в современном отечественном искусствознании рассматривается в научных статьях А.О. Котломанова [4].

Рассмотрение эволюции расположения скульптуры в архитектурной среде основывается на классической периодизации истории искусств. Скульптуру «протоискусства» первобытнообщинного строя или мегалитические сооружения железного века отнести к скульптурам открытых общественных пространств почти невозможно, в виду отсутствия общества как такового, государства и городов. Таким образом, смело можно сказать, что первые городские скульптуры возникают тогда же, когда возникают первые цивилизации: Египетская, Месопотамская, а вместе с ними и первые города и общественные пространства внутри них. Большой египетский сфинкс, возвышающийся над ходом погребальных процессов вдоль пирамид или двухметровая стела «Кодекс Хаммурапи» – яркие примеры первых скульптур в открытых общественных пространствах. Впоследствии, цивилизации Античности, сохраняя эти традиции, вывели скульптуру в городе на новый высокохудожественный уровень, попробовали сделать её равной архитектуре, но с приходом Средневековья традиция скульптуры в городе была забыта и скульптура как отдельно-стоящий элемент архитектурного ансамбля появится лишь во времена Возрождения, благодаря Донателло и другим гениям той поры. С тех того времени и по двадцатый век трансформация месторасположения, видоизменение формы и идеи в городе не менялись серьезно, и лишь с конца XIX века скульптура меняет форму и свое отношению к зрителю, благодаря Огюсту Родену, убравшему постамент и позволивший вольную трактовку фигуры человека в объеме. И с XX века уже меняется весь контекст городской среды, новый порядок в обществе, грандиозный рост городов, изменение человека самого. Скульптура общественного пространства следует за этими изменениями, олицетворяет их, являя необычные и новые принципы расположения, при сохранении традиций.

Для рассмотрения принципов расположения нужно понимать, что означают открытые общественные пространства сами по себе и скульптура в них, определить основные факторы, которые будут определять выделенные модели месторасположения.

Как отмечает Борис Гройс [5] общественное пространство закладывают в своем определении противопоставление с частным пространством, иными словами это всё, что не частное. В этой статье свойство «открытые», дано, чтобы сузить месторасположения предмета исследования до внешней архитектурной среды, если говорить конкретно, то открытые общественные пространства – это такая часть городской среды, которая постоянно и бесплатно доступна для населения. Чаще всего под общественными понимаются места, где происходит городская общественная жизнь: площади, набережные, улицы, пешеходные зоны, парки. В некотором роде это синоним целой системы городской среды, а значит, мы можем говорить о городской скульптуре в частности.

Для выделения принципов расположения, обратимся к системе «среда-скульптура-зритель». Среда – это место где скульптуры присутствует физически, а зритель, точнее его восприятие – это то, где скульптура присутствует метафорически. От характера взаимоотношения этих факторов системы зависит непосредственное расположение скульптуры, в какой-то степени ее дальнейшая судьба, функция, образ. Если связь внутри этой системы гармонична, оправдана, то скульптуре «быть». Непродуманная или сложная связь и взаимовлияние внутри этой системы ведет к забвению скульптура или даже к ее уничтожению. Так, например, знаменитая скульптура Ричарда Серры «Наклонная арка» установленная в 1981 году в Нью-Йорке на Федерал-Плаза, в качестве объекта искусства, которое приспособлялось к архитектуре и подчинялось ей, в конечном итоге, была перенесена в другое место, в связи с недовольством местных жителей, по мнению которых, данная скульптура своим видом меняет пространство не в лучшую сторону. То есть при непосредственном контакте среды, скульптуры и зрителя, произошло то, что скульптура, повлияв на окружение и зрителя, вынудила, уже зрителя и окружение повлиять на неё, изменить её, уничтожить как таковую для данного места. Скульптура была перенесена, а в дальнейшем и вовсе

была демонтирована. Этот пример доказывает, что через призму изучения системы «среда-скульптура-человек» можно выделить некие механизмы, которые формируют принципы расположения скульптур в открытых общественных местах.

Выделяется пять принципов расположения скульптуры в открытых общественных пространствах: доминирование, интегрирование, симбиоз, деструкция и номадизм. Если рассматривать временные рамки возникновения подобных принципов, то можно сделать вывод, что предпосылки подобного расположения, за исключением, пожалуй, двух последних, обозначились уже в эпоху Античности. Степень же преобладания одного или другого принципа, в зависимости от исторического, политического или социального контекста, менялась вместе с ходом истории человечества, и как отмечалось выше, с изменением контекста городской среды. Остановимся подробно на каждом из перечисленных принципов.

Принцип доминирования подразумевает такое расположение скульптуры в открытом общественном пространстве, когда скульптура становится центральным объектом архитектурной окружающей среды, своеобразной доминантой. Расположение в центре города, городской площади или даже внутреннего двора, на возвышенности – это типичные примеры использования рассматриваемого принципа, где основными инструментами являются масштаб произведения, его объем, значимость содержания и влияние на городскую среду. Скульптуру в данном случае часто поддерживает архитектура, она вырастает из нее, дополняет. Бывает и, наоборот, когда отдельно-стоящие скульптуры за чертой города доминируют на всем окружающем пространстве. Человек в данном принципе расположение почти никак не учитывается, он элемент, который трудно соизмерим с величиной или значимостью подобных объемов. Зритель может наблюдать подобную скульптуру с дальних расстояний, и в большинстве случаев подобной скульптуре характерен монументальный облик.

Размещение скульптуры, как доминанты города тесно связано со становлением, возникновением скульптуры в архитектурном пространстве. Дело в том, что в начале исторического развития городов, скульптура всегда выполняла идолопоклонническую роль, была в виде обелисков или изображений божественных образов, тем самым вызвала массовое скопление людей и располагалась обычно в центре города или поселения. Такой способ можно считать градообразующим, поскольку скульптура, располагаясь в центре города, знаменовала развитие вокруг себя общественных связей и транспортных путей.

Афинский акрополь самый яркий пример доминантного принципа расположения скульптуры прошлых веков. Как отмечает автор Романенко [6], что статуя Афины стояла среди архитектурных сооружений акрополя, по-видимому, была сомасштабна им и имела хорошие точки обзора. Скульптор Фидий выбрал, пожалуй, самое центральное из всех возможных мест, не только города Афины, но и всей Античной Греции в целом, а именно, по центру Акрополя, возвышавшегося над старым городом. Стоит отметить, что именно с проектированием этой скульптуры и других архитектурных сооружений Афинского ансамбля было связано возвышение города Афин в политическом и экономическом плане, Фидий же придал этому явлению своим творчеством и художественную значимость, символическую. Из этого явления вытекает такое интересное свойство городской скульптуры доминантного принципа, как её символичность. Подобная монументальная, яркая, идейная скульптура часто становится символом целого пространства, от небольших дворишков до целых городов. Так наравне с возвышением города Афины и символизирующей его скульптуры можно провести параллель со скульптурой Иисуса Христа в Рио-де-Жанейро или Статуей Свободы в Нью-Йорке. Такие скульптуры без сомнения, являются символами не только городов но целых государств, оставаясь при этом так же географическим и культурным центром городского пространства.

Если же рассмотреть некую эволюцию расположения доминантного принципа, то можно сделать вывод, что расположение скульптуры в центре города, по мере развития и увеличения городов сменился расположением скульптуры в центре площадей, внутренних дворов. Сам выход памятника или монумента на середину площади, как отмечает В.С. Турчин [7], стал новым явлением в эпоху Барокко. Площади с центральным

расположенными скульптурами образовывали в городе некие полисы, где скульптура часто становилась символом этих пространств. Такое взаимодействие скульптуры-обелиска произошло во многих европейских городах: Вандомская колонна в Париже на Вандомской площади, обелиск капитану Нельсону на Трафальгарской площади в Лондоне, Египетский обелиск на Площадь святого Петра в Риме.

Сегодняшний принцип доминантного расположения позволяет авторам использовать крупный масштаб и глобальность в выражении идей. Современной яркой работой такого типа является скульптура «Ангел Севера» Британского скульптура Энтони Гормли. 30 метровая статуя человека с распростертыми руками возвышается над долинами северной Англии. Монумент простого человека, стоящий в позе распятого Иисуса Христа, где крылья как бы охраняют покой людей несоизмеримых с размерами этого человека – символ почти античный, человека восхваляющий и прекрасный. Данная работа очень точно характеризует взаимосвязь факторов внутри системы «среда-скульптура-человек». Здесь нет архитектуры, важным является то, что в данном случае очевидным становится свойство связи скульптуры с природой, мы читаем её на фоне неба. Таким образом, скульптура обращается к человеку, на фоне величия природы.

Абсолютно иная идея, но аналогичная адресность характерна для недавней работы Р. Серры в пустыне. Ансамбль из высоких 15-метровых строений носит название «Запад – Восток/Восток – Запад» и расположен в 60 км от столицы государства Дохи. Гигантские, одиночно стоящие пластины, отражая бесконечный солнечный свет, словно лезвия космического ножа то ли входят в пустынные барханы, то ли встают из недр земли. Подобные работы, как и работы лэнд-арта, используют монументальность образа, столь характерную для доминантного принципа расположения скульптуры в открытых общественных пространствах.

Нужно отметить, так же, что на современном этапе развития принципа доминирования скульптуры в городской среде выделяются дополнительные факторы-инструменты, которые были не свойственны предыдущим эпохам. Цвет и провокационное содержание – это то, что сегодня отличает скульптуру подобного принципа. В работах немецких дизайнеров Inges Indee есть масса достойных примеров, где именно цвет и оригинальность содержания являются теми инструментами, которые сделали из фасадных скульптур яркие ювелирные украшения гипертрофированного масштаба, и явились доминантными объектами в городской среде.

Принцип интегрирования. При данном принципе скульптура «растворяясь» в системе общественного пространства, является неким невидимым каркасом, элементом, функцией которого является исключительно декоративное предназначение, насыщение городской среды эстетической составляющей, поддержание тектонического строя архитектуры и прилегающего пространства. Данный принцип отчетливо понимается при сравнении с предыдущим принципом доминирования, так у него отсутствует ярко-выраженная форма-содержание на фоне общей системы городской среды. Типичными примерами являются фасадная скульптура: атланты, кариатиды, фризы, фронтонная, фонтанная, садово-парковая скульптура и другие виды убранства архитектурных сооружений и комплексов.

Данный принцип, в большинстве случаев подразумевает расположение скульптуры непосредственно в границах архитектурного сооружения. Такое расположение было характерно со времен античности, когда колонны-кариатиды выполняли не только несущую функцию, но и обогащали эстетический вид здания. Но особую популярность подобная скульптура получила в эпоху средневековья, где отдельно-стоящие от здания скульптура воспринимались как «форма «отпавшая», потерянная, в контексте художественной системы» [7], а скульптура же примыкающая к фасаду носила сакральный смысл единения и преклонения всего материального перед божественным и вечным, иными словами интегрированная.

Современный принцип интегрирования в городской среде открывает новые формы в искусстве скульптуры. В первую очередь, она всё реже имитирует пилястры и колонны и вовсе не старается совпадать со стилистическим решением всего здания. Во вторую очередь, конечно же, при современных технологиях несущая функция скульптуры

используется не с точки зрения необходимости, а скорее как редкий случай замысла архитектора. В таких случаях не стоит относить подобную скульптуру к принципу интегрирования, так как при этом случае скульптура берет на себя не столько декоративную функцию, сколько образующую и порой становится главным элементом отдельного архитектурного сооружения или пространства.

Стоит отдельно отметить роль человека в системе «среда-скульптура-зритель» при данном принципе, как ни странно, зритель подобную скульптуру не замечает в повседневной обыденности, ему нужно приложить немало усилий, чтобы сконцентрироваться на деталях архитектуры или пространства, чтобы вычленить подобные скульптурные объекты, однако данный принцип, несомненно, невидимый, но необходимый элемент, наполняющий художественной содержательностью нашу городскую среду.

Третий принцип расположения скульптуры в открытом общественном пространстве – **принцип симбиоза**. Симбиоз, происходящий в системе «среда-скульптура-зритель» – взаимопроницающий и принципиально содержательный принцип, который основывается в первую очередь на взаимном, равнозначном влиянии отдельно всех элементов системы «среда-скульптура-зритель». При данном расположении скульптура, как объект, формируется уже на месте, в зависимости от того какой она будет для зрителя, и дальнейшее ее восприятие и существование во временном поле зависит от ее влияния на среду. Причем номинальный симбиоз может видоизменяться во времени, вместе с отношением зрителя и архитектуры к этому скульптурному объекту. Характерными примерами являются многие отдельно стоящие скульптурные объекты современности в пределах пешеходных улиц, в непосредственной близости к зданиям.

Предпосылки принципа симбиоза исходят из типичной скульптуры, которая располагалась вблизи зданий в Древнем Египте и во времена Античности. К сожалению подобный отдельно-стоящий тип скульптуры не сохранился, но предположительно в Древней Греции небольшие гермы, в том числе служившие указателями, стояли на перекрестках улиц» [6]. С тех самых пор, пожалуй, аж до конца XIX века подобная скульптура была предана забвению, и только Огюст Роден впервые уменьшив пьедестал, в своей скульптуре «Гражданин Кале» до одной ступени сумел спустить скульптуру с «недосягаемых» зрителю высот на уровень реляций с человеком. Именно в реляционности, в ее непосредственном контакте со зрителем, скульптура принципа симбиоза отличается от других принципов.

Вообще симбиоз, как способ взаимоучастия всех элементов составляющих целостный объект – это завуалированное свойство почти любого вида искусства. Но сегодня, пожалуй, это самый популярный и прогрессивный способ постановки скульптуры в городской среде. Современная скульптура публич-арта, является примером такого симбиотического взаимодействия. Проект поддержки публич-арта, предложенный американским правительством в конце 60 годов, был в первую очередь нацелен на удорожание и повышение значимости территории, на которой располагаются эти объекты. То есть налицо симбиоз с городом, который на тот момент стал «терять» своих граждан и наметилась дезурбанизация американских городов, приводящая к оттоку людей в пригороды. В данном ключе, скульптура публич-арта «возвращала» значимость города в глазах её жителей [8]. Симбиоз с непосредственным зрителем заключался в том, что некая «музейность» данных объектов давала зрителям незапланированное художественное образование, столь необходимое в капиталистическом обществе потребления. Иными словами симбиоз скульптуры и зрителя был связан с просвещением граждан ее наблюдающих.

Другим ярким примером симбиоза является, наполнение скульптуры открытых общественных пространств утилитарными функциями элементов благоустройства. Выполненные в виде всевозможных фонарей, скамеек, мусорных баков и других элементов дизайна городской среды, скульптура открытых общественных пространств становится удобной, нужной в повседневной жизни прохожего.

Четвертый принцип расположения скульптуры в открытом общественном пространстве – **принцип деструкции**. В основе расположения лежит противопоставление элементов внутри системы «среда-скульптура-зритель», разрушение

привычного восприятия архитектурной среды и разрушение привычного восприятия объектов скульптуры в рамках городской среды.

Очень емко данный принцип обозначил современный скульптор Флорентин и Хоффманн: «Моя цель – изменить то, как люди воспринимают то или иное место»^[9].

Примеры принципа деструкции сложно найти в античной или средневековой скульптуре открытых общественных пространств. Это явление смелое, новаторское и произрастает из искусства реди-мейда начала XX века, художники которого заставляли зрителя взглянуть на обыденные вещи по-новому. Здесь же, благодаря несуразному расположению объекта скульптуры в пространстве, его неоднозначной форме, объему, цвету или содержанию или иных выразительных форм, через непонимание и разрушение стереотипного ощущения знакомого места зритель трансформирует свой взгляд и приходит к новым ощущениям места, скульптуры и, что принципиально, себя в нем.

Основной особенностью современной интерпретации этого принципа является то, что находясь непосредственно в зоне человеческих передвижений, взаимодействие в системе «среда-скульптура-зритель» таково, что ни среда, ни отношение зрителя не является продуманным взаимодействием, скорее наоборот, результат непредсказуем, разнообразен и иногда провокационен. В данном контексте стоит отметить, что пешеход не всегда готов к восприятию скульптуры на уровне своих будней. Данный принцип подразумевает случайного зрителя. Сама же форма скульптуры почти всегда является противопоставленной окружающему пространству.

Сегодня это яркие примеры паблик-арта, стрит-арта, жанровой скульптуры. Даже являясь неорганичными, кричащими подобные объекты являются как бы встроенными в среду, скульптура исполняет роль чуткого проводника между зрителем и окружающим пространством.

Пятый, заключительный принцип, который хочется рассмотреть в этой статье – **номадический принцип**. Вообще, номадизм – это явление, оригинальная тенденция, свойственная скульптуре городского пространства лишь в последние десятилетия. В этой связи, представляют определенный интерес теоретико-искусствоведческие труды Розалинд Краусс. По мнению исследовательницы, в XX веке понятие скульптуры как мемориальной репрезентации существенно трансформируется. Если «традиционная» скульптура предполагала наличие постоянного «места», то скульптура современная, изменяет постоянное «место» на «место» номадическое, иными словами «кочует» [9]. Такая трансформация радикальным образом отличает искусство скульптуры XX века от скульптуры предшествующих столетий в целом. И именно данная трансформация смена местонахождения называется – номадизм.

Как же на деле происходит это самое «перемещение» скульптуры? Стоит отметить, что это происходит двумя путями: либо физическое изменение месторасположения скульптуры без изменения формы, либо изменение самой формы скульптуры относительно её места расположения. И в том и в другом случае, происходит передвижение скульптуры относительно, изменение её местонахождения во времени. Иными словами мы можем сказать, что это некий не стабильный, а мобильный принцип расположения скульптуры, но дело в том, что нестабильность или даже хаотичность – это так же является своеобразным порядком и закономерностью.

Достаточно просто представить первый вариант номадизма когда, один и тот же образ скульптуры выставляется в разных точках планеты одновременно, или одна и та же скульптура периодически экспонируется, тем самым является временной. Второй вариант номадизма – это одновременность нахождения одной и тоже скульптуры, но в разных уголках нашей планеты. Это тиражирование, повторение, которое связано с тем, что современная скульптура сегодня неотделима от искусства массового производства, дизайна. Так, например, американский художник-скульптор Д. Кунс, на протяжении уже долгого времени создает целую серию своих однотипных скульптур сделанных из стали, но имитирующих надувные шары, расставляет их там, где этого требует время. В этом заключается особенность, вытекающая из тенденции номадизма – стремление производить шедевры в огромных количествах. Подобный принцип выливается уже в целое направление дизайна, который и обращается к искусству, и называется

people-friendly [10]. Кто-то может пойти на аукцион и приобрести там скульптуру модного художника за миллион-другой долларов, а кто-то зайдет на сайт и купит уменьшенную копию той же работы всего за пару сотен. Стоит заметить, что в данном случае скульптура теряет некую оригинальность, но приобретает дополнительную массовую популярность.

Что касается номадизма, как формы относительно месторасположения, то к этому принципу относятся кинетические, интерактивные скульптуры, инсталляции и те объекты, форма которых изменяется с течением времени. Иными словами – это буквальное изменение формы во времени, её движение, а иногда и исчезновение, если речь идет о скульптурных инсталляциях. Так, например, бразильская художница Нили Аживеду с 2003 года создает скульптурную инсталляцию небольших ледяных скульптур под названием «Монумент Минимум», которые существуют лишь несколько часов, пока не растают. Здесь яркий пример номадизма формы во времени.

Вообще, время, как четвертое измерение это, пожалуй, основной инструмент номадизма. В течение всего двадцатого века многие художники и скульпторы так отважно пытались материализовать это понятие: Александер Колдер, Ники де Сент Пале, Александр Родченко создавали подвижные проекты, но пожалуй только сегодня и благодаря инструментам интерактивности, медиа-технологий, интернета это измерение нашло свой самый естественный и максимальный выход в скульптурных объемах, которые, изменяясь погружают нас в сложное и неосознанное понятие искусства движущегося и изменяющегося во времени.

Добавим, что номадизм, также является реакцией мира скульптуры на популярные тенденции в медиа-искусстве [11], в мире высоких технологий. Это связано с тем, что после сложного этапа постмодернизма, когда искусство бесконечно искало свою форму, и в итоге сконцентрировавшись на концепции, такие простые виды дизайна и массового развлечения, как телевидение, реклама, интернет ушли далеко вперед и обогнали искусство в популярности. Сегодня ничего не остается, как теми же инструментами, что используют современные медиа-технологии пользоваться художникам в искусстве скульптуры. Современного пешехода очень трудно остановить типичной бронзовой статуей, его трудно даже остановить нетипичной абстрактной формой, ведь в кармане у пешехода лежит телефон, на его пути умело работает интерактивная реклама, и все жизненные его циклы на прямую связаны со сферой медиа-услуг и другими яркими элементами массового потребления. Наверное, поэтому, новые технологии неизбежно врываются в искусство и в скульптуру в частности формируют новые принципы не только расположения, как в данном случае, но и остальные более наглядные принципы, к примеру формообразования. Скульптурных примеров подобных явлений достаточно много. Флорентин Хоффман со своей работой номадического утенка, путешествующего по всему миру [12] или Дэвид Черны, который используя кинетические приемы, заставляет свои объекты двигаться, совмещаясь с уникальной интересной концепцией. Его знаменитая работа головы Франца Кафки, в блестящем, черном материале, в которой отражается город Прага – яркий тому пример [13].

В заключении, хочется отметить, что выведенные пять принципов, находили предпосылки своего возникновения задолго до формирования современного общества, но являются актуальными именно в современных открытых общественных пространствах архитектурной среды. Данные принципы, основываясь на взаимоотношениях между городской средой, человеком и самой скульптурой, являются неким зеркалом отражения взаимодействия между обществом, искусством и человеком. Эта сложная зависимость носит часто философский характер, но всегда является объективной оценкой положения вещей внутри этой системы. Хочется отметить, что основой чертой взаимодействия системы «среда-скульптура-человек» на сегодняшний день является его реляционность. Таким образом, подобные принципы расположения являют скульптуру реляционную, сферой действия которой являются человеческие взаимоотношения с её социальным контекстом. Стоит так же отметить, что, конечно же, выведенные принципы расположения скульптуры в открытых общественных пространствах не являются категоричными. В современном скульптурном творчестве, в городской среде возможно

использование любого из пяти принципов в одном объекте одновременно, что доказывает разнообразие, свободу и новаторство самовыражения современных авторов.

Список библиографических ссылок

1. Бринкаман А. Э. Площадь и монумент как проблема художественной формы. М. : Издательство всесоюзной академии архитектуры, 1935. 296 с.
2. Иконников А. В. Искусство, среда, время: Эстетическая организация городской среды. М. : Советский художник, 1985. 336 с.
3. Краусс Р. Подлинность авангарда и другие модернистские мифы. М. : Художественный журнал, 2003. 320 с.
4. Котломанов А.О. Паблик-арт: страницы истории // Вестник СПбГУ. Сер. 15. 2015. Вып. 1 С.54-71
5. Гройс Б. Публичное пространство: от пустоты к парадоксу. М. : Strelka Press, 2014. 20 с.
6. Романенко. Е. Скульптура в городе. М. : Советский художник, 1990. 384 с.
7. Турчин В. Монументы и города. М. : Советский художник, 1982. 160 с.
8. Claire Doherty. Public Art (Now): Out of Time, Out of Place. L. : Art/Books, 2015. 256 с.
9. Rosalind E. Krauss. Passages in Modern Sculpture. C. : The MIT Press, 1981. 320 с.
10. Anna Moszynska. Sculpture Now. L. : Thames & Hadson, 2015. 232 с.
11. Фостер Х., Краусс Р. и др. Искусство с 1900 года: модернизм, антимодернизм, постмодернизм. М. : Ад Маргинем Пресс, 2015. 816 с.
12. Гиганты Флорентина Хофмана // [vltramarine.ru](http://www.vltramarine.ru) : ежедн. интернет-изд. 2012. URL: <http://www.vltramarine.ru/mag/art/sculpture/82>
13. Behold the Kinetic, 39-Ton Statue of Franz Kafka's Head, Erected in Prague: Artist David Černý's Latest Creation // [openculture.com](http://www.openculture.com): ежедн. интернет-изд. 2016. URL: <http://www.openculture.com/2016/05/behold-the-kinetic-39-ton-statue-of-franz-kafkas-head.html>.

Ibragimova A.F. – post-graduate student

E-mail: stasiaibragim@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The location principles of the urban sculpture in the open public spaces of the architectural environment

Abstract

Problem statement. Identify the characteristic principles of the location of urban sculpture in open public spaces of the architectural environment.

Results. Deduced the basic principles of the sculpture's location in the open public spaces in the architectural environment: domination, integration, symbiosis, destruction and nomadism.

Conclusions. The significance of the deduced principles for the theory and history of architecture lies in the fact that the formulated concepts based on the relationship between the elements of the «environment-sculpture-human» system represent a kind of «mirror» reflecting the contemporary interaction between the architectural environment, society and the art of sculpture.

Keywords: architectural environment, urban sculpture, monumental sculpture, monumental and decorative sculpture, architecture, monument, open public space, city design, public art, urban environment.

References

1. Brinkaman A. Square and the monument as a problem of the art form. M. : Publishing house of the all-union academy of architecture, 1935. 296 p.
2. Ikonnikov A. V. Art, environment, time: Esthetic organization of the urban environment. M. : Sovetskiy khudozhnik, 1985. 336 p.
3. Krauss R. Authentic avant-garde and other modernist myths. M. : Khudozhestvennyy zhurnal, 2003. 320 p.
4. Kotlomanov A.O. Public art: pages of history // Vestnik SPbGU. Ser. 15. 2015. Vol. 1. С. 54–71
5. Groys B. Public space: the emptiness of a paradox. M. : Strelka Press, 2014. 20 p.
6. Romanenko E. The monument in the city. M. : Sovetskiy khudozhnik, 1990. 384 p.
7. Turchin V. Monuments and city. M. : Sovetskiy khudozhnik, 1982. 160 p.
8. Claire Doherty. Public Art (Now): Out of Time, Out of Place. L. : Art/Books, 2015. 256 p.
9. Rosalind E. Krauss. Passages in Modern Sculpture. C. : The MIT Press, 1981. 320 p.
10. Anna Moszynska. Sculpture Now. L. : Thames & Hadson, 2015. 232 p.
11. Hal Foster, Rosalind Krauss, etc. Art since 1900. Modernism, anti-modernism, post-modernism. M. : Ad Marginem Press, 2015. 816 p.
12. Giants of Florentina Hoffmann // vltramarine.ru : daily. internet-edit. 2012. URL: <http://www.vltramarine.ru/mag/art/sculpture/82>.
13. Behold the Kinetic, 39-Ton Statue of Franz Kafka's Head, Erected in Prague: Artist David Černý's Latest Creation // openculture.com : daily. internet-edit. 2016. URL: <http://www.openculture.com/2016/05/behold-the-kinetic-39-ton-statue-of-franz-kafkas-head.html>.



УДК 721

Габдрахманова И.И. – студент

E-mail: ilsiyarrakhimova@gmail.com

Ахтямов И.И. – доцент

E-mail: e.achti@gmail.com

Ахтямова Р.Х. – старший преподаватель

E-mail: rezeda_akhtiamova@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Адаптивная архитектура, как реакция города на изменяющиеся запросы общества

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является поиск решений адаптации города постоянно изменяющимся запросам общества и выявление основных видов адаптивной архитектуры на основе анализа разработок, проектов зарубежных и отечественных архитекторов и исследователей в области адаптивной архитектуры.

Результаты. В ходе работы выявляются основные виды адаптивной архитектуры (временная, цифровая и реанимирующая архитектура). Как результат работы, предлагаются обобщенные модели, демонстрирующие преимущества реанимирующей архитектуры перед капитальным строительством.

Выводы. Отказ от строительства с нуля в пользу внедрения адаптивной архитектуры в существующую застройку города позволяет приспособить потерявшую актуальность типологию зданий под новые потребности общества, повысить социальную активность в деградирующих районах, сохранить пространственные ресурсы и бороться с расползанием городов.

Ключевые слова: адаптивная архитектура, временная архитектура, цифровая архитектура, реанимирующая архитектура.

В современных мегаполисах, в которых быстрыми темпами возрастает динамичность ритма жизни, актуальными становятся подвижность, легкость, изменяемость. В результате глобализации и демократизации мир становится более открытым, а человек менее зависимым от места, что приводит к возрастанию мобильности общества и стиранию границы между домом и рабочим пространством. Развитие науки, появление новых информационных технологий открывают перед человечеством большие возможности идти в ногу со временем. А согласно исследованиям в области футуристического прогнозирования, потребности человека будущего будут сильно отличаться от потребностей человека сегодняшнего дня. В связи с изменениями взгляда общества на окружающий мир, потребуются новый подход в проектировании [1].

Однако следует констатировать тот факт, что не все города, в том числе и Казань, способны быстро адаптироваться в связи с происходящими изменениями в обществе. Архитектура не всегда успевает среагировать на все возрастающую «мобильность» общества в целом и человека в частности, а также постоянным изменениям запросов общества. Строящиеся сейчас капитальные сооружения могут потерять актуальность через несколько лет, и для нового строительства понадобятся новые территории. Новое строительство – это не только дорогостоящий процесс, но и значительный вред для экологии. Оно приводит к расползанию городов, сокращению пространственных ресурсов, увеличению протяженности транспортных коммуникаций. А капитальное строительство не способно быстро перестраиваться под изменения в жизни города. Подтверждением вышесказанного может служить проблема устаревания типологии зданий, характерная для многих российских городов.

По мнению авторов, одним из эффективных методов борьбы с вышеперечисленными проблемами выступает внедрение адаптивной архитектуры в существующую структуру города. В связи с этим тема исследования адаптивной архитектуры приобретает большую актуальность.

Термин «адаптивность» член СА РФ А.В. Панфилов в своей диссертации определил как «приспособленность объекта к изменению или воздействию новых внешних или внутренних раздражителей, изменяющимся условиям функционирования». В архитектуре же термин адаптация имеет более сложное значение. Адаптивная архитектура (Responsive architecture) – это архитектура, которая способна изменять свою форму, адаптироваться в зависимости от изменения условий эксплуатации [2]. Термин «Адаптивная архитектура» был введен американским информатиком Николасом Негропonte в конце 60-х годов XX века, когда в архитектуре и дизайне начали применять кибернетику. Негропonte предлагал интегрировать в архитектуру вычислительные технологии для построения более сложных форм и структур, но с более эффективным и рациональным методом эксплуатации. А японский архитектор и метаболист Кисе Курокава считал, что только метаболический подход к строительству способен создавать архитектуру, которая будет адаптироваться под социальные, экономические изменения в обществе. Он сравнивает архитектуру с живыми организмами, которые приспособляются к изменяющимся условиям внешней среды. «Метаболический подход – это способ решить проблему морального старения архитектуры и последующего ее разрушения» [3]. Данные мысли можно проследить в капсульных системах Кисе Курокавы, где сочетаются два элемента: статичная основа и гибкая система ячеек, способных к перемещению и замене.

Область адаптивной архитектуры интересует и архитектора, члена СА РФ А.В. Панфилова. В своих трудах он говорит об архитектуре, способной приспособляться, об интерактивной архитектуре. Под термином «приспособляемость» он имеет в виду архитектуру, которая самоадаптируется, а под термином «интерактивность» понимает внутреннюю и внешнюю адаптацию объекта при его взаимодействии с окружающей средой посредством пользовательского интерфейса с системой обратной связи. А.В. Панфилов утверждает, что это могут быть трансформации, связанные с изменением социального состава семьи, статуса человека, эмоционального состояния человека, моды и т.д. [4].

Вопросам мобильности общества в городе, архитектуре, адаптирующейся под изменения запросов общества, также посвящены труды таких теоретиков архитектуры и архитекторов практиков, как В.Л. Глазычев, О.Н. Яницкий, У.Дж. Митчелл, С. Маккуайр, Л. Вирт, Ф.Л. Райт. Сделаны научные публикации А.В. Панфилова; И.И. Колосовой, Е.А. Шкиро; Н.А. Попковой; М.В. Ашировой, Г.Н. Айдаровой; Л.Р. Гиззятовой, С.Г. Шабиева, А.В. Олещенко и т.д.

Следует отметить, что адаптивная архитектура способна проявляться в результате нескольких причин. Во-первых, адаптивной называется архитектура, которая возникает тогда, когда появляется потребность общества в ней. Например, после стихийных бедствий, пострадавшие нуждаются во временном убежище, до восстановления своего жилья. Во-вторых, развитие информационных технологий позволяет сделать архитектуру более гибкой, способной адаптироваться под изменения окружающей среды и условия эксплуатации. В-третьих, архитектура может появляться в структуре уже существующей, но потерявшей актуальность застройки и адаптировать ее под новые запросы общества. Таким образом, под термином «адаптивная архитектура» в статье предполагается понимать архитектуру, которая способна изменять свою форму, структуру в зависимости от внешних факторов или приспособлять то пространство, в которое она внедряется, под изменяющиеся запросы общества. Под запросами общества следует понимать социальные, экономические, культурные и др. потребности людей. В связи с этим авторами были выделены основные виды адаптивной архитектуры:

1. Временная архитектура:
 - а) Архитектура быстрого реагирования;
 - б) Мобильная архитектура;
 - в) Временная архитектура общественного назначения.
2. Цифровая архитектура.
3. Реанимирующая архитектура:
 - а) Архитектура-«паразит»;
 - б) Архитектура-«симбионт»;
 - в) Архитектура-«сапрофит».

1. «Временная архитектура – по определению недолговечные постройки, собранные из лёгких материалов (дерево, тростник, ткань, пластик, бумага), выполняющие сезонные или событийные функции». «Временная архитектура – это ответ на запросы динамического «кочевого» образа жизни и возможность экспериментировать с материалами и формой, выражая ценности и цели эпохи» [5]. В данной статье рассматривается временная архитектура, адаптирующаяся под изменения внешних социальных, экономических и экологических факторов, а именно архитектура быстрого реагирования, мобильная архитектура, временная архитектура общественного назначения.

«Архитектура быстрого реагирования – это архитектура временных, быстровозводимых жилых объектов и поселений как оказание первой помощи в условиях природных и социально-национальных катаклизмов, коммунальных катастроф (маневренный жилой фонд), а также при проведении культурных и спортивных мероприятий со значительным притоком туристов. Это разворачивание в кратчайшие сроки временных лагерей на нейтральных территориях, временных жилых модулей в условиях городской среды» [6].

В последние годы, в связи с нестабильной экономической и политической обстановкой в мире, развивается область предоставления жилья беженцам и мигрантам из других стран. А в странах, где случаются природные катаклизмы, архитектура быстрого реагирования становится единственным решением во время эвакуации людей и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Архитектором, который работает в этой области, выступает японец Сигеру Бан. Он известен своими проектами, в которых для строительства использовал такие материалы, как бамбук, бумага, пластик, фанера и полиэтилен. Разработанные им конструкции позволяют в короткие сроки соорудить недорогое жилье для беженцев, пострадавших от стихийных бедствий в Японии, Африке, Турции, Индии. Теме архитектуры быстрого реагирования Сигеру Бан уделяет главенствующее внимание в своей карьере. Он не только помогает пострадавшим, но и выступает защитником природы, учитывая экологический аспект в своих постройках, например повторное использование материалов. Также следует отметить, что, создавая дешевое жилье, он не забывает и об эстетике архитектуры. Его объекты хоть и простые, но эстетически выразительные, часто обращаются к традиционным особенностям местной культуры.

К архитектуре быстрого реагирования также относятся временные постройки, разворачивающиеся во время проведения культурных и спортивных мероприятий. К таковым следует отнести мобильные сцены, эстрады, трибуны, торговые шатры, быстровозводимые сборно-разборные павильоны (преимущественно из пневмокаркаса) и т.д.

Следующим видом построек временного характера выступает мобильная архитектура – это ответ на всевозрастающую динамичность образа жизни городских жителей, а также постоянным изменениям запросов общества. Наиболее распространенным видом мобильной архитектуры на сегодняшний день становится мобильное жилье. Связано это и с тем, что в современных мегаполисах постепенно стираются границы между домом и работой. Города конкурируют между собой за высококвалифицированные кадры, предлагая наиболее выгодные условия, что приводит к постоянному движению специалистов. Следовательно, увеличивается и спрос на мобильное жилье.

Определение мобильного жилья архитектор и член СА РФ А.В. Панфилов разделил на три уровня:

1-й (внешний) уровень – это индивидуально переносимое минимальное жилище с минимальными площадями и максимальным показателем объемной трансформации (палатка, скафандр, жилая ячейка-капсула);

2-й уровень – жилье способное к перемещению;

3-й уровень – жилье в качестве сборно-разборного здания.

На территории России мобильное жилье в основном применяется в северных районах или на строительных площадках для заселения рабочих бригад. Самым распространенным видом выступают бытовки. А в США и странах Западной Европы, к примеру, областью применения мобильного жилья для временного пребывания становятся туристическая отрасль, коммерческое и индивидуальное строительство [7]. В данном случае первенство занимают морские контейнеры. В США активно практикуется

трейлеры – жилье на колесах. Основными характеристиками, отличающими временное жилье (архитектура быстрого реагирования и мобильное жилье) от постоянного, выступают компактность, доступность, быстровозводимость.

К мобильной архитектуре относится также уличная архитектура, а именно лавки, киоски, которые направлены на сферу торговли и услуг и появляются как адаптация города расцвету коммерческой деятельности. Как писала архитектор Даша Парамонова расцветом уличной мобильной архитектуры в России можно назвать период развития коммерческого функционализма, радикальным проявлением которого стало явление под названием «грибы». «Грибы – это разнообразные, преимущественно временные постройки, обслуживающие товарно-денежные отношения горожан, это материализованная реакция на способность городского пространства приносить прибыль. Грибы похожи на живые организмы, приспособляющиеся к свойствам среды, состояние которой никак не регулируется извне». Они «вырастают» в различных точках города, где отсутствует контроль. Но следует отметить, что беспорядочное распространение архитектурно не примечательных элементов мелкой торговли отрицательно сказывается во внешнем облике городских улиц, нарушая их целостность [8].

Тема модульности и мобильности уличного оборудования поднимался и художниками-производственниками XX века. Интересен пример словенского архитектора и дизайнера Саши Мэхтиг, который разработал дизайн модульного киоска К67. Данные киоски были выполнены из армированного полиэстера и полиуретана и создавали систему из пяти модулей. Модульность позволяла использовать их по отдельности или объединять в группы, образуя разные конфигурации. Выпущенные в массовое производство в 1967 году киоски К67 предназначались для продажи газет, цветов, еды, для размещения в них небольших мастерских, платежных терминалов, билетных касс и т.д. стали бестселлером во многих странах и за пределами Словении, в основном в странах Восточной Европы и бывшего СССР. Иногда эти киоски встречаются и в Западной Европе, США, Японии, даже Новой Зеландии» [9]. Ставшая дизайн-символом той эпохи Восточной Европы система К67 перестала выпускаться в 1990-х гг.

Еще одним ярким примером уличной мобильной архитектуры стала разработка городского оборудования для экспериментального жилого района Дигоми, г. Тбилиси, которая была выполнена группой дизайнеров ВНИИТЭ под руководством Д. А. Азрикана. Главной задачей было создать живую среду, способную к трансформации. В результате этой работы были предложены образцы универсального городского оборудования (сиденья, столы, кабины, навесы, перголы, киоски, детские площадки, носители визуальных коммуникаций, комплексы оборудования дворов, пассажей, улиц, транспортных остановок) для самых различных ситуаций жизнедеятельности человека в городской среде [9].

Помимо жилых, временные сооружения могут быть и общественного назначения. К таковым относятся выставочные и торговые павильоны, малые архитектурные формы временного характера. Роль временных сооружений в развитии архитектуры гораздо значимее, чем это может показаться на первый взгляд. Подтверждением данного высказывания можно назвать временные павильоны, строившиеся на территории Serpentine Gallery в Лондоне а также павильоны всемирной выставки ЭКСПО. Экспериментальная архитектура павильонов имела дело с новыми концепциями, новыми методами и материалами. Она в меньшей степени была связана с ограничениями техники и работала за пределами установленных правил и стандартных решений проблем архитектурной проектной деятельности. Павильоны можно рассматривать как лаборатории для проведения экспериментов в области архитектуры, с целью открыть новые возможности в проектировании пространства будущего. Павильоны Serpentine предназначались для изучения идей в рамках процесса разработки, ограниченных по времени и бюджету. Это заставляло архитектора искать новые подходы и новые методы [10].

2. Цифровая архитектура (digital architecture) – это направление в архитектуре, в основе которого лежат цифровые технологии, участвующие как на уровнях проектирования и возведения объекта, так и при его эксплуатации.

Скотт Маккуайр в своей книге «Медийный город» писал что «весь XX век архитекторы-авангардисты мечтали о «городе в движении». И выделил несколько путей

достижения этой цели. Первый путь представлял собой «портативные» структуры и «мобильные дома». Второй путь состоял в создании полифункционального пространства с помощью новых материалов и методов проектирования. Третий путь был направлен на использование медиа и компьютерной техники в процессе проектирования и дизайна. Автор считает, что появившиеся позже и очень актуальные сейчас социальные сети не только позволили создать среду, реагирующую на потребности пользователей, но и стали причиной централизованного контроля над городом и его обитателями. «Текущий город, порожденный приоритетом мобильности в современном обществе, может отражать не только новую социальную свободу, но и всеохватность механизмов контроля» [11].

Идеи городов будущего интересовали и такую известную личность как Питер Кук. В начале 1960-х Кук и его коллеги выпускали журнал под названием Archigram, которая была направлена на создание концепций идеальных городов. Центральным звеном будущего города они видели «развитое потребительское общество». В связи с этим главной задачей было придумать городскую структуру, где получение всех материальных благ было максимально комфортным и быстрым. Назвали они этот город Plug-in-City. Этот город давал возможность выбирать в меню сетевых услуг пространство, необходимое для удовлетворения различных потребностей (от жилых капсул до полноценных госучреждений). Представлялось, что состав пространств постоянно менялся, что приводило к внешним и внутренним трансформациям. «Весь цикл функционирования рассчитан примерно на 40 лет: за это время город успевает не только устареть, но и самообновиться» [12].

3. Сегодня постепенно развивается общемировая тенденция переосмысления имеющихся ресурсов городов. В связи с этим в статье авторы особое внимание уделяют реанимирующей архитектуре. Авторы придерживаются лозунга, с которым выступил французский архитектор Стефан Малка, что необходимо отказаться от строительства с нуля и перейти на новый уровень проектирования, где рассматривается взаимосвязь архитектуры с уже существующими объектами.

Реанимирующая архитектура – это архитектура, которая способна исцелить деградирующие районы города, привить новую жизнь. Она внедряется в слабые точки города, подобно гетеротрофным микроорганизмам (паразиты, симбионты, сапрофиты) подключается к вертикальным коммуникациям и инженерным сетям существующей застройки, с целью повысить социальную активность проблемного района и выявить потенциал развития места. Реанимирующая архитектура не наносит вред «зданию-хозяину», так как в полной мере зависит от него, а наоборот, он способствует оживлению района: внедрению новых функций, привлечению потребителей и разнообразных видов деятельности.

Реанимирующая архитектура по способу взаимодействия с существующей застройкой напоминает гетеротрофные микроорганизмы. В связи с этим можно привести классификацию, где происходит разделение архитектуры-паразитов, архитектуры-симбионтов и архитектуры-сапрофитов:

1) Архитектура-паразит.

Паразит – это организм, живущий на поверхности или внутри другого организма и питающийся за его счет. В архитектуре же термин «паразит» имеет более сложное значение и выступает одним из решений проблемы адаптации города постоянно изменяющимся запросам общества. Немецкий архитектор и планировщик городов Матиас Освальд считал, что паразитная архитектура – посредник между изменениями в обществе и в городской системе. Они внедряются в существующую застройку, прикрепляется к инженерным сетям и вертикальным коммуникациям здания-хозяина, но при этом не приносит пользу. Примером данного типа паразитной архитектуры, ярко выраженным в России, выступает самострой – несанкционированное строительство, преимущественно в форме пристройки к капитальному сооружению.

В европейских же странах паразитная архитектура активно используется в качестве убежищ для бездомных. Одним из архитекторов работающих в этом направлении можно назвать француза Стефана Малка. Проекты вертикального лагеря А-КАМР47 для г. Марселя, а также Bow House в г. Херлен (Нидерланды), сооруженные из ранее использованных окон и дверей, не единственными примерами в области паразитной

архитектуры. Ярким примером для г. Лондона выступает проект модульных приютов для бездомных, которые разработал архитектор James Furzer. Выполненные из подручных материалов модули прикрепляются к наружным стенам существующих зданий и обеспечивают безопасное убежище для бездомных во время ночного отдыха, защищая их от суровых и непредсказуемых погодных условий Великобритании [13]. Все эти проекты направлены не только на предоставление социальной помощи, оказавшимся в беде людям, но и на насыщение городского пространства, смешение разных социальных категорий, а также вторичное использование материалов при строительстве.

2) Архитектура-симбионт.

Симбионт – это участник симбиоза. А симбиоз – это форма взаимоотношений, где обе стороны извлекают для себя пользу. Нередко симбиоз называют сотрудничеством. Такую форму взаимодействия можно встретить и в архитектуре, когда архитектура-симбионт внедряется в существующую застройку, прикрепляется к инженерным сетям и вертикальным коммуникациям здания-хозяина и «сотрудничает» с ним.

Примером архитектуры-симбионтов выступают MuReRe Houses – социальное жилье, надстроенное на крышах жилых домов в г. Буэнос-Айрес (Аргентина). Подобные сооружения, выступающие в качестве дешевого жилья, используют инфраструктуру основного здания и, в свою очередь, служат дополнительным источником энергии. Кровля, выполненная под разными углами, позволяет собирать дождевую воду, и размещать солнечные батареи.

Также к архитектуре-симбионтам можно отнести висячие сады на фасадах, надстроенные сады на крышах. Для их существования необходимы инженерные сети существующего здания, а взамен они дают продукты питания и выступают в качестве естественных фильтров воздуха.

3) Архитектура-сапрофит.

Сапрофит – это микроорганизм, питающийся мертвыми органическими веществами. Архитектура-сапрофит – это архитектура, которая внедряется в уже переставшую функционировать застройку, например в бывшие фабрики, склады, промышленные объекты. При этом имеет цель оживить деградирующую территорию, внедрить новые функции.

Авторы предлагают обобщенные модели, которые демонстрируют преимущества реанимирующей архитектуры перед капитальным строительством:

1. Реанимирующая архитектура выступает в качестве элемента, который способен решить проблему утратившей актуальность типологии. Она пристраивается, надстраивается к существующей застройке, нарушая однообразность облика старой типологии и насыщая ее дополнительной функцией (рис. 1).

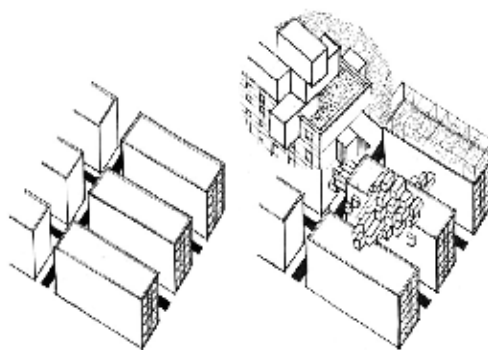


Рис. 1. Борьба со старой типологией (авторская разработка)

2. Отказ от освоения новых земель для нового строительства, выявление проблемных районов уже существующей застройки и потенциал их развития позволяет заполнить «белые пятна» в городской структуре за счет внедрения реанимирующего типа адаптивной архитектуры (рис. 2).

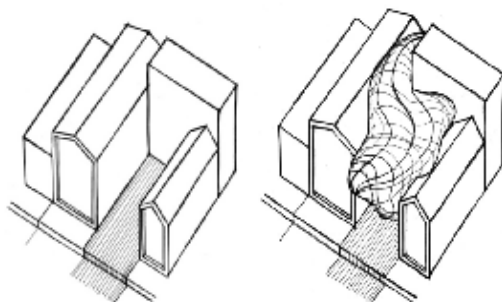


Рис. 2. Заполнение «белых пятен» в структуре города (авторская разработка)

3. Отказ от освоения новых земель в пользу уплотнения города, а также смешение разных функций на одном месте за счет внедрения реанимирующей архитектуры позволит бороться с расплыванием городов. Следовательно, станет причиной сокращения протяженности транспортных коммуникаций, экономии пространственных, временных ресурсов и положительно отразится на состоянии экологии (рис. 3).

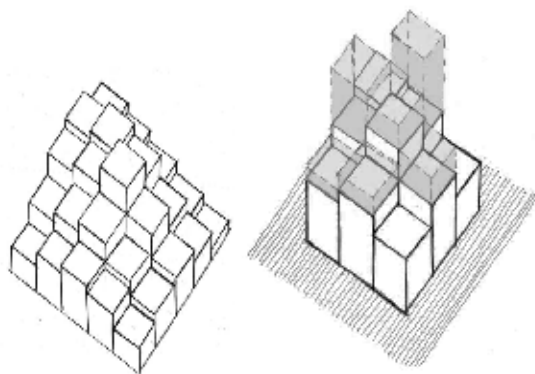


Рис. 3. Борьба с расплыванием городов (авторская разработка)

4. Реанимирующий тип адаптивной архитектуры способен дать «новую» жизнь зданиям, переставшим функционировать по каким-либо причинам, но имеющим культурную или историческую ценность. В данном случае основное здание используется лишь в качестве остова, на который «надстраивается» новая архитектура с новой функцией (рис. 4).

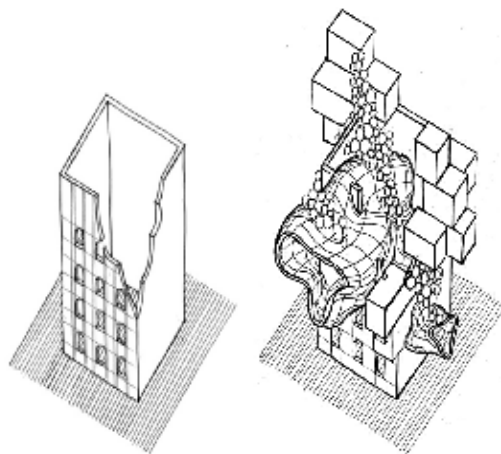


Рис. 4. «Новая жизнь» старого здания (авторская разработка)

5. Реанимирующая архитектура способна решить проблему социального обеспечения, возникшую в результате перенаселения городов. Максимальное качественное использование городского пространства, крыш существующих зданий позволит разместить значительное количество доступного жилья.

6. Реанимирующая архитектура, в отличие от капитального сооружения, способна изменяться и адаптироваться в процессе эксплуатации. Это может быть как механическая трансформация, так и временный характер, который позволяет собрать и разобрать здание при необходимости.

Заключение

Таким образом, адаптивная архитектура выступает в качестве альтернативы капитальному строительству, и позволяет предложить новую типологию жилых зданий, отвечающих изменениям запросов общества. Отказ от строительства с нуля и внедрение адаптивной архитектуры в существующую застройку имеет экономические (строительство – это дорогой процесс) и экологические преимущества (пространственные ресурсы), позволяет выявить слабые (деградирующие) районы города и потенциал развития места, тем самым, решить проблемы расползания городов и увеличения протяженности транспортных коммуникаций. Помимо решения экологических и экономических проблем адаптивная архитектура выступает и в качестве социальной помощи, предоставляя доступное жилье разным социальным категориям.

Список библиографических ссылок

1. Денисенко Е. В. Биотехногенный модуль обитания XXI века // Архитектон: известия вузов. 2012. № 40. С. 13–21.
2. Sterk T. Building upon Negroponte: a hybridized model of control suitable for responsive architecture // eCAADe 21, Digital design. 2003. С. 407–413.
3. Попкова Н. А. Симбиоз природы и архитектуры в философии Кисе Курокава // Архитектон: известия вузов. Приложение Июль 2014. № 46. URL: http://archvuz.ru/2014_22/2 (дата обращения: 24.07.2017).
4. Панфилов А. В. Мобильная архитектура – архитектура адаптивная // Архитектон: известия вузов. Приложение Июль 2011. № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/18 (дата обращения: 20.01.2017).
5. Шкляр Е. Н. Временная архитектура как визуальный текст // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время Т. 10. 2015. № 1. URL: http://jspacetime.com/actual%20content/t10v1/2227-9490e-aprov_r_e-ast10-1.2015.112.php (дата обращения: 20.05.2017).
6. Аширова М. В., Айдарова Г. Н. Архитектура быстрого реагирования: концепция временного мобильного жилья в условиях чрезвычайных ситуаций // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 17–22.
7. Панфилов А. В. Классификационная модель мобильного жилища для временного пребывания // Архитектон: известия вузов. Приложение Июль 2011. № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/17 (дата обращения: 06.10.2016).
8. STRELKA Сборник 2013. М. : Strelka Press, 2013. 352 с.
9. Сазиков А. В. Модульный киоск // LiveJournal. 2016. URL: <http://sazikov.livejournal.com/5173.html> (дата обращения: 07.05.2017).
10. Gonca Z. T. Temporary architecture: The Serpentine Gallery Pavilions. 2013. 140 с.
11. Маккуайр С. Медийный город: медиа, архитектура и городское пространство. М. : Strelka Press, 2014. 392 с.
12. Облачева М. Утопия. Plug-in-City. Питер Кук, Archigram // Wallpaper Русское издание. 2006. URL: http://archi.ru/press/world/1988/journalist_present.html?id=313 (дата обращения: 10.05.2017).
13. Mairs J. James Furzer to crowdfund parasitic sleeping pods for London's homeless // Dezeen. 2015. URL: <https://www.dezeen.com/2015/08/19/james-furzer-crowdfund-parasitic-sleeping-pods-london-homeless-indiegogo/> (дата обращения: 01.12.2016).

Gabdrakhmanova I.I. – student
E-mail: ilsiyarrakhimova@gmail.com

Akhtiamov I.L. – associate professor
E-mail: e.achti@gmail.com

Akhtiamova R.Kh. – senior lecturer
E-mail: rezeda_akhtiamova@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Adaptive architecture, as a reaction of the city to changing needs of society

Abstract

Problem statement. The purpose of this work is to find solutions to the city's adaptation to the ever-changing needs of society and to identify the main types of adaptive architecture on the basis of analysis of projects of foreign and domestic architects and researchers in the field of adaptive architecture.

Results. In the course of the work, the main types of adaptive architecture are identified (temporary, digital and reanimating architecture). As a result of the work, generalized models are offered that demonstrate the advantages of the reanimating architecture comparing to capital construction.

Conclusions. The refusal of construction on the new territory in favor of the introduction of adaptive architecture in the existing building of the city makes it possible to adapt the outdated typology of buildings to the new needs of society, to increase social activity in degrading areas, to preserve spatial resources and to strive with the problem of sprawling cities.

Keywords: adaptive architecture, temporary architecture, digital architecture, reanimating architecture.

References

1. Denisenko Ye. V. A 21st century biotechnogenic residential module // *Arkhitekton: izvestiya vuzov*. 2012. № 40. P. 13–21.
2. Sterk T. Building upon Negroponte: a hybridized model of control suitable for responsive architecture // *eCAADe 21, Digital design*. 2003. P. 407–413.
3. Popkova N. A. Symbiosis of nature and architecture in the philosophy of Kisa Kurokawa // *Arkhitekton: Izvestiya vuzov. Application July 2014*. № 46. URL: http://archvuz.ru/2014_22/2 (reference date: 24.07.2017).
4. Panfilov A. V. Mobile architecture – adaptive architecture // *Arkhitekton: Izvestiya vuzov. Application July 2011*. № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/18 (reference date: 20.01.2017).
5. Shklyarik Ye. N. Temporary architecture as visual text // *Electronic scientific publication Almanac Prostranstvo i Vremya T. 10. 2015. № 1*. URL: http://jspacetime.com/actual%20content/t10v1/2227-9490e-aprovr_e-ast10-1.2015.112.php (reference date: 20.05.2017).
6. Ashirova M. V., Aydarova G. N. Rapid response architecture: the concept of temporary mobile housing in large cities // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 17–22.
7. Panfilov A. V. Classification model of mobile home for temporary stay // *Arkhitekton: izvestiya vuzov. Application July 2011*. № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/17 (reference date: 06.10.2016).
8. STRELKA Collection 2013. M. : Strelka Press, 2013. 352 p.
9. Sazikov A. V. Modular kiosk // *LiveJournal*. 2016. URL: <http://sazikov.livejournal.com/5173.html> (reference date: 07.05.2017).
10. Gonca Z. T. Temporary architecture: The Serpentine Gallery Pavilions. 2013. 140 p.
11. Makkuayr S. Media City: Media, Architecture and Urban Space. M. : Strelka Press, 2014. 392 p.
12. Oblacheva M. Utopia. Plug-in-City. Peter Cook, Archigram// *Wallpaper Russkoye izdaniye*. 2006. URL: http://archi.ru/press/world/1988/journalist_present.html?id=313 (reference date: 10.05.2017).
13. Mairs J. James Furzer to crowdfund parasitic sleeping pods for London's homeless // *Dezeen*. 2015. URL: <https://www.dezeen.com/2015/08/19/james-furzer-crowdfund-parasitic-sleeping-pods-london-homeless-indiegogo/> (reference date: 01.12.2016).

УДК 725

Мубаракшина Ф.Д. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: faina.arch@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Архитектура изо льда и снега: исчезающая красота

Аннотация

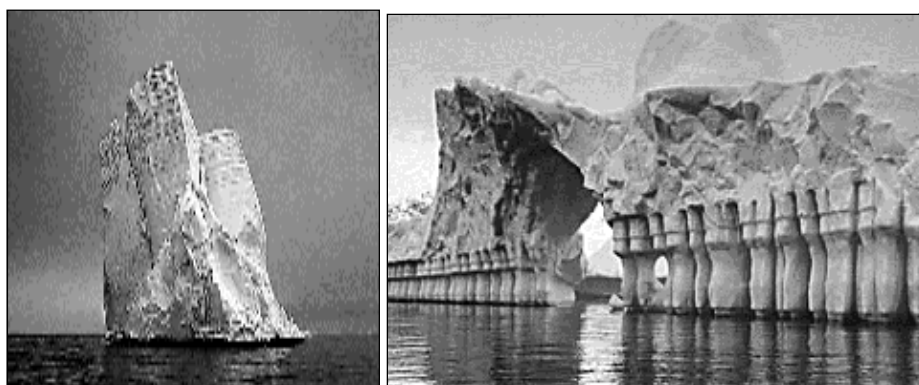
Постановка задачи. Целью исследования является изучение мирового опыта строительства зданий изо льда и снега; рассмотрение технических возможностей использования льда и снега; изучение опыта народов, живших на побережье Северного Ледовитого океана, в условиях отсутствия других материалов использовавших конструктивные свойства льда и снега при строительстве жилищ типа иглу.

Результаты. Основные результаты: в работе рассмотрены преимущества ледяного строительства; изучен мировой опыт проектирования ледовых объектов; разработана примерная номенклатура, включающая в себя наиболее характерные типы объектов ледяной архитектуры; выявлены исторические этапы формирования архитектуры изо льда и снега, изложены особенности возведения иглу, традиционного национального зимнего жилища эскимосов.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в осознании необходимости повышения функциональных, технических и эстетических качеств ледяной архитектуры.

Ключевые слова: архитектура изо льда и снега, иглу, сезонная архитектура, номенклатура объектов ледяной архитектуры.

В естественной природе ежегодно с наступлением холодного зимнего периода формируются удивительные по своей необычности и красоте сезонные явления и объекты, которые можно условно классифицировать аналогично образам и типам традиционной рукотворной архитектуры. Как правило, это – застывшие водопады, айсберги, ледники, сооружения пещерного типа и другие природные феномены, напоминающие по своему внешнему виду архитектурные сооружения и их элементы (рис. 1-3) [1, 2].



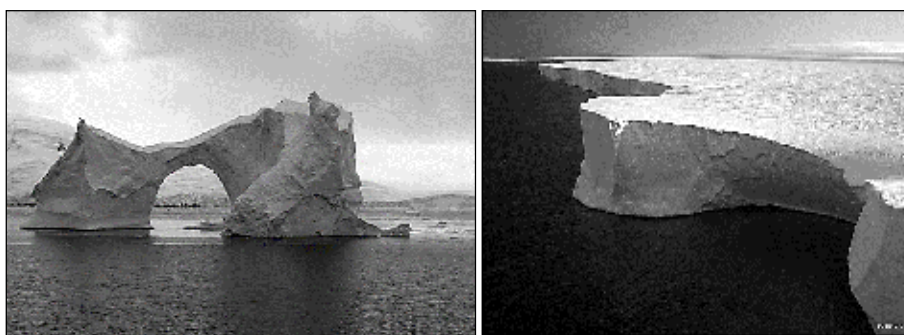
а)

б)

Рис. 1. Айсберги – природные ледяные «архитектурные сооружения» [1]: а – башня; б – мост

С древних времен использование возможностей рубленого льда и спрессованного снега в качестве строительных материалов привлекало человека и подвигало его на возведение сооружений для собственного использования. Конечно, эти сооружения имели самый примитивный внешний вид, но это не мешало народам, жившим вдоль побережья Северного Ледовитого океана, в условиях отсутствия других строительных материалов, активно использовать конструктивные особенности льда и снега при

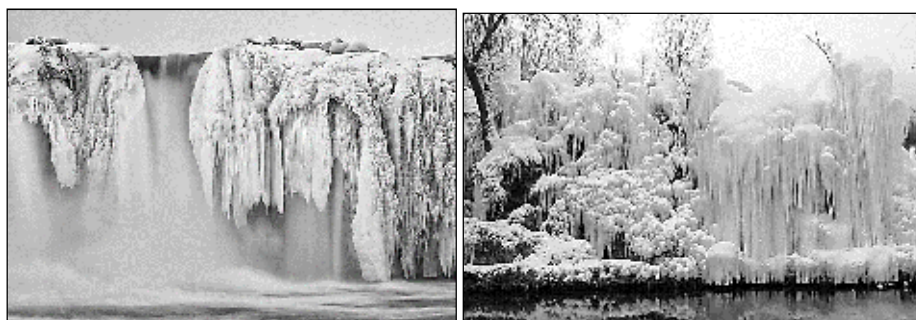
строительстве жилищ типа иглу [3, 4]. Иглу – это замечательное изобретение эскимосов, их традиционное национальное зимнее жилище, которое представляет собой небольшое куполообразное сооружение диаметром 3-4 метра, имеющее высоту около двух метров и предназначается, в основном, для посемейного размещения (рис. 4).



а)

б)

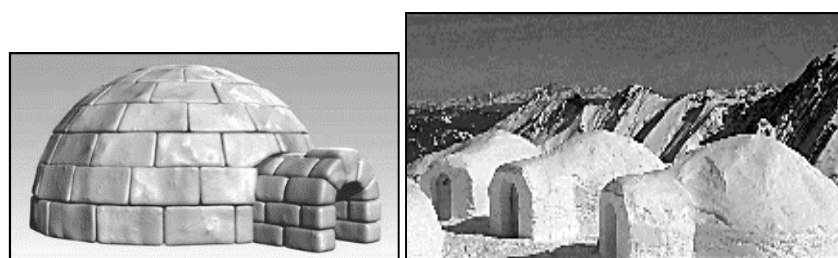
Рис. 2. «Архитектурные элементы» из айсбергов [1]: а – портал; б – плита



а)

б)

Рис. 3. «Архитектурные элементы» – стены из замерзших водопадов [2]:
а – водопад Бога – Годэфосс (Исландия); б – водопад в горах Тай-Хан (Китай)



а)

б)

Рис. 4. Иглу – традиционное жилище народов Севера [3, 4]:
а – общий вид укладки снежных блоков; б – современная северная «деревня» из иглу

Чтобы соорудить иглу эскимосы вырезают из очень плотного сугроба продолговатые бруски довольно большого размера, так называемые «кирпичи», и собирают из них стены с характерной для стеновой кладки перевязкой швов. Места стыков снежных брусков для прочности оплавливают и как бы приваривают друг к другу морозным швом. Снаружи стены для еще большей прочности поливают водой и выравнивают. Свет в иглу проникает прямо через стены. Полы и низ стен в иглу, как правило, застилают шкурами. Внутри спокойно можно разводить небольшой прикрытый огонь, чтобы готовить пищу, при этом внутренняя поверхность свода частично

оплавляется от повышенной температуры, образуя ровную ледяную корку, упрочняющую конструкцию. Входят в иглу устраивают через отверстие в полу, к которому ведет коридор, прорытый в снегу ниже уровня пола. Если снег неглубокий, лаз делают в стене, а перед ним строят коридор из снежных плит, таким образом холодный ветер не попадает внутрь, а тепло не выходит наружу.

Иглу прекрасно защищают своих жителей от холода, непогоды и пронизывающих ветров бескрайних снежных просторов. Жители Гренландии, Аляски, Севера Канады и сегодня с удовольствием живут в своем традиционном снежном жилище, строительство которого не требует больших материальных расходов и затрат времени на возведение. Всего за полчаса эскимосы могут соорудить иглу на 2-3 человек. Долговечность сооружения составляет примерно 4-5 месяцев.

Современные инновационные технологии строительства, использующие сегодня одновременно и достижения последних научных исследований, и опыт предыдущих поколений, не теряющий своей ценности, позволяют возводить архитектурные объекты, которые удивляют профессионалов и потребителя своей технологичностью, оригинальностью и даже фантастичностью [5]. В числе 20 ведущих инновационных строительных технологий современности отмечено, в том числе, и строительство зданий и сооружений изо льда и снега [6]. С наступлением зимы во многих северных странах в последние несколько десятилетий ежегодно активно строятся общественные здания и комплексы, например ледяные гостиницы, дома, замки, церкви, а в южных странах – объекты для развлечения туристов [7]. В большинстве случаев современные архитекторы, художники и скульпторы при возведении ледяных сооружений используют формуемые кирпичи из снега и резаные глыбы льда, есть также примеры создания целых замков из ледяных сосулек.

Уникальность и основные экономические и конструктивные достоинства архитектурных элементов для ледяной архитектуры заключаются в низкой цене, бесконечном количестве и легкой доступности сырья в виде воды и снега, в простоте обработки деталей, в высокой технологичности в сборке сооружений, а также в сопутствующей им прочности, сопоставимой с прочностью бетона. Это обусловлено особым механизмом замерзания воды, при котором формируется особая «ажурная» структура льда, где имеются полости, занятые воздухом [8, 9].

Несмотря на недолговечность ледяной архитектуры, очевиден многофакторный положительный эффект, который в себе несет ледяное строительство.

Во-первых, следует отметить ни с чем другим не сравнимый высокий эстетический эффект от восприятия прекрасного внешнего вида элегантных строгих белейших снежных и эффектных прозрачных или цветных ледяных сооружений, объектов и скульптур.

Во-вторых, безусловный экономический эффект: ледяные развлекательные объекты и комплексы – это огромный вклад в развитие зарубежной и отечественной туристической индустрии, что особенно ценно для малонаселенных северных районов как нашей страны, так и Европы и Северной Америки. За каждый зимний сезон, включающий, как правило, период с декабря по апрель, экономический эффект от сезонного ледяного строительства и посещения ледяных объектов туристами многократно перекрывает затраты, понесенные на возведение объектов из экзотических стройматериалов.

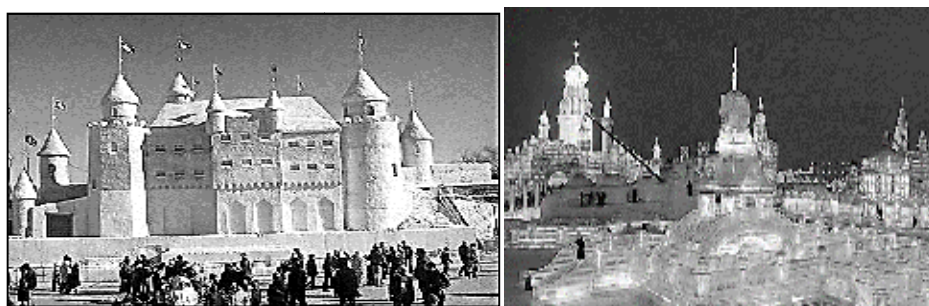
В-третьих, культурно-познавательный эффект: очень часто по всему миру, а сегодня обязательно включая и жаркие страны, устроители создают ледяные композиции, состоящие из объектов, представляющих собой уменьшенные копии, имитирующие известные памятники архитектуры и их комплексы, а также современные популярные архитектурные объекты. Так, например, за 20 лет работы фестиваля в Харбине там были сооружены Колизей, Эмпайр Стейт Билдинг, Великая Китайская стена и многие другие известные здания и сооружения. Поэтому вполне обоснованно можно считать ледовые комплексы одним из действенных средств актуализации ценности историко-культурного и архитектурного наследия, его популяризацию, сохранение и эффективное использование как среди местного населения, так и среди туристов. Особенно важным представляется получаемое культурно-познавательное значение рассматриваемых объектов для воспитания подрастающего поколения.

В-четвертых, образовательный эффект: строительство изо льда – отличный способ обучения для студентов, будущих архитекторов. Так, например, в известной канадской

архитектурной школе МакГилл есть специальный учебный курс по проектированию и строительству архитектуры из снега и льда. В рамках этого курса к 175-летию своего университета студенты построили уменьшенную в 5 раз копию римского Пантеона, при этом, по мнению руководителя проекта, строительная техника ничем не отличалась от той, что использовали в свое время римляне. На этом объекте у студентов была замечательная и относительно недорогая возможность изучить древние методы строительства и лично участвовать в строительстве. Впоследствии ледовый пантеон использовался как ресторан и концертный зал [7].

Исследование и анализ исторического и современного зарубежного и отечественного опыта использования льда и снега в архитектуре и строительстве позволили обозначить номенклатуру, включающую в себя наиболее характерные типы объектов архитектуры, к ним можно отнести:

1 – многофункциональные общественные комплексы, создаваемые для праздников, фестивалей, карнавалов (рис. 5) [10, 11];



а)

б)

Рис. 5. Многофункциональные общественные комплексы:

а – сооружения квебекского зимнего карнавала (Квебек, Канада, 2014 г.) [10];

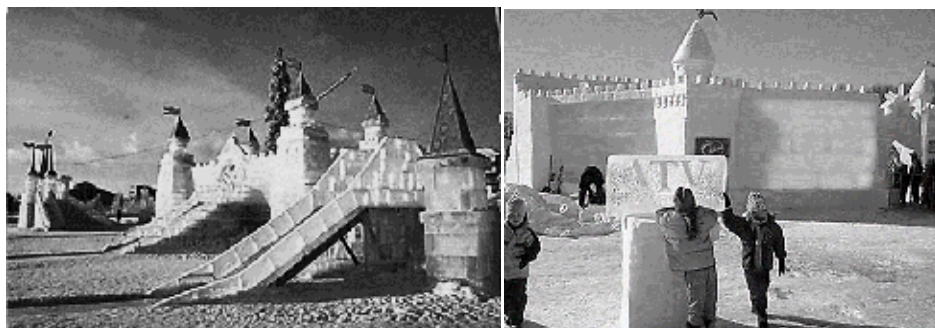
б – комплекс зданий на празднике снега (провинция Хэйлунцзян, Китай, 2012 г.) [11]

2 – градостроительные объекты: развлекательные территории, парки снежных и ледяных фигур, ледовые и снежные игровые городки и т.п. (рис. 6) [12];

3 – отдельные здания: гостиницы, замки, дома, культовые объекты, аквариумы, рестораны, музеи и т.п. (рис. 7) [13];

4 – инженерно-архитектурные сооружения: стены, мосты, порталы, арки, галереи, башни, маяки и т.п. (рис. 8) [7];

5 – малые архитектурные формы: скульптуры, фигуры животных или сказочных персонажей, декоративные растения, архитектурные детали и т.п. (рис. 9) [14, 15].

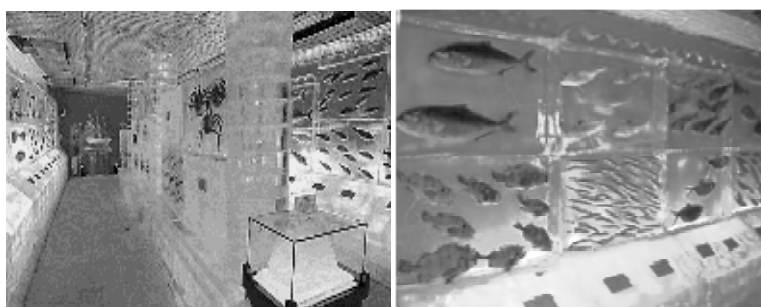


а)

б)

Рис. 6. Градостроительные объекты [12]: а – ледовый городок (Москва, Россия, 2016 г.);

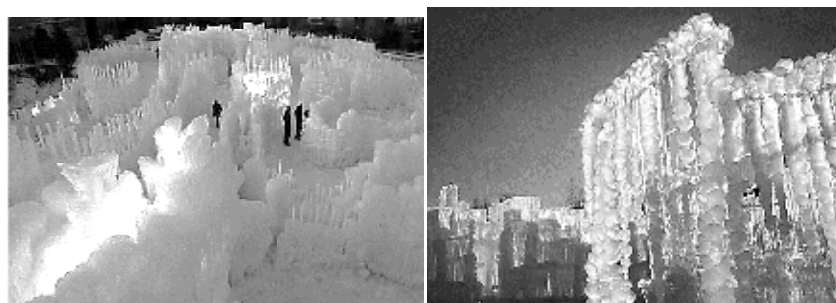
б – снежный городок (Москва, Россия, 2016 г.)



а)

б)

Рис. 7. Здания из льда: Ледяной аквариум (Саппоро, Япония, 2014 г.) [13]:
а – интерьер здания аквариума; б – экспонаты – замороженные рыбки в ледяных аквариумах



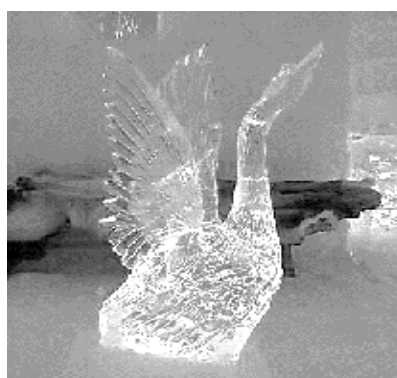
а)

б)

Рис. 8. Инженерно-архитектурные сооружения: территория из сосулек включает в себя множество лабиринтов, лестниц, арок, башен, тоннелей (США, 2016 г.) [7]:
а – общий вид сооружений; б – фрагмент композиции из сосулек



а)



б)

Рис. 10. Малые архитектурные формы: ледяные скульптуры:
а – золотая рыбка в городском парке (Ижевск, Россия, 2017 г.) [14];
б – фигура лебедя из интерьера самого северного отеля в мире (Альта, Финляндия, 2011 г.) [15]

Возникновение, становление и развитие архитектуры из льда и снега происходило в течение всего времени существования человека.

Ретроспективный анализ, включивший в себя рассмотрение прообразов современных архитектурных объектов, исторических сооружений и современных ледяных зданий, дал возможность проследить эволюционные тенденции и выявить исторические этапы формирования ледяной архитектуры, в первом приближении к теме, это следующие этапы:

- первый этап – «становление», этот этап охватывает период с древнейших времен до середины XVII века; это время характеризуется, в основном, массовым

строительством примитивных сооружений из снега или льда – иглу – жилищ народов, заселявших северные территории всего мира, охватывавшее, в том числе, и поселения народов русского Севера;

- второй этап – «развитие», он занимает временной период доиндустриальной эпохи: с середины XVII века до конца XIX века; этот исторический отрезок времени отмечен редкими эпизодическими или даже единичными объектами, упоминания о которых в той или иной форме сохранились в историко-архивных документах, прессе и художественной литературе наиболее развитых стран мира, включая Российскую империю;

- третий этап – «массовое строительство», он включает в себя время с конца XIX века до конца XX века; этот этап в целом соответствует широкому разворачиванию активного ледяного строительства объектов, представляющих широкий спектр жилых и общественных зданий разнообразного функционального использования, в основном – в странах северных регионов мира;

- четвертый этап – «усовершенствование», развивается с конца XX века по настоящее время и характеризуется ежегодным строительством архитектуры из снега и льда в больших объемах на основе использования суперсовременных строительных технологий во всем мире, включая жаркие страны и Россию.

Подводя итоги, следует отметить, что ввиду огромных размеров территории России, а также благодаря обширным пространствам именно северных регионов, в нашей стране ледовое строительство развивалось практически сопутствуя всем историческим этапам формирования ледяной архитектуры. Лишь на этапе «массового строительства» отечественная архитектура из льда и снега не смогла получить широкого повсеместного распространения, главным образом, по социально-экономическим причинам.

Сегодня, в условиях всеобщей тенденции к использованию современных технических достижений и новейших технологий перед отечественной архитектурной наукой, имеющей свободный доступ к самым совершенным технологическим возможностям ледяного строительства, стоят задачи расширения номенклатуры функциональных типов зданий из льда и снега, повышения архитектурных и технических качеств этих объектов и создания условий для более широкого применения ледяной архитектуры как в структуре индустрии развлекательных объектов сезонного характера с привлечением широких слоев населения, так и в плановом хозяйственном развитии.

Список библиографических ссылок

1. Ледяная стихия во всей красе // Электронный ресурс. 2014. URL: <http://doseng.org/priroda/39210-ledyanaya-stixiya-vo-vsej-krase-99-foto.html> (дата обращения: 11.07.17).
2. Замерзшие водопады / Клуб Вольных Ледорубов // Электронный ресурс. 2015. URL: <http://ledovydom.ru/samoe-interesnoe-pro-led/zamerzshie-vodopady/> (дата обращения: 11.07.17).
3. 10 Interesting Facts About Eskimos // Electronic resource. 2012. URL: <http://listverse.com/2013/09/09/10-fascinating-facts-about-eskimos/?ref=driverlayer.com> (дата обращения 24.08.17).
4. Иглу – традиционное жилище эскимосов // Электронный ресурс. URL: <http://vamvigvam.ru/blog/2015-05-10/iglu-traditcionnoe-zhilische-skimosov> (дата обращения 15.07.17).
5. Иванова Е. Ю. Инновационные направления конструирования энергоэффективных ограждений // Известия КГАСУ. 2017. № 2 (40). С. 70–76.
6. Шипицин А. Топ-20 инновационных строительных технологий // Экспертный портал «Правила строительства». 2014. № 43/1. URL: <http://www.psdom.ru/catalog/top-20-innovacionnyh-stroitelnyh-tehnologiy> (дата обращения: 14.07.17).
7. Утемова Л.О. Тающая архитектура: что сегодня строят из снега и льда // Интернет-журнал о дизайне и архитектуре «Berlogos». 2016. URL: <http://berlogos.com/article/taushaya-arhitektura-что-segodnya-stroyat-iz-snega-i-lda/> (дата обращения: 11.07.17).

8. Скупов Б.А. Лед – знакомый и таинственный строительный материал // Архитектура и Строительство. 2017. № 1 (141). URL: <http://www.ids55.ru/ais/articles/events/3524-2017-03-27-10-34-47.html> (дата обращения: 11.07.17).
9. Скупов Б. А. Вода, лед и пар в строительных технологиях и материалах // Строительный эксперт. 2015. URL: <http://ardexpert.ru> (дата обращения: 11.07.17).
10. Quebec Winter Carnival. URL: <http://www.beyondvoyage.com/blog/category/canada> (дата обращения: 24.08.17).
11. Архитектура из снега и льда / 8 фото. URL: <http://elive.com.ua/arhitektura-so-snega-i-lda-8-foto/> (дата обращения: 19.07.17).
12. Ледгород предлагает: Ледовый городок, Снежный дом, Ледяной замок, Снежная крепость // Электронный ресурс. URL: http://www.ledgorod.ru/ledyanay_arhitektura.htm (дата обращения: 15.07.17).
13. Weird Tourist Destinations: Ice Aquarium In Japan. URL: <http://www.friendshipforum.org/travelling-and-leisure/weird-tourist-destinations-ice-aquarium-japan/> (дата обращения: 24.08.17).
14. Изображение ледяных фигур в Ижевске // Электронный ресурс. URL: <http://jppg1920.ru/articles/Izobrazhenie-ledyaneh-figur-v-izhevsk> (дата обращения: 23.07.17).
15. Igloo Hotel, Sorrisniva Alta – Northern Soul // Electronic resource. URL: <http://www.uniqhotels.com/igloo-hotel> (дата обращения: 24.08.17).

Mubarakshina F.D. – candidate of architecture, associate professor
E-mail: faina.arch@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The architecture of ice and snow: the vanishing beauty

Abstract

Problem statement. Since ancient times, the use of the ice and snow as building materials attracted people. Of course, these constructions were the most primitive appearance, but this did not prevent the people, who lived along the coast of the Arctic Ocean, in the absence of other building materials actively use the structural features of ice and snow in the construction of a needle type dwellings. In article features of construction of the needle, the traditional domestic winter dwellings of the Eskimos, which is a small domed structure made of snow bricks.

The purpose of this article is to study the world experience of construction of buildings made of ice and snow.

Results. The article considers the positive side of the ice construction:

- high aesthetic effect from the perception of beautiful appearance elegant and spectacular white transparent ice structures;
- economic effect: icy objects is a huge contribution to the development of foreign and domestic tourism industry;
- cultural-cognitive effect: ice complexes is one of the means of actualization of the historical, cultural and architectural heritage;
- educational effect: the construction of ice is a great way of teaching students, the future architects.

The article studies the world experience of the ice objects design. The nomenclature that includes the most characteristic types of ice architecture is developed. The historical stages of the emergence, formation and development of the architecture of the ice and snow are identified.

Conclusion. The tasks to improve the functional, technical and aesthetic qualities of the ice architecture.

Keywords: architecture of ice and snow, igloos, seasonal architecture; the nomenclature of ice architecture objects.

References

1. Ice element in all its glory // Electronic resource. 2014. URL: <http://doseng.org/priroda/39210-ledyanaya-stixiya-vo-vsej-krase-99-foto.html> (reference date: 11.07.17).
2. Frozen waterfalls / Club of Free Ice axes // Electronic resource. 2015. URL: <http://ledovodom.ru/samoe-interesnoe-pro-led/zamerzshie-vodopady/> (reference date: 11.07.17).
3. 10 Interesting Facts About Eskimos // Electronic resource. 2012. URL: <http://listverse.com/2013/09/09/10-fascinating-facts-about-eskimos/?ref=driverlayer.com> (reference date: 24.08.17).
4. Needle – the traditional home of the Eskimos // Electronic resource. URL: <http://vamvigvam.ru/blog/2015-05-10/iglu-tradicionnoe-zhilische-skimosov> (reference date 15.07.17).
5. Ivanova E. Yu. Innovative directions of energy-efficient fences designing // Izvestiya KGASU. 2017. № 2 (40). P. 70–76.
6. Shipitsin A. Top-20 innovative building technologies // Expert portal «Rules of construction». 2014. № 43/1. URL: <http://www.psdm.ru/catalog/top-20-innovacionnyh-stroitelnyh-tehnologiy> (reference date: 14.07.17).
7. Utemova L.O. The melting architecture: what is built today of snow and ice // Internet magazine about the design and architecture «Berlogos». 2016. URL: <http://berlogos.com/article/tayushaya-arhitektura-chto-segodnya-stroyat-iz-snega-i-lda/> (reference date: 11.07.17).
8. Skupov B. A. Ice – familiar and mysterious building material // Arkhitektura i Stroitel'stvo. 2017. № 1 (141). URL: <http://www.ids55.ru/ais/articles/events/3524-2017-03-27-10-34-47.html> (reference date: 11.07.17).
9. Skupov B. A. Water, ice and steam in building technologies and materials // Stroitel'nyy ekspert. 2015. URL: <http://ardexpert.ru> (reference date: 11.07.17).
10. Quebec Winter Carnival. URL: <http://www.beyondvoyage.com/blog/category/canada> (reference date 24.08.17).
11. Architecture of snow and ice / 8 photos. URL: <http://elive.com.ua/arhitektura-so-snega-i-lda-8-foto/> (reference date: 19.07.17).
12. Ledgorod offers: Ice Town, Snow House, Ice Castle, Snow Fortress // Electronic resource. URL: http://www.ledgorod.ru/ledyanay_arhitektura.htm (reference date: 15.07.17).
13. Weird Tourist Destinations: Ice Aquarium In Japan. URL: <http://www.friendshipforum.org/travelling-and-leisure/weird-tourist-destinations-ice-aquarium-japan/> (reference date: 24.08.17).
14. Picture of ice figures in Izhevsk // Electronic resource. URL: <http://jpg1920.ru/articles/Izobrazhenie-ledyaneh-figur-v-izhevsk> (reference date: 23.07.17).
15. Igloo Hotel, Sorrisniva Alta – Northern Soul // Electronic resource. URL: <http://www.uniqhotels.com/igloo-hotel> (reference date: 24.08.17).

УДК 725

Саляхова М.Р. – старший преподаватель

E-mail: greta4336@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Архитектура изо льда и снега в Японии

Аннотация

Постановка задачи. На примере архитектуры из снега и льда в Японии выявить особенности строительства таких сооружений, проанализировать конструктивные решения и технологию их возведения. А также показать возможности практического использования льда и снега как материала необычного, но достаточно прочного и недорогого сырья для возведения сезонных сооружений.

Результаты. Выявлены особенности, достоинства и недостатки нехарактерного архитектурно-конструктивного использования широко распространенного в природе материала. На основе изучения современного опыта возведения сезонных сооружений изо льда и снега в Японии предложена классификация их по некоторым признакам.

Выводы. Применение современных технологий позволяет широко использовать снег и лед как возобновляемые строительные материалы. А их физико-механические и конструктивные свойства дают возможность создавать объекты различной сложности.

Перспективность применения этих материалов обусловлена следующими факторами. Во-первых, создание таких уникальных сооружений не требуют больших экономических затрат. Во-вторых, очевидна рентабельность таких объектов. Инвестиции становятся выгодными с финансовой точки зрения, что способствует развитию туристической отрасли. И немаловажным фактором является влияние такой архитектуры на повышение культурно-познавательной привлекательности Японии в целом.

Ключевые слова: снег, лед, ледяная архитектура, строительный материал, гостиничный комплекс.

Несмотря на постоянное стремление человечества к прогрессу, связь человека с природой остается неизменной. В современных условиях мы все больше возвращаемся к своим истокам, черпая у природы вдохновение для создания произведений архитектуры и искусства. Ежегодно во всем мире строительство нового на месте уже снесенных зданий предполагает вывоз огромного количества мусора и ввоз строительных материалов. В связи с этим поиск доступных и безотходных строительных материалов для возведения временных зданий и сооружений всегда оставался для человека актуальным. На самом деле эти материалы известны с давних пор – это лед и снег. Это те материалы, которыми пользуются с незапамятных времен северные народности, возводящие для жилья циркумполярные пространства. Физико-механические и конструктивные свойства льда и снега позволяют широко использовать их сегодня в качестве полезного материала достаточной прочности во всем мире. Основные особенности льда как строительного материала обобщены в работах К.Ф. Войтковского и И.С. Песчанского, в монографии Г.К. Тушинского «Инженерная гляциология» и др. [1].

На всех этапах истории развития строительного материаловедения области, где применен лед, разнообразны:

- строительство домов изо льда в развлекательных и рекламных целях;
- ледяные склады;
- ледовые переправы через реки и озёра;
- плавучие ледовые аэродромы;
- плавучий ледяной остров для туристов (стадия бизнес-предложения) и др.

Точно сказать, где впервые зародилась идея создания ледяных и снежных зданий и скульптур сложно, так как территория покрытая снегом во всем мире, очень велика. Есть предположение, что первые сооружения и изделия изо льда появились в Китае. Об этом свидетельствует один из древнейших памятников китайской литературы – «Книга Песен», написанная в XI-VIII веках до нашей эры, где представлена многообразная

культура, быт и духовные интересы китайского народа. В одном из разделов повествуется о жизни народа провинции Шаньси (Shensi), жившего в Северном нагорье Китая, который использовал нарезанные ледяные блоки для строительства домов с целью хранения в них рыбы в летнее время [2].

Идея проведения ежегодных международных фестивалей, посвященных ледяному искусству, зародилась в Японии [3]. Так, в городе Саппоро на острове Хоккайдо ежегодно, начиная с 1950 года, проводится Снежный фестиваль Sapporo Yuki Matsuri (англ.: Sapporo Snow Festival). Всемирную популярность этот фестиваль приобрел после проведения XI Зимних Олимпийских игр. А с 1974 года фестиваль получил статус международного. Сегодня одновременно на трех площадках разных районов города: на стадионе Цудому (Tsudome), в парке Одори (Odori Park) и на главной улице кварталов ночных развлечений Сусукино (Susukino) свои шедевры представляют десятки профессиональных команд архитекторов и скульпторов из разных стран мира [4].

Каждый год традиционно фестиваль открывается в начале февраля и длится в течение недели. За это время участники сооружают сотни ледяных и снежных сооружений. Экспозиции представляют собой уменьшенные копии известных достопримечательностей мировой и японской архитектуры, скульптуры сказочных героев и киноперсонажей. Так, например, в 2012 году были представлены масштабированные копии сооружений Мирового наследия ЮНЕСКО и национальные исторические памятники: индийский Тадж-Махал (Taj Mahal), японский замок Цуруга (Tsuruga Castle), тайваньский Национальный музей (National Palace Museum) и многие другие (рис. 1) [5].



Рис. 1. Снежный фестиваль Sapporo Yuki Matsuri, г. Саппоро, Япония, 2012 г. [6]:
а – Замок Цуруга (Япония); б – Мавзолей-мечеть Тадж-Махал (Индия)

Возведение таких сложных сооружений требует много усилий и мастерства от участников и состоит из нескольких этапов – от подготовки фундамента и монтажа деревянного каркаса до выполнения каждой детали зданий, обеспечивающие точное воспроизведение известного памятника архитектуры (рис. 2).

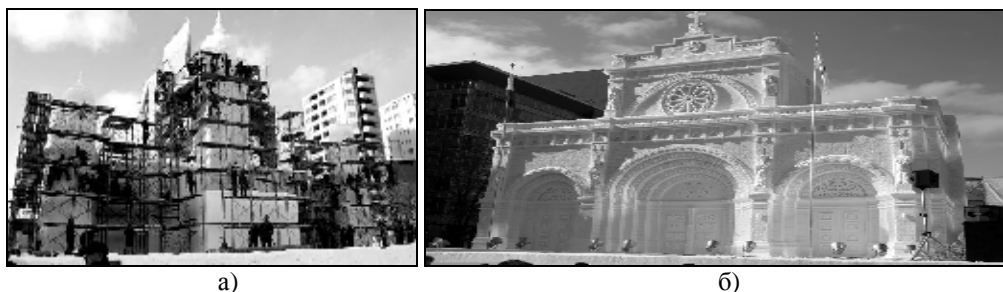


Рис. 2. Снежный фестиваль Sapporo Yuki Matsuri, г. Саппоро, Япония, 2014-2015 гг.:
а – процесс возведения дворца султана Абдул-Самада (Куала-Лумпур, Малайзия). Фото ЕРА¹;
б – Манильский собор (Филиппины) [7]

¹ЕРА – Европейское пресс-фотоагентство ЕПА (era european pressphoto agency b.v) является международным агентством фотонОВОСТЕЙ.

В 2017 году 17-ти метровый прототип парижской Триумфальной арки оказался в центре внимания фестиваля. На одном из таких конкурсов российская команда создала из снега и льда уменьшенную копию известного храма Василия Блаженного, а американцы построили Белый дом.

При возведении строений из снега наряду с каркасной применяют и бескаркасную технологию, которая заключается в изготовлении снежных блоков с помощью опалубки из листов ДСП или фанеры, послойно заполняемой мокрым снегом. После 2-3 дневного смерзания блоки используют для изготовления скульптур и сооружений. Ледяные же блоки используют, главным образом, в качестве основания или для строительства построек в целом.

История возникновения грандиозного по масштабу праздника ледяного искусства Sapporo Snow Festival началась более шестидесяти лет назад, когда учащиеся местной школы возвели несколько снежных фигур в центральном парке Одори в Саппоро. Впоследствии эта идея была подхвачена взрослыми и на фоне послевоенных событий, стало мероприятием, которое в то время хоть каким-то образом отвлекало жителей от повседневных тягот [8]. Сейчас Снежный фестиваль находится в ранге туристических событий мирового масштаба. Интерес к нему повышается с каждым годом, привлекая более двух миллионов человек, включая зарубежных туристов.

Еще одним из вкладов японцев в ледяную архитектуру мира является Деревня из льда Альфа Резорт-Томамус Айс Вилладж (Alpha Resort-Tomamu's Ice Village) в горах Хоккайдо, расположенная в горнолыжном курорте Томаму (Tomamu). Ice Village представляет собой комплекс из гостевых небольших домиков, бара, часовни, ледового катка и вспомогательных помещений. Строительство гостиничного комплекса носит сезонный характер. И каждый год, с наступлением очередного зимнего сезона, команда профессионалов, опытных архитекторов, скульпторов, художников и строителей, начинают возводить этот уникальный отель. Дома выполнены в виде полусфер (рис. 3) [10]. Известны множественные прототипы древних жилищ, создаваемых в форме полусферы: иглу эскимосов, вигвамы североамериканских индейцев, шатры африканских племен. Преимущества таких строений неоспоримы: они прочны, устойчивы, их легко возводить.



а)

б)

Рис. 3. Ледяная деревня Alpha Resort-Tomamu's Ice Village (о. Хоккайдо, Япония, 1990 г.) [9, 10]:
а – общий вид отеля; б – освещение отеля в вечернее время

В качестве основания конструкции зданий отеля используются ледяные блоки, на которые опирается куполообразный сетчатый каркас, покрытый тентом. С наступлением холодов его поливают водой до образования прочного ледяного покрытия. В итоге создается ледяной купол диаметром 15 метров.

Над воплощением этой необычной идеи японские инженеры и ученые работали в течение девяти лет, продумывая все до мельчайших деталей, чтобы обеспечить прочность и безопасность конструкции при эксплуатации ледяных зданий [10].

Впервые небольшая гостиница из льда и снега появилась в 1990 году во время проведения международной выставки ледяных скульптур. Необычная гостиница привлекла местных жителей и туристов, и со временем превратилась уже в целую деревню [7]. Уникальность этого отеля состоит в том, что полностью из льда сделаны не только помещения: столовая, спальня, ванная, но и предметы обихода, мебель и посуда. Дизайн интерьера дополняют расстеленные здесь шкуры, подушки, скатерти и необычная

подсветка (рис. 4). Гостям, решившим остаться на ночь, рекомендуется «зимовать» в спальнях мешках, так как температура внутри помещений не поднимается выше минус 3-5. В дополнение ко времени, проведенному в номерах отеля можно насладиться концертом и вечеринкой с ледяным чаем в лаундже, принять ледяную ванну на улице и даже узаконить влюбленным свои отношения в ледяном Зале Бракосочетаний. Поэтому ежегодно сотни тысяч туристов привлекает не только необычная красота холодного края горнолыжного курорта Томаму, но и возможность получить новые незабываемые впечатления от проведенного времени в ледяной деревне Alpha Resort-Tomamu's.

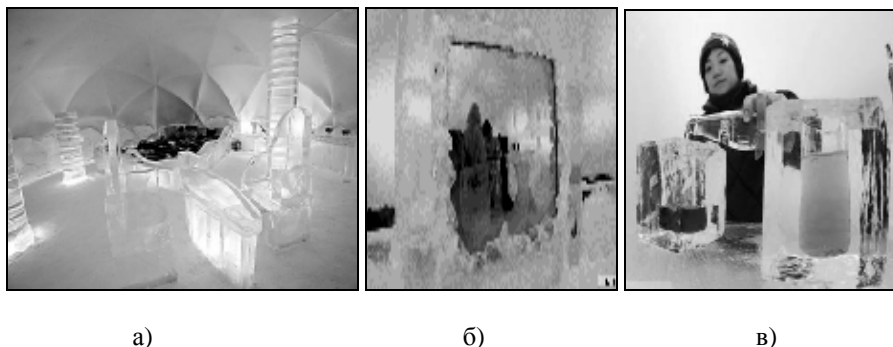


Рис. 4. Интерьер отеля Alpha Resort-Tomamu's Ice Village (о. Хоккайдо, Япония, 1990 г.) [10, 11]:
а – интерьер одного из спальньих номеров; б – ледяное зеркало в баре; в – посуда из льда

Описанная выше ледяная деревня не единственная в Японии. Ежегодно на вершине замерзшего озера Шикарибетсу (Shikaribetsu) отстраивается еще одна деревня – Шикарибетсу Котан (Shikaribetsu Kotan, «котан» – «деревня» на языке Аину, коренных жителей о. Хоккайдо). Озеро находится в 810 метрах над уровнем моря в горах острова Хоккайдо, на южной оконечности национального парка Дайсецусан (Daisetuzan) [12]. Само по себе место, где ежегодно возводится ледяной отель, является местом удивительной природной красоты с неповторимыми видами и многообразным ландшафтом, что делает его еще более притягательным для туристов (рис. 5).

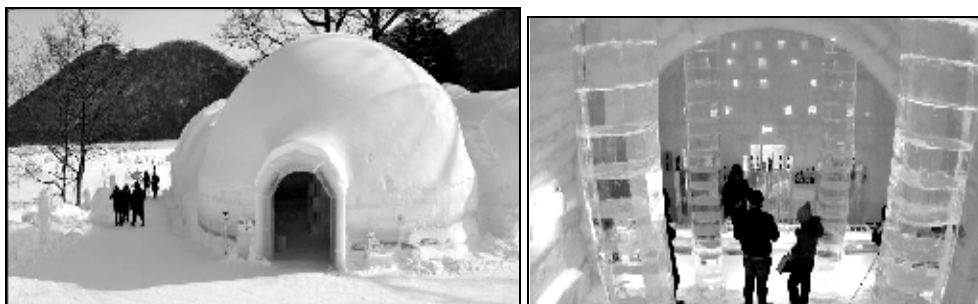


Рис. 5. Ледяная деревня Shikaribetsuko Kotan (о. Хоккайдо, Япония, 1980 г.) [12, 13]:
а, б – общие виды отеля

Строительство зданий отеля начинается в январе, когда толщина замерзшего льда озера превышает 60 см, и длится три недели. Кристально чистый природный лед этого озера и используют для возведения жилищ типа эскимосских иглу, технология строительства которых требует серьезных знаний и навыков. Иглу представляет собой куполообразную постройку. Форма полусферы, выбранная для возведения домиков, не случайна: нагрузка равномерно перераспределяется по всей поверхности, что делает эту конструкцию наиболее устойчивой. В результате обогрева помещения с помощью свечи или примуса внутренние поверхности стен оплавляются, но не тают, делая их еще более прочными [14].

Помимо гостевых домиков-иглу ледяной комплекс включает в себя часовню, ледяной театр, бар и кафе (рис. 6). В ледовом зале проводятся концерты, в баре

демонстрируются видеоролики, проецируемые на экран изо льда, предлагаются напитки из ледяных стаканов. На открытом воздухе организуются разнообразные мероприятия: онсэн с горячей водой из подземных источников, ледяной лабиринт для детей, занятия ледовой скульптурой, прогулки на лыжах и снегоходах.

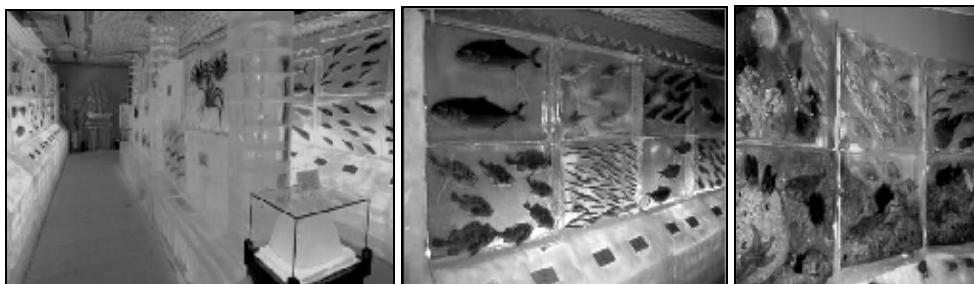


а)

б)

Рис. 6. Отель Shikaribetsuko Kotan (о. Хоккайдо, Япония, 1980 г.) [12]:
а – внешний вид гостевого домика; б – фрагмент интерьера бара

Открытие еще одного уникального и не менее эффектного сооружения, Ледяного аквариума («Koi no Suizokukan»), состоялось на севере-востоке Японии в портовом городе Кесеннума (Kesennuma), префектуры Мияги, в 2002 году [17]. Оригинальный аквариум открыли с целью привлечения посетителей владельцы ресторана «Maguro Shashimi». Аквариум состоит из 40 ледяных блоков, в которые заморожены в непринужденном виде около 450 экзотических представителей морской фауны. Замороженные экспонаты – это кальмары, крабы, скумбрия и сайра, крабы, осьминоги и другие обитатели морского дна (рис. 7).



а)

б)

в)

Рис. 7. Ледяной аквариум «Koi no Suizokukan» (г. Кесеннума, Япония, 2002 г.) [17]:
а – фрагмент интерьера; б, в – замороженные экспонаты

По замыслу авторов, такое экзотическое, и в то же время естественное размещение морских обитателей, дает гостям возможность увидеть и рассмотреть не менее 80 видов причудливых видов [11]. А для посетителей рынка появляется возможность увидеть, как выглядит стандартный представитель того или иного вида океанской фауны. Для данной коллекции поддерживаются соответствующие условия: для сохранности температура в аквариуме поддерживается на уровне минус 20°C, поэтому посетителям на входе выдают теплую одежду. Этот необычный аквариум впоследствии стал намного популярнее ресторана и превратился в городскую достопримечательность, куда съезжаются туристы со всей страны.

Архитектура в исследуемом вопросе демонстрирует огромное количество примеров оригинального использования таких материалов как лед и снег. Отличие между ними, как строительными материалами, заключается в том, что стены, возводимые изо льда, могут иметь меньшую толщину, а его прозрачность открывает большие

возможности для светового дизайна; снег же – это более удобный в обработке и лёгкий материал, который обеспечивает разнообразие архитектурных форм.

Исследование и анализ архитектурно-строительных аспектов мирового опыта строительства сезонных сооружений, включая примеры ледяной архитектуры Японии, даёт возможность классифицировать их по некоторым признакам, например таким:

1 – по материалу:

- здания, сооружения и артобъекты из снега;
- здания, сооружения и артобъекты из льда;
- комбинированные архитектурные композиции объектов из льда и снега;

2 – по функциональному назначению:

- туристические объекты в природном окружении;
- поселения вблизи объектов притяжения;
- объекты, сопутствующие массовым тематическим мероприятиям;

3 – по месту расположения:

- встроенные в городскую структуру: в общественных зданиях, на открытых общественных пространствах;
- расположенные на рекреационных территориях [18].

В заключение следует отметить, что рассмотрение опыта проектирования и строительства сооружений из льда и снега в Японии показывает, что современные технологии позволяют использовать их в качестве доступных и эстетичных природных материалов для возведения сложных сооружений.

Несмотря на сезонность ледяной и снежной архитектуры, перспективность и экономическая эффективность создания экзотических и уникальных сооружений очевидны, так как расширяют туристические рамки и повышают культурно-познавательную привлекательность Японии.

Список библиографических ссылок

1. Скупов Б.А. Лед – знакомый и таинственный строительный материал // Архитектура и Строительство: информ.-аналит. журн. 2017. № 1 (141). URL: <http://www.ids55.ru> (дата обращения: 11.08.2017).
2. Ледяные скульптуры. URL: http://www.reznoe.ru/articles155_270.php (дата обращения: 11.08.2017).
3. 5 самых популярных фестивалей снежных и ледовых скульптур мира. URL: <http://www.moscovichka.ru> (дата обращения: 12.08.2017).
4. Sapporo Snow Festival // Japan Guidebook. URL: <http://www.japanguidebook.com/sapporo-snow-festival-132/> (дата обращения: 12.08.2017).
5. Snow Festival in Sapporo. URL: <https://globalechos.wordpress.com/2012/02/11/sapporo-snow-festival-part-ii/> (дата обращения: 15.08.2017).
6. Снежный фестиваль в Саппоро, Япония (30 фото). URL: <http://udivitelno.com/creation/item/720-snezhnyj-festival-v-sapporo-yaponiya-30-foto> (дата обращения: 15.08.2017).
7. Sapporo Snow Festival 2015 Pics and Vids. URL: <http://www.japanesearch.com/sapporo-snow-festival-2015-pics-vids/> (дата обращения: 15.08.2017).
8. Sapporo Snow Festival. URL: <https://www.japan-experience.com/city-sapporo/the-snow-festival> (дата обращения: 15.08.2017).
9. Club Med Tomamu, Japan**New** /Global Travel Solutions / URL: <http://globaltravelsolutions.com.au/clubmed-ski-package/club-med-tomamu-japan/> (дата обращения: 16.08.2017).
10. 160111 Tomamu Ice Village. URL: <http://public.fotki.com/yhshuai/shuai-family/160110-14-tomamu-ski/page2.html> (дата обращения: 15.08.2017).
11. Ледяной мини-отель. URL: <http://j-times.ru> (дата обращения: 16.08.2017).
12. Shikaribetsu Lake Kotan, Tokachi, Hokkaido / Flickr. URL: <https://www.flickr.com/photos/dgmckelvey/16105595051> (дата обращения: 16.08.2017).

13. Hokkaido's Shikaribetsuko Kotan – the beautiful village of ice. URL: <https://japantoday.com/category/features/travel/hokkaidos-shikaribetsuko-kotan-the-beautiful-village-of-ice> (дата обращения: 16.08.2017).
14. Как построить ледяное эскимосское жилье иглу с куполообразной крышей из снежных блоков. Технологии строительства иглу с наглядными схемами и фото. URL: <http://crovlya-krisha.blogspot.ru> (дата обращения: 17.08.2017).
15. Пашкова Л. А., Екимова М. А. Снежная и ледяная архитектура: Образование. Архитектура. Строительство: материалы Всероссийской научно-практической конференции по профилю «Проектирование зданий», г. Казань, 15-17 мая 2017 года / КГАСУ. 2017. С.73–78.
16. Ледяной аквариум в Японии // Клуб Вольных Ледорубов. URL: <http://ledovydom.ru> (дата обращения: 17.08.2017).
17. Frozen Aquarium in Japan – Kori no Suizokukan. URL: <http://freeartpics.blogspot.ru/2011/01/frozen-aquarium-in-japan-kori-no.html> (дата обращения: 17.08.2017).
18. Балакина Л. А. Временные поселения: история и градостроительное развитие // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 93–101.

Salyakhova M.R. – senior lecturer

E-mail: greta4336@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The architecture of ice and snow in Japan

Abstract

Problem statement. On the example of architecture of snow and ice in Japan, perform analysis of constructive solutions and construction technologies. And also to show the possibilities of the practical use of ice and snow as a material unusual, but quite durable and inexpensive raw material for the construction of seasonal structures.

Results. Identified features, advantages and disadvantages of a unusual architectural and constructive use widespread in nature material. Based on a study of the modern experience of erecting seasonal structures from ice and snow in Japan, they are classified according to some criteria.

Conclusions. The use of modern technology makes extensive use of snow and ice as renewable construction materials. And their physical-mechanical and structural properties provide an opportunity to create objects of different complexity.

Prospective application of these materials is due to the following factors. First, the creation of such unique structures does not require large economic costs. Secondly, the profitability of such facilities is obvious. Investments are profitable from a financial point of view, which contributes to the development of the tourism industry. And an important factor is the influence of such architecture on improving the cultural and cognitive attractiveness of Japan as a whole.

Keywords: snow, ice, ice architecture, building material, hotel complex.

References

1. Skupov B.A. Ice – familiar and mysterious building material // Архитектура и Строительство: information-analytical magazine. 2017. № 1 (141). URL: <http://www.ids55.ru> (reference date: 11.08.2017).
2. Ice sculptures. URL: http://www.reznoe.ru/articles155_270.php (reference date: 11.08.2017).
3. 5 most popular festivals of snow and ice sculptures in the world. URL: <http://www.moscovichka.ru>. (reference date: 12.08.2017).
4. Sapporo Snow Festival // Japan Guidebook. URL: <http://www.japanguidebook.com/sapporo-snow-festival-132/> (reference date: 12.08.2017).

5. Snow Festival in Sapporo. URL: <https://globalechos.wordpress.com/2012/02/11/sapporo-snow-festival-part-ii/> (reference date: 15.08.2017).
6. Snow festival in Sapporo, Japan (30 photos). URL: <http://udivitelno.com/creation/item/720-snezhnyj-festival-v-sapporo-yaponiya-30-foto> (reference date: 15.08.2017).
7. Sapporo Snow Festival 2015 Pics and Vids. URL: <http://www.japanesearch.com/sapporo-snow-festival-2015-pics-vids/> (reference date: 15.08.2017).
8. Sapporo Snow Festival. URL: <https://www.japan-experience.com/city-sapporo/the-snow-festival> (reference date: 15.08.2017).
9. Club Med Tomamu, Japan**New** / Global Travel Solutions / URL: <http://globaltravelsolutions.com.au/clubmed-ski-package/club-med-tomamu-japan/> (reference date: 16.08.2017).
10. 160111 Tomamu Ice Village. URL: <http://public.fotki.com/yhshuai/shuai-family/160110-14-tomamu-ski/page2.html> (reference date: 15.08.2017).
11. Ice mini-hotel. URL: <http://j-times.ru> (reference date: 16.08.2017).
12. Shikaribetsu Lake Kotan, Tokachi, Hokkaido / Flickr. URL: <https://www.flickr.com/photos/dgmckelvey/16105595051> (reference date: 16.08.2017).
13. Hokkaido's Shikaribetsuko Kotan – the beautiful village of ice. URL: <https://japantoday.com/category/features/travel/hokkaidos-shikaribetsuko-kotan-the-beautiful-village-of-ice> (reference date: 16.08.2017).
14. How to build a ice shelter eskimo Igloo, with a domed roof of snow blocks. Construction technology needle with illustrative diagrams and photos. URL: <http://crovlya-krisha.blogspot.ru>: (reference date: 17.08.2017).
15. Pashkova L. A., Ekimova M. A. Snow and ice architecture: Education. Architecture. Construction: materials of the All-Russian scientific and practical conference on the profile «Design of buildings», Kazan, May 15-17, 2017 / KGASU. 2017. P. 73–78.
16. Ice aquarium in Japan / Club Freestyle Ice Axes. URL: <http://ledovydom.ru>. (reference date: 17.08.2017).
17. Frozen Aquarium in Japan – Kori no Suizokukan. URL: <http://freeartpics.blogspot.ru/2011/01/frozen-aquarium-in-japan-kori-no.html> (reference date: 17.08.2017).
18. Balakina L. A. Temporary settlements: history and urban development // Izvestiya KGASU. 2016. № 3 (37). P. 93–101.



УДК 711.011:7206

Дембич А.А. – кандидат архитектуры, профессор

E-mail: grado@kgasu.ru

Закирова Ю.А. – кандидат архитектуры, доцент

E-mail: jzakirova@gmail.com

Латыпова М.С. – ассистент

E-mail: latypovamary@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Казань – ресурсы и перспективы полицентричного развития

Аннотация

Постановка задачи. Статья посвящена рассмотрению вопроса перехода от моноцентричной пространственной модели развития крупного города к формированию территориальной полицентричной структуры. Исследование актуально для города Казани как отображения нового этапа пространственного развития города.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выработке методики выявления и формирования центров функциональных концентраций, которые формируются в срединном и периферийном поясах городской структуры как ядра планировочных (или административных) районов и выравнивают функциональный дисбаланс характерный для моноцентричной модели. Центры становятся «катализаторами» развития городской застройки и постепенно «вытягивают» примыкающую городскую ткань. Методика апробируется на локальных территориях города Казани, в частности исследуется сложившаяся структура и ресурсный потенциал Приволжского района, его основные пространственные, социально-экономические характеристики, а также возможности и ограничения в их развитии.

Выводы. Таким образом, в авторском исследовании на тему «Полицентрия крупного города (на примере МО г. Казани)» выстроен понятийный аппарат, наиболее точно отражающий суть происходящих процессов пространственного развития территории города, сформирована методика, пошагово раскрывающая суть исследовательских, проектных действий по выявлению зон функциональных концентраций и формированию центров планировочных или административных районов, а также проведена апробация разработанной методики на примере МО г. Казани.

Ключевые слова: город, полицентричность, административный район, планировочный район, центры функциональных концентраций, центральные функции, ресурсы.

Казань, как и многие крупные отечественные города, в настоящее время находится в процессе перехода к постиндустриальной стадии развития [1]. Интерпретация этого этапа развития города в пространственном отношении ярко проявляется в более дифференцированном развитии отдельных городских территорий, в частности административных районов, а в некоторых случаях еще более локально, внутри границ административных районов. Так город от исторически сложившейся моноцентричной пространственной модели должен перейти к более сложной пространственной структуре – полицентрическому развитию. В 2017 г. была разработана Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года, в которой одна из семи стратегических целей декларирует следующее: высокое качество жизни на всей территории города поддерживается за счет полицентричности, обеспеченной транспортной связностью, уровнем развития инженерно-коммунальной инфраструктуры, и учитывающей самобытность сложившихся городских районов [2].

Полицентричная модель пространственного развития города строится на: 1) выявление особенностей структурно-функциональной организации локальных городских территорий и определении зон функциональных концентраций, которые складываются в срединном и периферийном поясах городской структуры, формируя центры планировочных или административных районов; 2) определении границ и поддержке ускоренного развития

общественных центров планировочных районов и отдельных локусов до общегородского (агломерационного) уровня, что позволит выровнять функциональный дисбаланс характерный для моноцентричной модели и повлечет за собой изменения и перестройку транспортной и инженерной инфраструктуры, жилого фонда [3, 4].

В основе полицентричного развития может лежать деление городской территории на планировочные (административные) районы. Планировочный район – это элемент крупного структурного членения города, границы которого образованы разделением территории города естественными барьерами – реками, путями сообщения и коммуникациями. Это территориально целостная структурно-планировочная часть города, в пределах которой возможна относительная сбалансированность связей циклов повседневной жизнедеятельности городского населения. В крупных городах население планировочного района может составлять в среднем 90-200 тысяч человек. Планировочный район может включать жилые и производственные зоны, зоны отдыха и пр.

Административный район – территория, границы которой не заданы естественными ограничениями, но при этом достаточно автономно управляемая и функционально целостная подсистема крупного города. В отечественных городах деление на административные районы было заложено в советское время на этапе централизованного планового развития и определялось распределением количества членов Райкомов партий на территории города. Именно поэтому огромная территория промзоны Оргсинтез закрепились за узкой селитебной территорией Московского района, несмотря на явную преграду в виде железной дороги, хотя планировочно больше тяготела к территории Авиастроительного района. Стремление к совпадению границ планировочных и административных районов является правильным трендом, но это влечет за собой институциональные изменения в городских административных структурах, их перестройку, что достаточно сложно сделать за короткий промежуток времени. Как тенденция на долгосрочную перспективу, изменение границ административного деления города в соответствии с его планировочной структурой должно быть заложено.

Во многом, полицентричная модель пространственного развития современного города это своеобразная интерпретация в новых социально-экономических условиях сложившейся в советский период ступенчатой системы обслуживания и соответствующей системы общественных центров, включая общегородской и специализированные центры, центры планировочных и жилых районов, промышленных районов и зон отдыха, а также общественные центры местного значения (микрорайонные и др.). Общегородской общественный центр представлял собой высшее звено в системе социально-культурного обслуживания. Общественные центры планировочных и жилых районов города – среднее звено, объекты повседневного обслуживания в микрорайонах и квартальной застройке, наиболее массовое звено в системе общественных центров. Благодаря этому звену жилая среда города относительно равномерно насыщалась элементами общественного назначения [5].

Ступенчатая система обслуживания населения обладала рядом достоинств. К ним можно отнести равномерность сети учреждений обслуживания и ее комплексность. Но не была лишена и недостатков: излишне теоретический характер деления на три ступени; измельченность и неэкономичность учреждений обслуживания в силу возрастания мобильности населения и развитие многообразия форм городского образа жизни; жесткая иерархичность и типизация объектов обслуживания существенно снижали уровень качества городской среды [6].

На современном этапе, с учетом особенностей социально-экономического развития в рамках развития концепции полицентричности крупного города более правомерна иная концепция системы обслуживания населения, порождающая и иную градостроительную терминологию [7]. Общественный центр города – это разветвленная иерархичная система, состоящая из: общегородского центра, центров планировочных районов, центров жилых районов и специализированных центров в различных функциональных зонах города, центров обслуживания в микрорайонной и квартальной застройке [8].

Центры планировочных районов берут на себя часть функций общегородского центра (уровень эпизодической ступени обслуживания), но уступают общегородскому центру по количеству и качеству объектов эпизодической ступени в аспектах

концентрации культурных и административных функций, а также по уникальности формирующих объектов. Центры планировочных районов обслуживают не только жителей этих районов: 1) каждый такой центр имеет свой уникальный сегмент, привлекающий население других районов; 2) центры планировочных районов лежат на трассах вылетных магистралей и являются «барьерами-фильтрами» для агломерационного пояса (сопряженное население).

Центры планировочных или административных районов являются точками роста территорий обозначенных как *зоны функциональных концентраций* на соответствующей городской территории. *Зоны функциональных концентраций* – это области, характеризующиеся высокой степенью урбанизации территории, транспортно доступные, со значительной концентрацией общественных функций, форм обслуживания населения, с многообразной и сложной функционально-планировочной структурой. В зонах функциональных концентраций формируется высокий уровень комфорта городской среды, что становится катализатором для улучшения средовых качеств на территории всего планировочного или административного района. Существенно изменится распределение рабочих мест и транспортных потоков на территории города, заметно возрастет количество архитектурно и привлекательных фрагментов городской среды. Всё это в совокупности отразится в дальнейшем на стоимости земли и недвижимости в различных планировочных районах города [9].

Специализированные (монофункциональные) центры – общественно-культурные, учебно-творческие, музейно-выставочные, спортивные и др.– важные элементы, за счет которых может происходить развитие общегородских центров и центров планировочных районов крупных городов в условиях перехода их к полицентрической организации. Они имеют объективную базу для возникновения в структуре крупных и новых городов, будучи связаны с процессом концентрации и интеграции городских функций в различных сферах. Отличительный признак специализированного центра – наличие и доминирование «базового» профиля специализации, который стимулирует проявление различных форм социокультурной деятельности [10].

Методика выявления зон функциональных концентраций и формирования центров планировочных или административных районов в разрезе полицентричности включает:

1. *Определение «центральных функций» универсального характера*, типичных для крупного города на стадии перехода к постиндустриальному развитию.

2. *Выявление сложившихся зон функциональных концентраций* с типичным перечнем объектов общественного назначения на территории районов на основе натурного анализа территории, картографических источников и градостроительной документации. Выявление зоны функциональных концентраций – основа формирования полифункциональных планировочных центров. Полифункциональные центры представляют собой территории с высокой интенсивностью использования и включают торгово-обслуживающие, зрелищные, гостиничные, деловые и др. функции.

3. *Определение «центральных функций» уникального характера*, сложившихся или актуальных (потенциальных) для каждой локальной территории, определяемых историческими, ландшафтными особенностями, социально-экономическим развитием, спецификой уклада жизни, размещением в структуре города. «Уникальные функции» могут определяться наличием объектов специфичных для города, присутствием объектов регионального, республиканского значения, спецификой связей с агломерационным поясом и пр.

4. *Оценка «внешней» связанности* зоны функциональных концентраций с другими внутригородскими центрами планировочных или административных районов или территориями опережающего развития в агломерационном поясе. Связанность может быть определена в двух аспектах – транспортная и ландшафтно-рекреационная.

Существующая транспортной связанности территории зоны функциональных концентраций с другими центрами планировочных или административных районов и узлами внешнего транспорта (железнодорожные вокзалы, автостанции, аэропорт, речной порт) оценивается наличием каркасообразующих направлений, проходящих через территорию и обеспеченностью общественным транспортом. Далее необходимо определить перспективы развития «зеленого» и транспортного каркаса территории, с точки зрения улучшения взаимной доступности подцентров в существующих

градостроительных документах (Схема территориального планирования примыкающего муниципального района, Генерального плана города).

Ландшафтно-рекреационная связанность территории зоны функциональных концентраций с другими центрами планировочных или административных районов или рекреационными узлами и зонами в агломерационном поясе оценивается возможностью формирования непрерывной системы озеленения с тесной увязкой с внутригородским ландшафтно-рекреационным каркасом.

5. *Оценка «внутренней» связанности* зоны функциональных концентраций как базы центра планировочного района с примыкающей застройкой через низовую улично-дорожную сеть, разветвленную систему общественных пространств. При выявлении «разрывов» необходимо определить перспективы развития и «доформирования» участков-связей через зеленые коридоры, систему пешеходных связей или развития УДС в существующих градостроительных документах (Проекты планировок территории) или внесения в них корректировок;

6. *Выявление территориальных резервов* для развития формирующихся зон функциональных концентраций, для понимания возможности дополнения существующих сегодня на территории «центральных функций» в зависимости от направлений перспективного общегородского и локального развития. Проводится путем анализа кадастровой карты, форм собственности на территории, наличия участков земли в муниципальной собственности, крупных собственников заинтересованных в развитии территории;

7. *Определение (уточнение) границ* центров планировочных или административных районов путем анализа плотности распределения объектов общественного назначения по территории района, через социологические исследования (опросы жителей, интервью экспертов), натурного (полевого) обследования с участием горожан и краудсорсинга (в том числе, нетнографии);

8. *Уточнение дальнейшего развития примыкающей застройки*, оценка необходимости реконструкции или внесения системных изменений в инженерную инфраструктуру района [11].

Для Казани сегодня полицентричное развитие опирается на существующую административную структуру. Административно город разделен на семь районов – Авиастроительный, Вахитовский, Кировский, Московский, Ново-Савиновский, Приволжский и Советский.

Так, методика выявления зон функциональных концентраций и границ и формирования центров планировочных или административных районов была апробирована в рамках разработки Концепции Генерального плана городского округа Казани выполненной Научно-проектным центром «Интерра» Казанского государственного архитектурно-строительного университета (2016 г.), а также в учебном курсовом проектировании магистров по профилю Градостроительство.

Исторический центр Казани (Вахитовский район) – это «ядро» системы общественного центра города, обеспечивающий широкий выбор видов деятельности для проведения культурного досуга, общественно-бытового и транспортного обслуживания жителей и гостей г. Казани. Мероприятия по преобразованию территории ядра городского центра должны включать:

1. Вынос из исторического центра города промышленных предприятий и коммунально-складских объектов или их перепрофилирование (участки малорентабельных и экологически вредных предприятий и производств, например, путевое хозяйство и складские территории центрального железнодорожного вокзала, меховое объединение «Мелита» – северный участок территории, фабрика «Заря», производственное объединение «Спартак» и др.).

2. Размещение на освобождающихся территориях исторического центра:

- общественно-деловых зон (в юго-западной части исторического центра между береговой зоной Куйбышевского водохранилища и железной дорогой);

- гостиниц, турквартир, высокоурбанизированного жилья с нежилыми функциями в нижних этажах;

- рекреационных зон (вдоль реки Волга от Кировской дамбы до Речного порта, вдоль озера Нижний Кабан и реки Казанка).

3. Максимальную разгрузку исторической застройки, памятников истории и культуры от существующих организаций, учреждений и предприятий административного, делового и производственного назначения и предоставление высвобождаемых площадей, зданий и сооружений под размещение общественных объединений, некоммерческих учреждений, уникальных этнографических комплексов («Старо-Татарская слобода»), полной номенклатуры учреждений высшей ступени культурно-бытового обслуживания населения.

Целью формирования новых общественно-деловых центров Казани в структуре других административных районов является постепенный перевод из исторического центра г. Казани (Вахитовского района) части центральных функций (например, административно-деловых). Предполагается сформировать ряд новых общественно-деловых центров (табл. 1).

Таблица 1

Центры административных районов г. Казани (проектное предложение)

административный район	полифункциональные центры административного района	характеристика
Приволжский район	пересечение ул. Р. Зорге и проспект Победы	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность;
	на Оренбургском тракте в районе РКБ и Восточного автовокзала Казань	- преобладающая функция – медицинское обслуживание; - уникальный сегмент – Республиканская клиническая больница; - транспортный стыковой узел с агломерационным поясом Казанской агломерации (с Высокогорским и Пестречинским муниципальными районами).
	общественно-деловой центр «Грузовой речной порт» – Иске-Таш – Яна Бистэ	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - уникальный сегмент – Речной порт, выход на акваторию Куйбышевского водохранилища; - транспортный стыковой узел с агломерационным поясом Казанской агломерации (водное сообщение с Верхнеуслонским муниципальным районом).
Советский район	общественно-деловой центр в районе Международного конно-спортивного комплекса «Казань»	- преобладающая функция – торговля, развлечения; - уникальный сегмент – ТРЦ «МЕГА».
	общественно-деловой центр «Компрессорный»	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - уникальный сегмент – Республиканский онкологический диспансер; - транспортный стыковой узел с агломерационным поясом Казанской агломерации (с Высокогорским муниципальным районом).

Продолжение таблицы 1

Московский район	общественно-деловой центр «Химград» на территории бывшего завода «Тасма»	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - уникальный сегмент – технополис «Химград».
	общественно-деловой центр в районе ТРЦ «Тандем»	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - уникальный сегмент – Казанский государственный энергетический университет; - активная транспортная связь с агломерационным поясом Казанской агломерации (с Зеленодольским муниципальным районом).
	общественно-деловой центр «Казань-2»	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - уникальный сегмент – ТПУ городского значения, в перспективе станция ВСМ; - активная транспортная связь с агломерационным поясом Казанской агломерации (с Зеленодольским муниципальным районом).
Кировский район	общественно-рекреационный центр «Адмиралтейская слобода»	- преобладающая функция – туризм и рекреация; - уникальный сегмент – концентрация ОКН и в перспективе самый крупный городской парк «Старое русло» (84 га); - протяженная береговая линия.
Авиастроительный район	в районе станции метро «Авиастроительная»	- преобладающая функция – деловая и коммерческая деятельность; - активная транспортная связь с новым жилым районом «Салават Купере» расположенном на периферии города.
Ново-Савиновский район	Пересечение ул. Чистопольская и пр. Хусаина Ямашева	- преобладающая функция – коммерческая деятельность и рекреация; - уникальный сегмент – парк «Континент»; Стадион «Казань-Арена»; ТЦ «Савиново», «Гуливер», «XL Дисконт-центр»;
	Казанская Ривьера	- преобладающая функция – туризм, рекреация; - уникальный сегмент – развлекательные, спортивные объекты (аквапарк «Ривьера», Дворец спорта «Татнефть Арена», «Центр водных видов спорта», Дворец единоборств «Ак Барс»).

К специализированным (монофункциональным) крупным подцентрам в структуре г. Казани можно отнести медицинские и образовательные кластеры, которые могут стать составляющим звеном полифункциональных центров административных районов (табл. 2).

Таблица 2

**Сложившиеся и перспективные специализированные (монофункциональные)
подцентры административных районов г. Казани**

административный район	медицинский кластер	образовательный кластер
Вахитовский район	Медицинский кластер в центральной части города (в границах улиц Горького, Ершова, Карла Маркса, Лейтенанта Шмидта, Толстого, Бутлерова) на базе РКБ-2, городской больницы скорой медицинской помощи № 2, бывшего военного госпиталя, объектов медицинского образования	- Казанский (Приволжский) федеральный университет (ул. Университетская); - Казанский государственный медицинский университет (ул. Бутлерова); - Казанский государственный архитектурно-строительный университет (ул. Зеленая – ул. Калинина).
Приволжский район	Медицинский кластер на Оренбургском тракте на базе РКБ	- Казанский государственный аграрный университет в районе Оренбургского тракта; - Казанский национальный исследовательский технологический университет на территории Смарт-Сити.
административный район	медицинский кластер	образовательный кластер
Советский район	Медицинский кластер на Сибирском тракте на базе Республиканского онкологического диспансера	- Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана на Сибирском тракте.
Московский район	-	- Казанский государственный энергетический университет на пересечении ул. Вахитова и ул. Декабристов.
Кировский район	-	
Авиастроительный район		- Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ в районе жилого массива Борисоглебское.
Ново-Савиновский район	-	-

Определение границ и проектное предложение по формированию центра административного района апробировано на примере Приволжского района города Казани. Приволжский район занимает южную часть города, включает часть Старотатарской и Новотатарскую слободы, южную промышленную зону. Население района – более 220 тыс. человек, площадь – 115,57 км². Согласно опросу экспертов, проведенному в рамках работы над Стратегией социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года Приволжский район Казани, обладает определенными ограничениями и возможностями в развитии. В частности, к ограничениям в развитии отнесены:

- отсутствие культурных, досуговых, развлекательных центров;
- транспортная перегруженность, пробки;
- отсутствие парков и открытых зон отдыха;
- наличие опасных промпредприятий, неэкологичность предприятий;
- нехватка детских садов, школ.

Экспертами выделены следующие возможности в развитии:

- большое количество новых спортивных объектов;
- промышленность;
- природная составляющая («зеленый район», система озера Кабан, малые реки);

- зоопарк как центр семейного отдыха;
- образ административного района как «Ворота города» (въезд и выезд из города, Речной порт, Автовокзал «Южный» на Оренбургском тракте) [12].

В рамках учебного процесса в курсовом проектировании магистров по профилю Градостроительство дисциплина «Концептуальное градостроительное проектирование» было сформировано проектное задание на выявление центра Приволжского административного района г. Казани. Согласно Методике выявления зон функциональных концентраций и формирования центров, планировочных или административных районов в разрезе полицентричности было проведено исследование, которое выявило следующее. На территории района есть сложившиеся центры на Оренбургском тракте и пересечении улиц Рихарда Зорге и проспекта Победы и потенциальный общественно-деловой центр «Грузовой речной порт» – Иске-Таш – Яна Бистэ.

Таким образом, в авторском исследовании на тему «Полицентрия крупного города (на примере МО г. Казани)» выстроен понятийный аппарат, наиболее точно отражающий суть происходящих процессов пространственного развития территории города, сформирована методика, пошагово раскрывающая суть исследовательских, проектных действий по выявлению зон функциональных концентраций и формированию центров планировочных или административных районов, а также проведена апробация разработанной методики на примере МО г. Казани.

Список библиографических ссылок

1. Хуснутдинова С. Р., Сафонова М. В. Демографическая ситуация урбанизированных территорий республики Татарстан // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12-2. С. 427–431.
2. Закирова Ю. А., Хуснутдинова С. Р., Юринова А. О. Формирование функционально-пространственной модели агломерационного пояса г. Казань // *Известия КГАСУ*. 2016. № 1 (35). С. 87–94.
3. Jaume Masip-Tresserra. Polycentricity, Performance and Planning // *Research for the Built Environment*. 2016. № 7. 350 с.
4. Mike Jenks, Daniel Kozak, Pattaranan Takkanon. *World Cities and Urban Form: Fragmented, Polycentric, Sustainable?* London: Routledge, 2013. 374 с.
5. Слука Н. А. Градоцентрическая модель мирового хозяйства. М. : Пресс-Соло, 2005. 168 с.
6. Смоляр И. М. Градостроительное планирование как система: прогнозирование – программирование – проектирование. М. : РААСН, 2001. 164 с.
7. Хуснутдинова С. Р. Урбанизированные территории как объект стратегического планирования и управления // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-2. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22743> (дата обращения: 27.07.2017).
8. Хуснутдинова С. Р., Дембич А. А., Закирова Ю. А. Социально-экологические факторы формирования комфортной среды урбанизированных территорий // *Географический вестник*. 2016. № 4 (39). С. 28–35.
9. Трутнев Э. К., Бандорин Л. Е., Гудзь Т. В. и др. Градорегулирование: Основы регулирования градостроительной деятельности в условиях становления рынка недвижимости. – М. : Фонд «Институт экономики города», 2008. 296 с.
10. Агаларова Е. Г. Кластерный подход как инструмент устойчивого развития сельских территорий // *Молодой ученый*. 2012. № 4. С. 92–95.
11. Переверзева Н. В. Метод комплексного анализа центрального планировочного района крупнейшего города // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2009. № 2. С. 27–35.
12. Claire Colomb. *Staging the New Berlin: Place Marketing and the Politics of Urban Reinvention Post-1989*. London and New York : Routledge, 2012. 358 с.

Dembich A.A. – candidate of architecture, professor

E-mail: grado@kgasu.ru

Zakirova J.A. – candidate of architecture, associate professor

E-mail: jzakirova@gmail.com

Latypova M.S. – assistant

E-mail: latypovamary@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Kazan – resources and prospects of polycentric development

Abstract

Problem statement. The article is devoted to the consideration of the transition from a monocentric spatial model of the development of a large city to the formation of a territorial polycentric structure. The study is relevant for the city of Kazan as a reflection of a new stage in the spatial development of the city.

Results. The main results of the research consist in developing a methodology for identifying and forming centers of functional concentrations that are formed in the middle and peripheral zones of the urban structure as the core of the planning (or administrative) areas and equalize the functional imbalance characteristic of the monocentric model. The centers become «catalysts» for the development of urban development and gradually «pull» adjoining urban fabric. The methodology is tested on the local territories of the city of Kazan, in particular, the existing structure and resource potential of the Volga region, its main spatial, socio-economic characteristics, as well as the opportunities and limitations in their development are explored.

Conclusions. Thus, in the author's study on the topic «The Polycenter of a large city (based on the example of the Kazan municipal formation)», a conceptual apparatus is constructed that most accurately reflects the essence of the ongoing processes of spatial development of the city's territory. A methodology is developed step by step revealing the essence of research, design actions for identifying zones of functional Concentration and the formation of centers of planning or administrative areas, as well as approbation of the developed methodology on the example of the Kazan municipal formation.

Keywords: city, polycentricity, administrative area, planning area, centers of functional concentration, central functions, resources.

References

1. Khusnutdinova S. R., Safonova M. V. Demographic situation of the urbanized territories of the republic of Tatarstan // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2015. № 12-2. P. 427–431.
2. Zakirova Yu. A., Khusnutdinova S. R., Yurina A. O. Formation of the functional-spatial model of the agglomeration belt in Kazan // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 1 (35). P. 87–94.
3. Jaume Masip-Tresserra. Polycentricity, Performance and Planning // *Research for the Built Environment*. 2016. № 7. 350 p.
4. Mike Jenks, Daniel Kozak, Pattaranan Takkanon. *World Cities and Urban Form: Fragmented, Polycentric, Sustainable?* London: Routledge, 2013. 374 p.
5. Sluka N. A. *Urban centric model of the world economy*. M. : Press-Solo, 2005. 168 p.
6. Smolyar I. M. *Urban planning as a system: forecasting – programming – design*. M. : RAASN, 2001. 164 p.
7. Khusnutdinova S. R. Urbanized territories as object of strategic planning and management // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. № 2-2.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22743> (reference date: 27.07.2017).
8. Khusnutdinova S. R., Dembich A. A., Zakirova Yu. A. Socio-ecological factors of formation of a comfortable environment of urbanized territories // *Geograficheskiy vestnik*. 2016. № 4 (39). P. 28–35.

9. Trutnev E. K., Bandorin L. E., Gudz T. V. Urban regulation: The Basics of Regulation of Urban Development in the Conditions of Real Estate Market Formation. M. : Fond «Institut ekonomiki goroda», 2008. 296 p.
10. Agalarova E. G. Cluster approach as an instrument for sustainable development of rural areas // Molodoy uchenyy. 2012. № 4. P. 92–95.
11. Pereverzeva N. V. The method of complex analysis of the central planning area of the largest city // Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN. 2009. № 2. P. 27–35.
12. Claire Colomb. Staging the New Berlin: Place Marketing and the Politics of Urban Reinvention Post-1989. London and New York : Routledge, 2012. 358 p.

УДК 712.25

Залетова Е.А. – старший преподавательE-mail: salen07@mail.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Возможности изменения ландшафтно-плотностных параметров застройки,
как современная парадигма планирования и реорганизации
урбанизированных поселений****Аннотация**

Постановка задачи. Цель статьи выявить ключевые структурообразующие параметры способные стать основной парадигмой современного планирования и реорганизации урбанизированных поселений.

Результаты. В результате исследования сформулирована необходимость переосмысления отношения к плотностным аспектам городской морфологии. Приводится новая формула планировочного развития урбанизированных территорий: плотность + ландшафт = устойчивый город. В качестве апробации данного подхода представлена работа по структурно-планировочной организации селитебного района в г. Казани. В ней показан результат того, каким образом ландшафтно-плотностные компоненты застройки способны изменить морфологию и создать сомасштабную и жизнеспособную среду.

Выводы. Значимость полученных результатов для градостроительной науки состоит в выявлении дифференцированных денсификационных стратегий способных привести к более высокому уровню устойчивости городской среды. Нарботанные практические приемы воплощения подобных стратегий могут быть применены в дальнейшем развитии урбанизированных территорий, как новых, так и уже сложившихся.

Ключевые слова: устойчивое развитие, компактный город, денсификация, ландшафтно-плотностные параметры, водно-ландшафтная инфраструктура.

Термин «устойчивость», впервые упомянутый в 1972 году в книге «Limits to Growth» и только спустя десятилетие ставший международной концепцией развития, достаточно многогранное понятие, но применительно к городу, обычно его характеризуют критерии экологичности и качества жизни, отсюда и возможность использования другого названия – эко-город. В устойчивом городе драйверами развития служат концепции адаптивности и инновационности города. В дальнейшем концепция устойчивости была расширена до социально-экономических аспектов и сбалансированного развития. Ричард Роджерс отмечает, что нигде использование концепции «устойчивости» не дает столь мощного и благотворного воздействия, как в городе. Польза от такого подхода потенциально настолько велика, что устойчивость окружающей среды, должна стать основополагающим принципом современного городского планирования¹.

В 1990 году Комиссия Евро Союза провозгласила **компактный город**, как **устойчивое урбанизированное поселение**. Идеология компактного города рассматривается как идеальная стратегия формирования более устойчивой урбанизированной структуры, которая основывается на денсификации и функциональном миксе застройки с высоким уровнем доступности общественного транспорта, что в конечном итоге должно повлиять на уменьшение автозависимости [1].

Плотностной критерий обладает широким спектром параметрических характеристик, отсюда его многогранность и сложность для однозначных оценок. Проблема заключается в том, что плотность напрямую влияет на процессы городского развития всех уровней, но в свою очередь подвергается воздействию неэффективного городского управления, устаревших планировочных стандартов и решений. Все большую актуальность приобретают вопросы эффективности планировочных решений, то есть оптимального использования земли, природных факторов, инфраструктуры, социальных

¹ Richard Rogers. Cities for a small planet. Faber & Faber, 1997. 180 p.

и экономических ресурсов. В этом отношении плотность урбанизированных территорий становится ключевым параметром, от которого напрямую зависит оптимальное соотношение инфраструктуры и землепользования [2].

Обычно различают два типа плотности: физическая плотность и воспринимаемая плотность. Физическая плотность подразумевает количественное измерение физических объектов или индивидуумов, находящихся на заданной территории, в то время как воспринимаемая плотность оценивает взаимоотношение индивидуумов с их окружением. Восприятие плотности более субъективно и рассматривает не только взаимодействие между человеком и окружением (пространственная плотность), но также и между людьми (социальная плотность). В качестве механизма оценки плотность служит для описания взаимоотношений между определенной территорией и определенными элементами, находящимися на ней, к ним могут относиться население, количество домохозяйств, обслуживание, площадь застройки или инфраструктуры. Плотность может рассматриваться как в качестве описательной характеристики среды, так и в качестве нормативного показателя. Но сложность в том, что не выработаны единые механизмы оценки и нормирования плотности, а кроме того этот показатель слишком «эластичен», чтобы с его помощью можно было сравнивать различные структурно-пространственные и типологические особенности застройки (рис. 1).

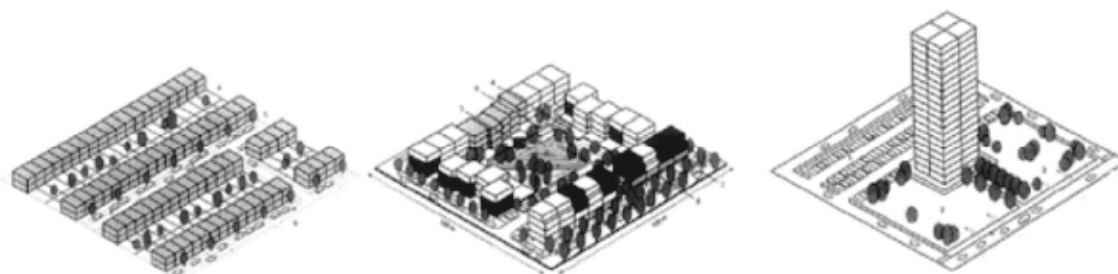


Рис. 1. Три участка с одинаковой плотностью (75 домохозяйств на 1 га), но различной морфологией

В сегодняшней градостроительной практике вариативность и многофакторность самой концепции плотности фактически не используется, а между тем именно плотность может стать инструментом управления как количественными, так и качественными параметрами, влияющими на формирование и преобразование морфологии застройки урбанизированных территорий.

Впервые термин *денсификация* (уплотнение) был введен в общепризнанную терминологию в 1987 году в докладе Объединенных Наций «Наше общее будущее». В нем говорилось о той роли, которую города и урбанизированные поселения будут играть в будущем в борьбе за устойчивое развитие территорий. С этого времени власти всех уровней по всему миру стали применять, с разной степенью успешности, урбо-стратегии в основе которых лежит идеология городской компактности, ядром которой и является денсификация урбанизированных территорий. Опыт применения подобных стратегий наглядно демонстрирует всю сложность городской проблематики, стоящей перед обществом. Применение различных стратегий воплощения модели компактного города подразумевает дифференцированную денсификацию в зависимости от контекста, но использование именно этого приема уже не оспаривается².

Во многих городах мира (Ванкувер, Роттердам, Берлин, Хельсинки, Осло...) накоплен значительный опыт в области денсификации, при этом считается, что денсификационные стратегии приводят к более высокому уровню устойчивости городской среды. Как ни парадоксально, но исследования показывают, что денсификация в сочетании с количественным и качественным ростом зеленой инфраструктуры с применением стратегии устойчивой мобильности, дают существенный рост всех аспектов

² Jenks M., Burton E., Williams K. The Compact City – A Sustainable Urban Form? London: E&FN Spon, 1996. 336 p.

жизнепригодности урбанизированной среды поселения. С тем, чтобы добиться экологического баланса в современном городе, необходимо переоценить привычное отношение к плотностным параметрам застройки, когда на первый план выходит новая парадигма 21 века: *плотность + ландшафт = устойчивый город*. Девиз *Densification + Greenification = Sustainable City* – становится лейтмотивом программ развития уже упомянутых выше городов. Роттердам в 2012 году к Пятому Международному Биеналле разработал по семь стратегий денсификации и гринификации центральной зоны города, которые в дальнейшем легли в основу программ городского развития с позиции *эко-плотности*. На рис. 2 показаны пиктограммы упомянутых выше стратегий денсификации и гринификации.

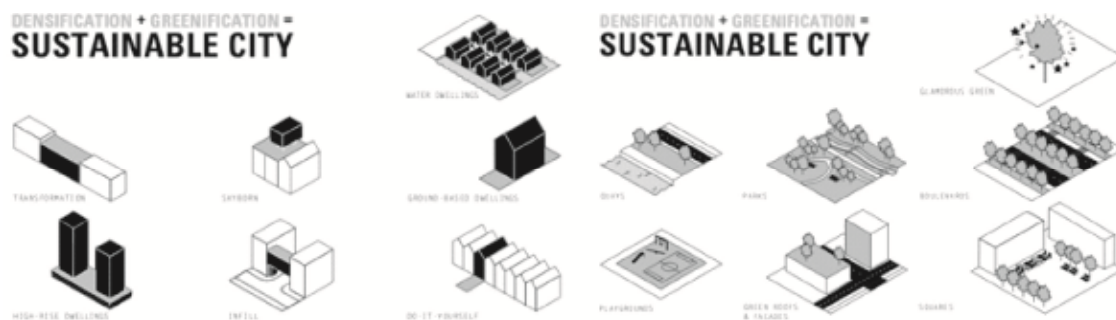


Рис. 2. Стратегии денсификации и гринификации центральной зоны г. Роттердама

Стратегия денсификации включает в себя следующую типологию объектов:

1. *Отдельно стоящие здания с автономными входами*. К ним относятся дома террасного типа, дома-патио и городские виллы. Наличие сада и вход непосредственно с улицы делают этот тип жилища привлекательным для семей.

2. *Дома на воде*. Обладают огромным потенциалом по реновации прибрежных территорий и созданию новых типов домов.

3. *Высотные здания точечного типа*.

4. *Трансформируемые объекты*, предполагается реновация бывших офисных зданий, промышленных объектов, парковок и т.д.

5. *Надстраиваемые объекты*, подобная стратегия предполагает широкий спектр типологических возможностей – от пентхаусов до застройки на плоских кровлях с активным освоением под общественные зеленые зоны.

6. *Объекты-вставки*, позволяют сделать жилые пространства более разнообразными и привлекательными, как правило, это мало масштабные объекты по типу дом-мост.

7. *Индивидуальные строения*.

Типология объектов в рамках стратегии гринификации:

1. *Бульвары*. Создание развитой единой системы зеленых коридоров, связывающих внутренние и внешние узловы элементы города.

2. *Набережные*. Реорганизация прибрежных зон в городские рекреационные пространства.

3. *Площади*, как жилые пространства города, обладающие индивидуальным своеобразием и насыщенные разнообразными функциями.

4. *Парки*, создание связанной сети парковых зон, находящихся в пешеходной доступности для большинства жителей.

5. *Спортивные площадки*. Формирование спортивных и игровых площадок для различных целевых аудиторий населения

6. *Зеленые крыши и фасады*. Создание третьего измерения зеленой инфраструктуры. Плоские кровли обладают значительными резервами для такого рода озеленения, помимо улучшения микроклимата они обладают определенным социально-экономическим потенциалом в зависимости от конкретного использования, от рекреационных до аграрных функций.

7. *Эксклюзивные зеленые пространства.* Размещение их возможно в наиболее посещаемых и запоминающихся центральных зонах города, при этом общественные пространства должны обладать особой индивидуальностью и качеством реализации, с тем чтобы стать ключевыми фокусами городской активности самого высокого уровня [3].

Эко-плотность, в качестве целеполагающей инициативы провозгласили в Ванкувере в 2006 году на Мировом Урбанистическом Форуме. Собственно это и стало истоком ландшафтно-плотностной парадигмы городского планирования, которая известна как *Ванкуверизм*.

Переосмысление сложившейся практики городского развития в рамках предложенной парадигмы требует определенного преодоления конфронтации между транспортной инфраструктурой, морфологией застройки и ландшафтом [4]. Попыткой апробации данного подхода стала работа по структурно-планировочной организации жилого района в г. Казани, выполненная в рамках дипломного проекта в 2016г.

Проектируемая территория площадью 125 га и численностью населения 17 250 человек расположена в 10 км от центра Казани, в западной части города – Кировском районе.

Цель проекта – создание компактного урбанизированного поселения, основанного на сбалансированном использовании автомобилей, приоритете общественного транспорта, и создании при этом комфортных условий для пешеходных и велосипедных сообщений, с развитой зеленой инфраструктурой.

Концепцией проекта стало создание своего рода суб-центра с культурно-информационной и бизнес направленностью – самодостаточное градостроительное образование, способное стать центром притяжения для жителей прилегающих территорий.

Акцент сделан на двух ключевых направлениях развития урбанизма сегодня: водно-ландшафтная инфраструктура и уменьшение автозависимости.

Основные задачи:

§ Активное взаимодействие с природными факторами территории. Применение современных стратегий управления поверхностным стоком с помощью зеленой инфраструктуры и, в связи с этим, – новая культура использования воды в городском пространстве.

§ Компактное поселение с достаточно высокой плотностью и связностью, со смешанной функциональной нагрузкой. При этом соблюдается стандарт открытого пространства – минимум 15 м² дворовых пространств, а в целом 25-30 м² дворовых пространств и парковых территорий, находятся в 300 м доступности от каждой квартиры.

§ Создание интегрированной пешеходно активной среды, формирующей «чувство места», с высоким уровнем доступности и приоритетом общественного транспорта

Общая схема генплана, показанная на рис. 3, стала примером реализации изложенных принципов, она дает возможность представить целостную картину преобразований на территории поселения.

Одним из ключевых компонентов структурно-планировочной концепции поселения стало создание *парквея*, своего рода зеленого коридора с одной стороны которого располагается фронт застройки, а с другой он примыкает к лесопарковой зоне. В основе проектного предложения по решению линейной структуры лежали три принципа:

- Связность;
- Активизация и насыщение функциями различных типов пространств;
- Использование общественного транспорта;

Парквей становится своеобразной осью, сосредотачивающей на себе разнообразные траектории движения. Территория превращается в своеобразный культурный коридор – на площадях могут проходить сезонные мероприятия, объединяющие жителей (рис. 4³). Основная идея была создать не только активный пешеходный променад, но и стимулировать использование общественного транспорта.

³ Проектное предложение представлено в дипломном проекте Ахмадуллиной А. Ф. «Проект планировки и застройки селитебного комплекса в г. Казани», 2016 г. Руководитель Залетова Е. А.

Фокусной точкой пешеходной инфраструктуры стало создание круговой пешеходной эстакады, которая будет служить знаковым элементом для жителей, наряду с непрерывным променадом, органично вписывающимся в структуру района [5, 6].

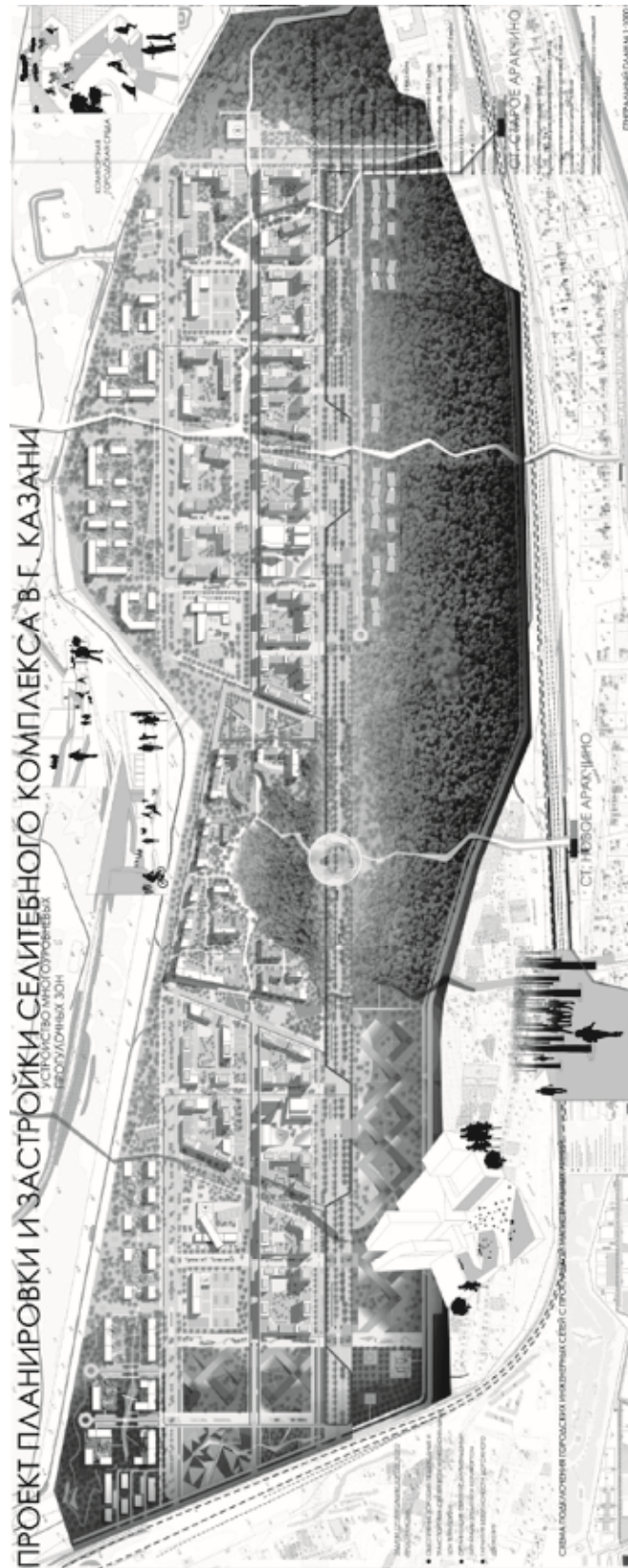


Рис. 3. Схема генплана проектируемой территории

Местоположение общественного центра, равноудаленного от всех объектов района, было, прежде всего, обусловлено лесным массивом, фактически вклинивающимся в застройку и ставшим основным композиционным элементом этой зоны.

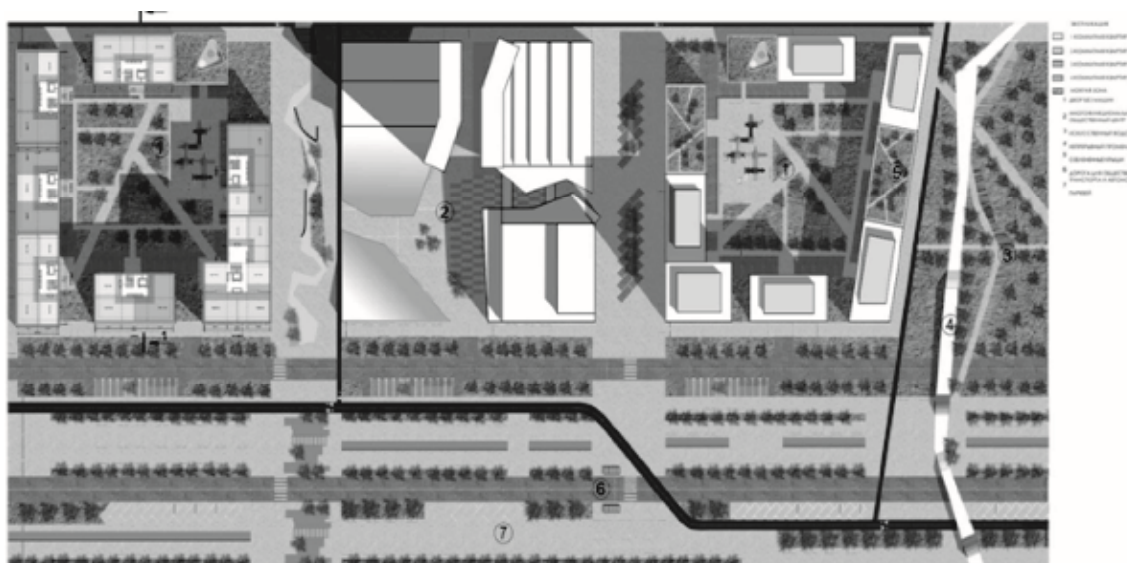


Рис. 4. Фрагмент парковья с локальным общественным центром

В общественную зону входят: культурно-развлекательный центр, оздоровительно-гостиничный комплекс, общественно-коммерческая зона со смешанной функциональной нагрузкой районного значения и выставочный центр. Проектом предполагалось создание, своего рода, «города-мастеров», т.е. разного рода ремесленнические мастерские станут визитной карточкой района, местом приложения труда и центром активности для жителей прилегающих территорий. Реализации этого замысла будет активно способствовать *«всесезонная пешеходная галерея»*, расположенная по наружному периметру застройки бизнес класса и общественных зданий [7, 8].

В основу морфологии жилых комплексов закладывалось активное взаимодействие между структурой застройки, общей инфраструктурой района, природной системой, коммуникационно-активной средой и человеком. Они могут, в определенном смысле, противостоять друг другу, но в тоже время они абсолютно взаимозависимы. Плотностное разнообразие застройки напрямую зависит от ее типологических характеристик. При этом стояла задача достичь оптимальных гибридных решений с точки зрения типологии, при максимальном разнообразии функциональных компонентов.

В проект закладывалась возможность органичного воплощения, так называемой *зелено-голубой* стратегии создания динамичного ландшафта, в котором вода становится ключевым компонентом поддержания комфортного микроклимата застроенных территорий.

Создание рекреационных зон предусматривает организацию общественных зеленых пространств, таких как паркеи, променады, покет-парки, жилые двory и площади с применением современных приемов эко-инжиниринга, подразумевающего использование естественных свойств ландшафта замедлять, отфильтровывать и абсорбировать ливневые стоки непосредственно в месте их соприкосновения с землей, создание большого количества влагопроницаемых покрытий в структуре дорог, создание «дождевых садов», применение в строительстве «зеленых крыш» для увеличения площади озеленения и организации резервуаров по сбору осадков. Основной концепцией ландшафтного развития являются современные устойчивые стратегии управления поверхностным стоком с помощью ландшафтной инфраструктуры, позволяющей создать комфортную, узнаваемую среду, с единой пешеходной и природной системой [9, 10]. Подобные решения приобретают особую актуальность, когда они интегрированы в общегородскую зелено-голубую инфраструктуру с активной социо-культурной направленностью.

Заключение

В настоящее время все чаще концепция плотности рассматривается как инструмент и возможность создания жизнепригодной среды в урбанизированных поселениях разных уровней развития. Это достигается путем тесной интеграции ландшафтной инфраструктуры, структурно-планировочной реорганизацией городской ткани и изменением структуры городской мобильности, которая, в свою очередь, подразумевает создание системы пешеходной мобильности, интегрирующей линейные и узловые компоненты пространственно-планировочной инфраструктуры города [5].

Неотъемлемой частью ландшафтной инфраструктуры современного города должна стать система управления водой, по сути это новая культура использования воды в градостроении, направленная на создание и восстановление экологической и гидрологической функциональности городских водотоков, создание устойчивой дренажной системы, основанной на природной очистке поверхностных стоков. Денсификация должна стать стимулом для разумного и интегрированного подхода к зелено-голубой инфраструктуре, во взаимодействии с функционально разнообразной коммуникационно-активной средой.

Проблемы городского развития слишком важны, чтобы их оставлять девелоперам, руководствующимся только интересами рынка, а это неизбежно приводит к экспансии низкоплотной субурбии [3]. Основная задача городского планирования состоит не в создании новой идеальной формы города, но в реорганизации уже сложившихся уникальных урбанизированных структур, с целью разработки планировочных стратегий адаптируемых к контексту.

Список библиографических ссылок

1. World Commission on Environment and Development, WCED. Our Common Future. URL: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (дата обращения: 20.05.2017).
2. Saglie L. Density and Town Planning: Implementing a Densification Policy. Utgåva. Oslo. The Norwegian institute for Urban and Regional research. 2010. 135 p.
3. Sander L., Lloyd S. Rotterdam – people make the inner city. Mediacenter Rotterdam, 2012. 119 p.
4. O'Toole R. The Myth of the Compact City Why Compact Development Is Not the Way to Reduce Carbon Dioxide Emissions. PolicyAnalysis, 2012. P. 1–23.
5. Исмагилова С. Х., Залетова Е. А. Формирование ландшафтно-рекреационного и транспортного каркасов городского округа г. Казань // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 110–117.
6. Исмагилова С. Х., Залетова Е. А. К вопросу градостроительного развития малого города // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 162–166.
7. Хуснутдинова С. Р., Дембич А. А., Закирова Ю. А. Социально-экологические факторы формирования комфортной среды урбанизированных территорий // Географический вестник. 2016. № 4 (39). С. 28–35.
8. Исмагилова С. Х., Залетова Е. А. Вопросы структурно-планировочных преобразований районов массовой жилой застройки // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 129–134.
9. Jeffrey Tumlin. Sustainable transportation planning: tools for creating vibrant, healthy, and resilient communities. Wiley, 2012. 310 p.
10. Mike Lydon & Anthony Garcia. Tactical urbanism. Island Press, 2015. 255 p.

Zalyotova E.A. – senior lecturer

E-mail: salen07@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The possibilities of change the green-dense features, as modern paradigm of planning and reorganization of the urban settlements

Abstract

Problem statement. The aim of the article is to reveal key structure-forming parameters capable to become the main paradigm of modern planning and reorganization of the urbanized settlements.

Results. Need of reconsideration of the attitude towards density aspects of urban morphology was formulated. The new formula of planning development of the urbanized territories is given: density + green = sustainable city. As approbation of this approach work on the structural and planning organization of the residential area in Kazan is presented. It's show the result of how landscape and density components of dwellings are capable to change the morphology and to create a scaly and livable environment.

Conclusions. The significance of the results obtained for the urban science consists in the differentiated densification strategies are able to lead to higher level of sustainability of the urban environment. Reorganization of the existing unique urbanized structures, for the purpose of development of planning strategy adapted to a context has to become the main objective of city planning. The acquired practical receptions of the embodiment of similar strategy can be applied in further development of the urbanized territories, both new, and already developed.

Keywords: sustainable development, compact city, densification, dense and green features, blue-green infrastructures.

References

1. World Commission on Environment and Development, WCED. Our Common Future. URL: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (reference date: 20.05.2017).
2. Saglie L. Density and Town Planning: Implementing a Densification Policy. Utgåva. Oslo. The Norwegian institute for Urban and Regional research. 2010. 135 p.
3. Sander L., Lloyd S. Rotterdam – people make the inner city. Mediacenter Rotterdam, 2012. 119 p.
4. O'Toole R. The myth of the compact city why compact development is not the way to reduce carbon dioxide emissions. PolicyAnalysis. 2012. P. 1–23.
5. Ismagilova S. H., Zaletova E. A. Forming of Landscape-Recreational and Transport Frameworks of the City of Kazan // Izvestiya KGASU. 2016. № 3 (37). P. 110–117.
6. Ismagilova S. H., Zaletova E. A. To the question of urban development of a small town // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 162–166.
7. Khusnutdinova S. R., Dembich A. A., Zakirova Yu. A. Socio-ecological factors of the comfortable environment formation in urban areas // Geograficheskiy vestnik. 2016. № 4 (39). P. 28–35.
8. Ismagilova S. H., Zaletova E. A. Questions of restructuring of large scale housing estates // Izvestiya KGASU. 2015. № 4 (34). P. 129–134.
9. Jeffrey Tumlín. Sustainable transportation planning: tools for creating vibrant, healthy and resilient communities. Wiley. 2012. 310 p.
10. Mike Lydon & Anthony Garcia. Tactical urbanism: Island Press. 2015. 255 p.

УДК 711

Смолова М.В. – доцент

E-mail: smolova5@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, Казань, ул. Зеленая, д. 1

Типологическое многообразие сетей метрополитена как отражение пространственно-планировочной структуры города

Аннотация

Постановка задачи. Анализ действующих, строящихся, проектируемых систем метрополитена в более чем 100 городов мира позволил проследить **зависимость их типа от структуры уличной сети** города как важнейшей составляющей планировочной структуры города в целом. Не вызывает сомнения такая же зависимость системы метрополитена от другой составляющей – характера распределения и концентрации функций в городе, о чем свидетельствует рассмотренный опыт проектирования и строительства метрополитена в Лондоне, Нью-Йорке, Париже, Токио, Москве.

Результаты. В результате анализа развития сетей метрополитена различных городов мира выявились их основные типы: линейный, радиальный, сложно-разветвлённый, разветвлено-замкнутый, радиально-кольцевой, диагонально-решетчатый.

Выводы. Выявление соответствия типа метрополитена типу планировочной структуры города открывает возможность целенаправленного выбора оптимального решения сети и сокращения рассматриваемых вариантов развития метрополитена.

Ключевые слова: сеть подземных линий метрополитена, планировочная структура города, тип сети, пересадочный узел.

Каждому этапу развития метрополитена соответствует свой тип сети; усложнение сети ведёт к изменению её типа. Таким образом, процесс развития метрополитена сопровождается эволюцией его типологических признаков, что позволяет говорить о **типологии сетей метрополитена** (рис. 1).

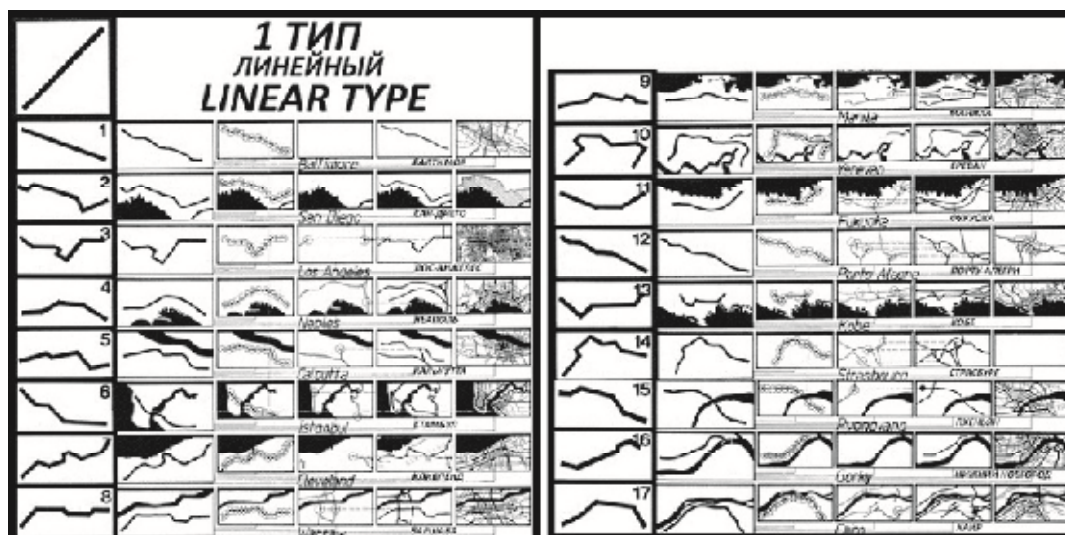


Рис. 1. Линейный тип сети метрополитена

Линейный тип сети метрополитена

В настоящее время этот тип в качестве самодостаточной системы используется лишь в линейных городах, расположенных вдоль берега при ограниченном поперечном росте города с одной стороны условиями горного ландшафта, с другой – водным пространством. Так, например, в приморском Фукуоке, линия метро проходит вдоль береговой линии, подчёркивая основную ось центральной улицы.

В Калькутту, расположенном вдоль берега реки Хугли по обеим её сторонам, план города имеет в основном ортогональную структуру с широкими и прямыми центральными улицами, кривыми и узкими – второстепенными. Линия метро проходит под главной улицей города, в основном повторяя её трассировку.

Проливы Босфор и Золотой Рог делят Стамбул на три части: Стамбул, Бейоглу и Ускюдар. Стамбул – самая старая часть города, расположенная вдоль южного побережья Золотого Рога. Линия метро имеет криволинейную форму, проходя параллельно проливу под узкими и кривыми улочками, не всегда совпадая с их направлениями.

Неаполь амфитеатром развернулся на залив у подножия Везувия. Восточная часть этого амфитеатра включает старый город с деловым центром. Под плотно застроенными кварталами, разреженными обширными площадями и прямыми улицами параллельно береговой полосе проходит криволинейная линия метрополитена, в основном не совпадая с прямоугольной планировкой центра.

Кобе расположен на берегу Осакского залива острова Хонсю и занимает прибрежный участок, ограниченный крутыми склонами горного хребта Рокко. Улицы города тянутся вдоль побережья, их повторяет линия метрополитена.

Подчеркивая линейную планировочную структуру города Манилы, линия метрополитена связывает две части города, разделённого рекой Пасиг.

Вместе с этим, анализ функционирования линейного типа метрополитена в городах с различной планировочной структурой указывает на его повсеместную распространённость в качестве первой линии метрополитена, а в дальнейшем – одной из подсистем более сложного типа.

На первом этапе развития формируется линейный тип сети метрополитена, представляющий собой линию длиной не более 20 км и количеством линейных станций от 6 до 25, связывающую периферийные зоны города с историческим центром и проходящую по направлению наиболее мощного потока городского транспорта, непосредственно под центральной улицей (рис. 1). Так, например, в Нью-Йорке первый подземный железнодорожный тоннель проходил под главной улицей Бродвей, в Париже – первая линия метрополитена проложена с запада на восток по направлению Елисейских полей; в Токио первая линия проходила вдоль главной улицы между Уэно и Асакуса; в Филадельфии – под главной магистралью Маркет-стрит и т.п. [1].

В городах, где в настоящее время ведётся проектирование или строительство первой линии метрополитена, её конфигурация находится в прямой зависимости от реальных градостроительных, ландшафтных характеристик города и в первую очередь от сетки улиц. Так первая линия метрополитена Варшавы запроектирована в полном соответствии с прямоугольной планировкой города под главной магистралью, на левом берегу реки, где располагается центр города с широкими и прямыми улицами.

Конфигурация проектируемой первой линии метрополитена Лос Анжелеса определена планировочной структурой города, где ломаная линия точно копирует прямоугольную структуру жилых кварталов центра города.

В зависимости от конкретной градостроительной ситуации конфигурация линий метрополитена может быть идеально прямой, ломанной или криволинейной. Она может совпадать и не совпадать с направлением главной улицы или сетки улиц, что в первую очередь определяют геологические и гидрогеологические условия города. Так, например, линии **глубокого заложения** сооружаются, в основном, в районах с плотной исторической застройкой при неблагоприятных гидрогеологических условиях. Линии **мелкого заложения** прокладываются под поверхностью улиц по направлению их главных пассажиропотоков. Близость к поверхности земли резко сокращает затраты времени на подход к остановочным платформам. **Эстакадные (наземные) линии** экономически допускаются, как правило, на коротких участках в сопряжении с речными переходами и транспортными развязками в нескольких уровнях, проходят по основным магистралям, совпадая с их направлениями. **Наземные линии** сооружаются в том случае, если для них может быть выделена обособленная полоса, отдаленная от жилой застройки не менее чем на 60 м. Такие участки строятся по широким магистралям в новых жилых районах или на вылетных линиях в пригородную зону города.

Радиальный тип сети метрополитена

С вводом в действие второй линии образуется радиальный тип сети метрополитена, составленный двумя взаимопересекающимися линиями, формирующими пересадочный узел в центре города у железнодорожного вокзала. Как самостоятельно функционирующий тип сети встречается крайне редко, в основном, в случае регионального экспресс – метрополитена, как например, в Сан-Франциско, где он служит для связи центра города с Оклендом, откуда линии по четырём направлениям расходятся вглубь агломерации. Такой радиальный тип экспресс – метрополитена протяженностью 22,4 км связывает штат Нью-Йорка с Нью-Джерси, проектируется в Белу Оризонти и Ресифи (рис. 2).

Как промежуточная стадия развития более сложных типов сети (сложно-разветвлённого, радиально-кольцевого и т.д.) в настоящее время строится в Баку, Тбилиси; действует в Киото, Роттердаме; планируется в Багдаде – исторически сложившихся городах для связи периферийных жилых районов с центром города.

Гипотетически возможен случай пересечения в одном узле более двух линий метрополитена, однако как самостоятельная система практически не встречается, становясь в этом случае частью другого типа сети.

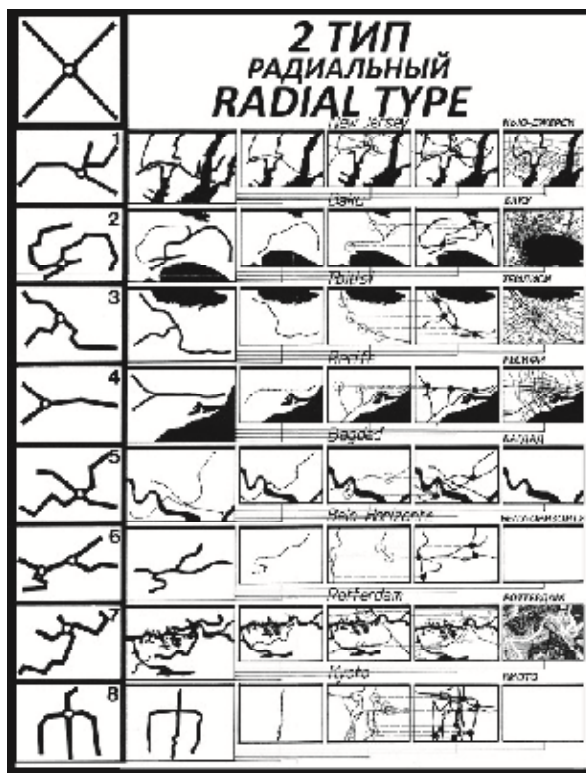


Рис. 2. Радиальный тип сети метрополитена

Сложно-разветвлённый тип сети метрополитена

Сложно-разветвлённый тип сети составляют три и более линий метрополитена, образующие сложный центральный узел – целый куст пересадочных станций, в которых происходит ветвление системы от центра к периферии, где линии снова разветвляются. Характерен для городов со свободной естественно-сложившейся в сложных ландшафтных условиях планировочной структурой, для которых специфична отдалённость жилых районов от центра и их разобщенность. Сходясь в одном тоннеле в главных планировочных узлах, линии затем разветвляются в периферийных зонах, где территорию прорезает множество рек и густая сеть каналов (рис. 3).

Это можно наблюдать в Осло, Стокгольме, Бостоне, наконец, в Рио-де-Жанейро, где сеть метрополитена простирается по узкой прибрежной полосе и склонам гор, окаймляющих бухту Гаунабара [2].

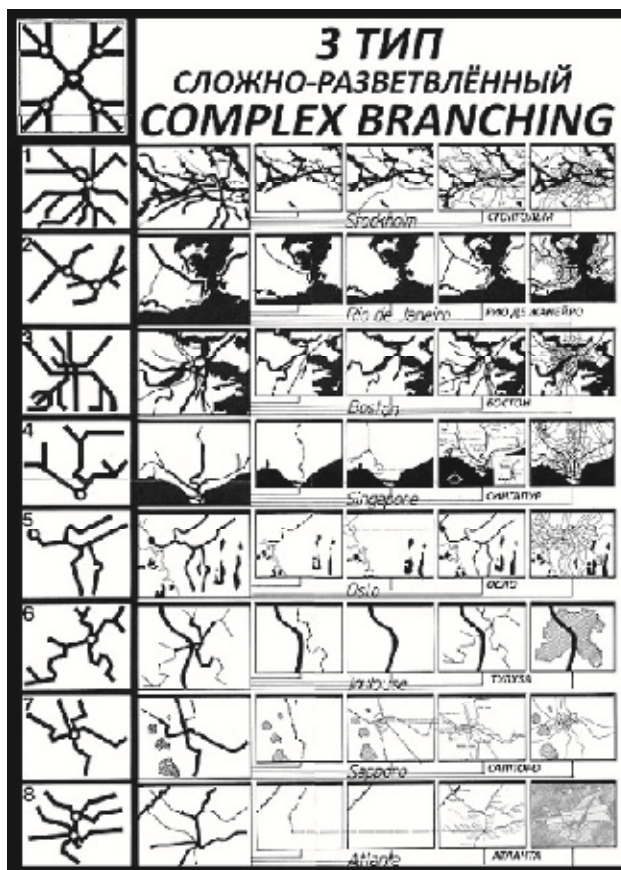


Рис. 3. Сложно-разветвлённый тип сети метрополитена

Свободная планировочная структура Осло, с центром, расположенном на берегу Фиорда, эксцентричная по отношению к основному пятну города, допускала применение только разветвлено-сложного типа сети метрополитена, многочисленные линии которого соединялись в одном тоннеле – в пересадочном узле городского центра. Сеть железнодорожных линий Осло представляет собой зеркальное отражение сети метрополитена. Это привело к тому, что в Осло сформировался уникальный пересадочный узел, взявший на себя функцию связи всех направлений рельсового транспорта города.

Разветвлённо-замкнутый тип сети метрополитена

Разветвлённо-замкнутый тип сети представляет собой развитие многолинейного типа сети метрополитена и служит своеобразной альтернативой сложно-разветвлённому типу, когда многократное разветвление линий заменяется вводом самостоятельной линии, а вместо центрального, порой весьма сложного узла (см. пример Осло) образуется треугольная структура в центральной части города, объединяющая от 6 и более пересадочных узлов-станций и чаще всего большое количество линейных станций между ними.

Гибкость этой наиболее распространённой в настоящее время в проектной действующей практике структуры позволяет использовать её в городах с радиальной (Каир, Прага, Брюссель), радиально-кольцевой (Киев, Минск, Бухарест, Новосибирск), свободно-разобщенной (Гон-Конг, Хельсинки), прямоугольной планировкой центра (Каракас, Пусан и др.), а также в различных геологических, ландшафтных и градостроительных условиях, где чётко прослеживается тенденция изменения глубины заложения тоннелей от центра к периферии (в центральной части города – линии глубокого заложения, не совпадающие со структурой уличной сети; в серединной зоне – мелкого заложения; в периферийной – наземные участки). Во всех этих случаях, в зависимости от количества сходящихся к центру линий образуется одна, две и несколько треугольных структур метрополитена, составляющих основу центрального узла. Так,

одна треугольная структура метрополитена составляет основу центрального узла Праги, Нюрнберга, Минска, Ташкента, Киева, Софии и др.; две – Алжира, Новосибирска и др.; более двух – Брюсселя, Ганновера, Гон-Конга, Хельсинки и др.

В Каире, расположенном на правом берегу Нила и имеющем исторически сложившуюся радиальную планировку, первая ломанная линия метро прошла вдоль реки, а две другие пересекли её так, что образовались две треугольные структуры, вписанные в конфигурацию узких и кривых улиц центра города.

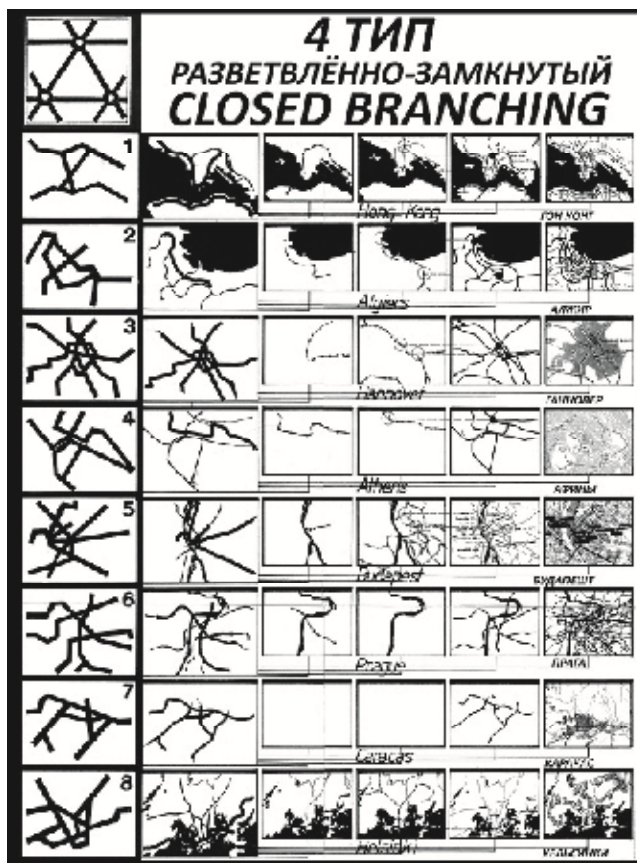


Рис. 4. Разветвлённо-замкнутый тип сети метрополитена

В центре Праги наличие исторически ценной застройки по обеим берегам Влтавы потребовало глубокого заложения тоннелей, образовавших здесь один треугольник станций метрополитена. На окраинах города характер современной застройки позволил прокладывать линии на сравнительно небольшой глубине под основными магистралями.

Сочетание разветвлено-замкнутого типа сети с радиально-кольцевой планировкой города встречается в Нюрнберге, Бухаресте, Киеве, Минске, Новосибирске – где сложная историческая планировка центра ведёт к созданию треугольной структуры станций метрополитена.

В случае Каракаса, расположенного в горной долине Береговых Анд, и в Пусане на юге корейского полуострова мы встречаем применение этого типа сети к условиям прямоугольной планировки.

В Хельсинки, занявшем целый архипелаг островов и полуостровов, с его свободным и сильно расчленённым планом линии метрополитена разветвлено-замкнутого типа проходят глубоко под центром старого города, не всегда совпадая с основными направлениями улиц и вылетают на мосты и виадуки в периферийных районах (рис. 4).

Радиально-кольцевой тип сети метрополитена

Радиально-кольцевой тип сети включает две подсистемы метрополитена – радиальную и кольцевую (одной кольцевой линией представлен метрополитен Глазго). Чаще всего имеет

сложный пересадочный узел в центре города и ряд двух и более линейных пересадочных узлов на пересечении радиусов с кольцом. Специфика этого типа сети метрополитена состоит в возможности его использования не только в городах с радиальной (Петербург, Баку, Марсель, Мюнхен) и радиально-кольцевой (Париж, Москва, Вена, Амстердам, Лондон, Мадрид, Дамаск, Рим, Лиссабон) структурой, но также и в исторически сложившихся городах с правильной прямоугольной планировкой центра (Нагоя, Сеул, Пекин).

В разработке перспективной сети метрополитена Марселя, Баку, Петербурга мы встречаем случай совмещения радиально-кольцевого типа метрополитена с радиальным планом города.

Взаимосвязь радиально-кольцевой планировочной структуры города и типа метрополитена можно проследить на примере проектных предложений генплана Москвы 1930 г., когда решалась важная проблема выбора для города определённого типа сети метрополитена.

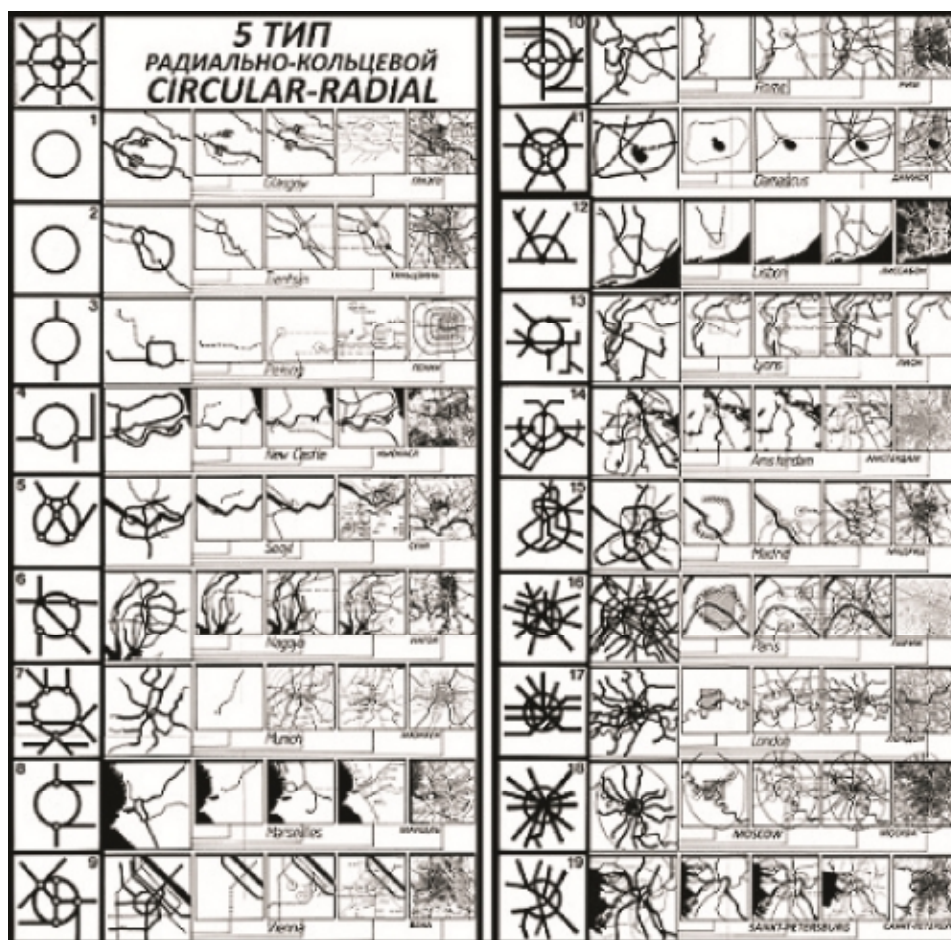


Рис. 5. Радиально-кольцевой тип сети метрополитена

В своём проекте перепланировки Москвы С.С.Шестаков разрабатывает радиально-кольцевую сеть метрополитена, в которой полностью отразились черты, предлагаемой им планировочной структуры: интенсификация застройки в пределах окружной дороги, формирование еще нескольких колец более редкой застройки, периферийное размещение огромных жилых образований, разобщение между собой промышленно-деловых районов. Следуя этому плану радиально-кольцевой метрополитен получает вид «рыхлой» размашистой сети.

Г.Б. Красин, учитывая специфику планировочной структуры города и в целом сохраняя поэтому радиально-кольцевую систему метрополитена, вносит в нее свои коррективы, связанные с приоритетным направлением развития города. Его схема основана на пересечении двух вылетных диаметров (юго-восток – северо-запад; юго-

запад – северо-восток) протяженностью более 50 км каждый и двух разомкнутых колец, на которые опирается своя система радиальных линий.

Важным для современного градостроительства является его теоретическое положение о том, что доступность в современных городах нужно измерять не расстоянием, а количеством затраченного времени на его преодоление. В этом положении ясно звучит мысль о дифференциации метрополитена по скоростям движения, сегодня положенное в основу многообразия видов метрополитена (РЭМ, претметрополитен, метрополитен облегченного типа и т.д.) [3].

Курт Майер предусматривает создание радиально-кольцевой системы метро на принципе обслуживания метрополитенов всех районов Москвы. Берёт за основу исторически-сложившуюся радиально-кольцевую структуру города, исправляя её рядом новых кольцевых магистралей, радиальных и, главным образом, тангенциальных направлений. Сокращает число пересечений линий метрополитена в центре города за счёт выпрямления двух диаметров, проходящих с севера на юг. Кроме этого проектирует кольцевое движение по бульварному кольцу и ломанную, разомкнутую, полукольцевую линию метро, охватывающую восточную часть города.

В.В. Кратюк, сохраняя радиально-кольцевую структуру Москвы только в центральной части города, разрывает исторические кольца в серединной зоне, таким образом, намечая развитие города в нескольких направлениях, в приоритетом – восточного. Преимущественное развитие на восток получила и сеть метрополитена протяженностью 57,2 км, сохраняя при этом свою радиально-кольцевую структуру.

В проекте Ганнес Майера предлагалось значительное территориальное расширение Москвы при сохранении общей радиально-кольцевой структуры города. Построенная на этом же принципе радиально-кольцевая сеть метрополитена, состоящая из трёх колец (внешнего скоростного движения) протяженностью более 65 км и целый веер радиусов, обслуживает спутники в восточном секторе агломерации.

В Лондоне, имеющем радиально-кольцевую планировочную структуру города с узкими и кривыми улочками центра сеть метро состоит из 9 разветвляющихся радиальных линий, охватывающих центральную часть города. Направления основных линий соответствует главным магистралям: Оксфорд-стрит, Пикадилли, Холборн, Ридженс и др.; более 120 пересадочных узлов расположенных под главными площадями, транспортными развязками, общественными и деловыми центрами.

Перечисленные примеры приводят к выводу, что радиально-кольцевому типу планировочной структуры города чаще всего соответствует и радиально-кольцевой тип сети метрополитена. При частичном изменении структуры уличной сети города и возникновением новых жилых районов изменяется и конфигурация линий метрополитена, но общая структура сети метрополитена остается постоянной.

Так, метрополитен Вены, повторяя в целом радиально-кольцевую систему города, одновременно развивает в то же время два касательных направления к центру города. При сохранении компактности и насыщенности исторически сложившегося центра это создаёт условия линейного развития центра и формирования пешеходных зон Кертнер, Штрассе, Стефанплац, Грабен. Таким образом, при сохранении преемственности исторически сложившейся структуры города преодолевается её замкнутость, план центра приобретает современный открытый характер (рис. 5).

При ортогональной сети улиц в центре городов также может применяться радиально-кольцевой тип сети метрополитена.

Центральный район Нагои – Нака (старинное ядро города), имеющий прямоугольную планировку, окружен линией метрополитена. То же самое мы видим в Сеуле и Пекине.

Диагонально-решётчатый тип сети метрополитена

Представлен, как правило, ортогональной сетью метрополитена, дублирующей (под или над землёй) сетку городских улиц. Наибольшее распространение этот тип получил в высоко урбанизированных городах США и Японии [4, 5].

В Чикаго наземные линии метрополитена (начала века), проходящие вдоль побережья, естественно дублируют прямоугольную сетку улиц. Новые диагональные

трассы метрополитена (также наземные) совпадают с существующей сетью внутригородских железных дорог и сопутствующих им улиц (рис. 6).

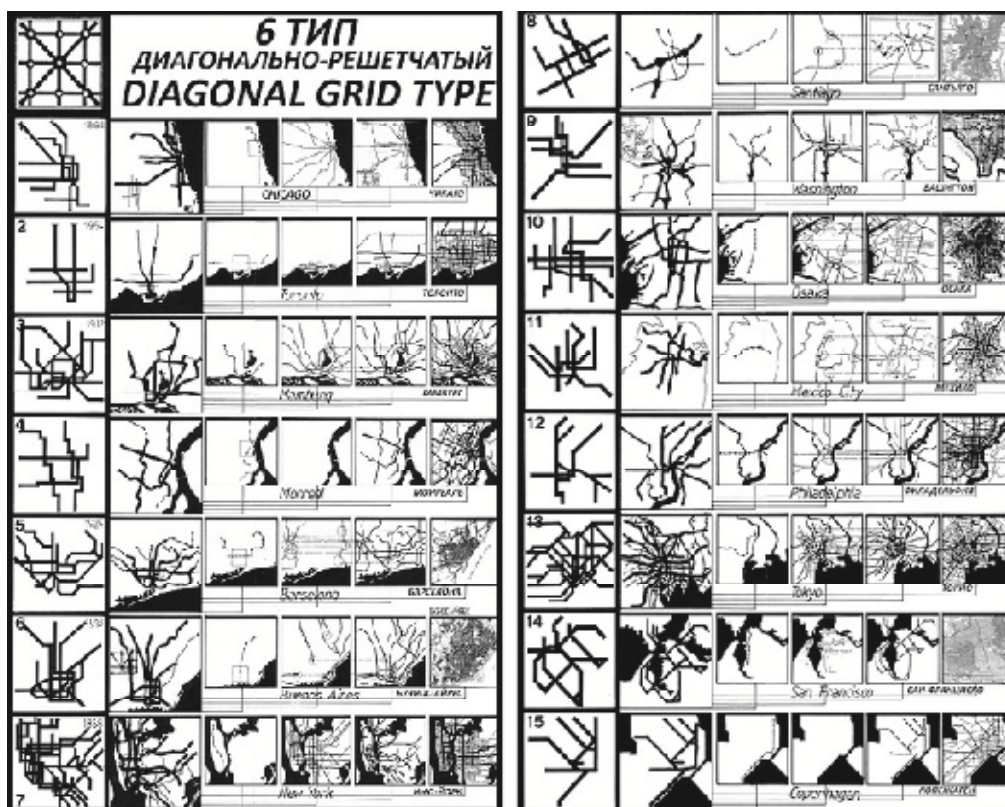


Рис. 6. Диагонально-решетчатый тип сети метрополитена

Тот же диагонально-решётчатый тип сети наложен на прямоугольно-диагональную сетку улиц Вашингтона и Филадельфии. Эти примеры можно проследить также в Нью-Йорке, Токио, Осака, где прямоугольно-диагональная сеть метрополитена также находится в полном соответствии с их планировочной структурой [6, 7, 8].

Таким образом, как и всякий другой тип диагонально-решётчатый вызван к жизни соответствующей ему планировочной структурой города.

Накопленный в мире опыт строительства метрополитена отрицает умозрительное положение Ле Корбюзье о том, что «линии метрополитена ни в какой мере не связаны с сетью существующих улиц», что «основной принцип для метрополитена – проходить насквозь по прямой линии..., ибо устроенный под землю или, пройдя по трубам, по воздуху, он избегаем влияния земли». (Ле Корбюзье, проект реконструкции Москвы, 1931 г.).

Именно поэтому диссонансом звучат предложения, в которых сеть метрополитена не отвечает планировочной структуре города. Так бригадой ВОПРА (В.В. Бабуров, А.А. Карпов, Кычаков) в проекте 1931-1932 гг. была сделана попытка изменить радиально-кольцевую планировочную структуру города. Прорезая Москву ортогонально-замкнутой сетью метрополитена (протяженностью 77,2 км почти прямоугольной формы, не выходя за пределы Окружной железной дороги и новыми 8 диаметрами), бригада попыталась превратить его планировку в прямоугольную. Однако изменить структуру города с помощью сети метрополитена невозможно: тип сети метрополитена проектируется в зависимости от планировочной структуры города, а не наоборот.

Эрнст Май, проектируя Москву как город-коллектив, связанный со своими спутниками – спутниками – сателлитами сложно-разветвлённой сетью метрополитена, полностью исключает из неё кольцевые связи, тем самым, игнорируя радиально-кольцевую планировку сложившегося городского ядра. Это могло привести лишь к одному – беспрецедентной перегрузке центрального пересадочного узла, с которой он не в состоянии был бы справиться.

Заключение

Каждый из типов сети может представлять собой самостоятельную систему, соответствующую особенностям планировочной структуры города. Рассмотрение типа сети конкретного города, его последовательного усложнения демонстрирует реальную картину эволюции данной системы (рис. 7).

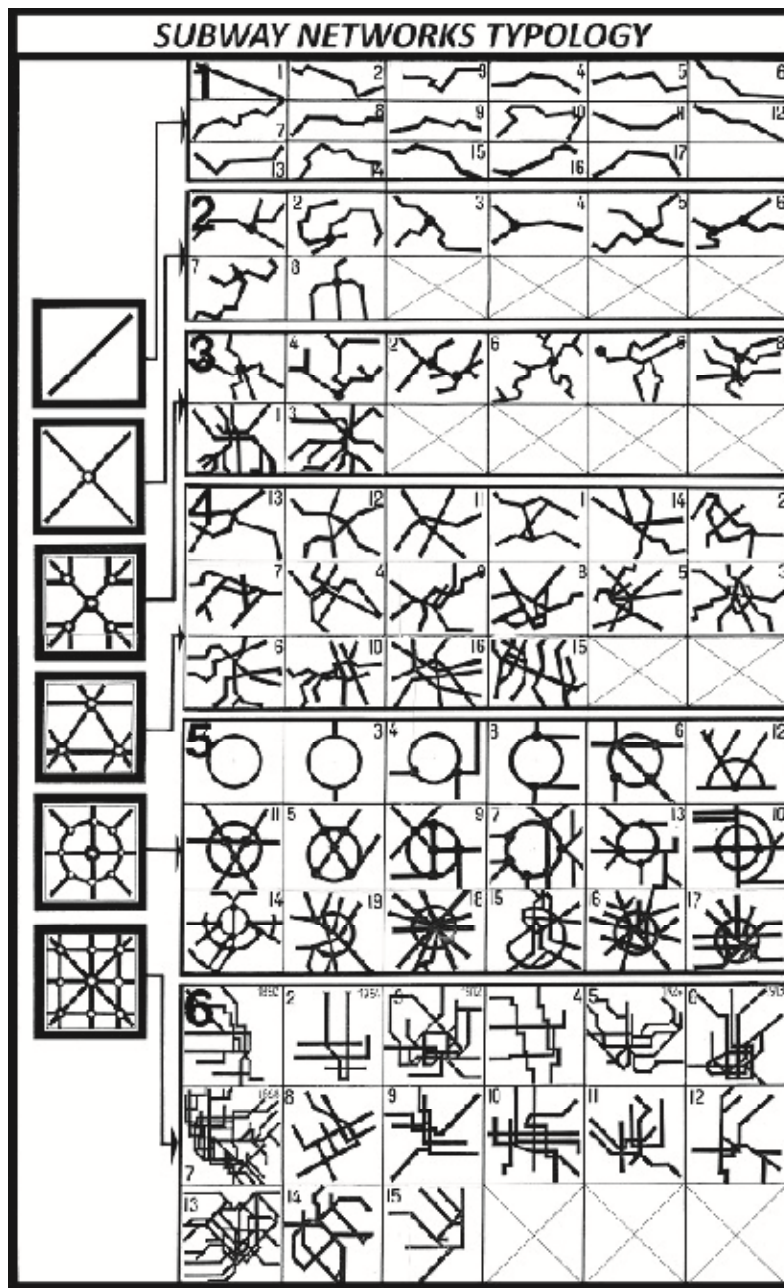


Рис. 7. Типология сетей метрополитена

В процессе своего развития от простой к более сложной (что характерно для абсолютного большинства крупнейших городов с метрополитеном) система достигает пределов возможного применения, после чего дополняется новыми элементами, что ведёт к её перерождению в другой тип системы. В результате формируется «КОМПОЗИТНАЯ СИСТЕМА» содержащая в себе элементы тех или других типов, что определяется спецификой плана города. С такой системой мы встречались фактически в тех ранее описанных случаях, где метрополитен, сохраняя приоритет одного из типов, дополняется чертами другой системы (радиально-кольцевой метрополитен Москвы – разветвлено-замкнутой; радиально-кольцевая сеть Парижа и Лондона – разветвлено-

замкнутым и сложно-разветвлённым типами; диагонально-решётчатая сеть Нью-Йорка – сложно-разветвлённой сетью и т.п.) [9, 10, 11].

С усложнением сети в процессе своего развития метрополитен всё больше приспособливается, теснее связывается, отчётливее отражает специфику планировочной структуры города, наследуя вместе с этим её уникальные черты (рис. 7).

Выявление соответствия типа метрополитена типу планировочной структуры города открывает возможность целенаправленного выбора оптимального решения сети и сокращения рассматриваемых вариантов развития метрополитена. Естественно, что решая эту задачу, необходимо рассматривать метрополитен как неотъемлемую часть транспортной инфраструктуры города в целом (рис. 8).

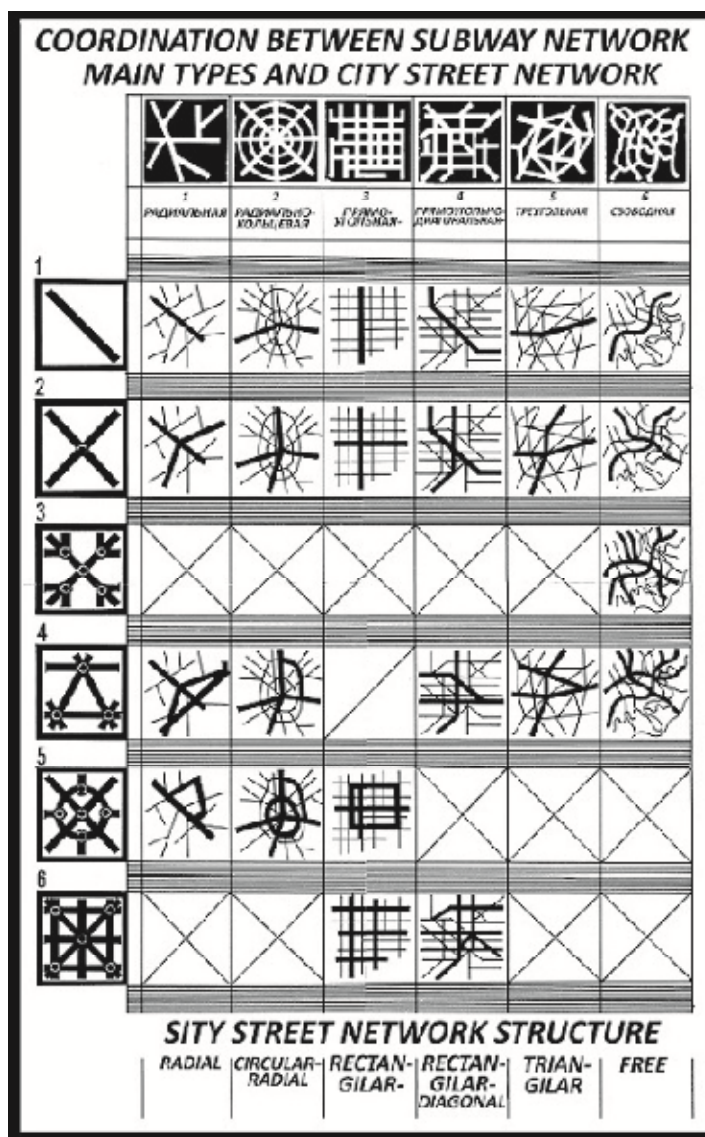


Рис. 8. Взаимосвязь сети метрополитена с планировочной структурой города

Список библиографических ссылок

1. Метрополитены мира // stroi.mos.ru : сайт «Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы». URL: <http://stroi.mos.ru/metro/metropoliteny-mira> (дата обращения: 03.07.2017).
2. Проектирование подземных сооружений и подземное строительство // портал «Подземный эксперт». URL: <http://www.undergroundexpert.info> (дата обращения: 03.07.2017).

3. Гарбер В. А. Метрополитены мира: Тенденции развития // Транспортное строительство. 2011. № 4. С. 35–36.
4. Бахирев И. Японское чудо. Опыт страны восходящего солнца по развитию улично-дорожной сети крупнейших городов // Инженерные сооружения. 2014. № 1 (3). С. 18–25.
5. Гарбер В. А. Метрополитены мира: Тенденции развития // Транспортное строительство. 2011. № 5. С. 28–30.
6. Метрополитены городов мира // novate.ru : электронный журнал. URL: <http://www.novate.ru/blogs/241207/8082> (дата обращения: 03.07.2017).
7. Urbanrail.net // электронный журнал о метрополитенах мира. URL: <http://urbanrail.net> (дата обращения: 03.07.2017).
8. Метро городов мира в цифрах и фактах // Газета «АиФ». 2013. 9 янв. URL: <http://www.aif.ru/society/39400> (дата обращения: 03.07.2017).
9. Стрелкова Е. «Лучшему метро в мире» исполнилось 80! Московский метрополитен: от первых идей до современных достижений // Инженерные сооружения. 2015. № 3-4 (8-9). С. 27–30.
10. Шляхтина О. Подземный драйвер развития мегаполиса. Самые масштабные программы расширения сетей метрополитена в XXI веке // Инженерные сооружения. 2015. № 3-4 (8-9). С. 57–63.
11. Степанова Е. Инвестиционная гавань поднебесной. Гонконгская модель устойчивого финансирования городского транспорта // Инженерные сооружения. 2014. № 3 (5). С. 19–21.

Smolova M.V. – candidate of architecture

E-mail: smolova5@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Typological variety of subway networks as the reflection of spatial and layout city structure

Abstract

Problem statement. The analysis of operational, constructed and projected subway systems in the previously considered cities and in over 100 other world cities showed that their type depended upon the city street network structure which is the principal component of the city lay-out in general. There is no doubt that the same dependence of the subway system upon another component – the way functions are distributed and concentrated in the city, which is proved by the above considered experience of projecting and building subway in London, New York, Paris, Tokyo, Moscow.

Results. The main types of subway networks result from the analysis of their development in various world cities, they are as follows: linear, radial, complex branching, closed branching, circular-radial, diagonal grid (lattice).

Conclusions. Revealing the correspondence of the subway the to the city lay-out provides the opportunity of purposeful selection of an optimum network design and reduction of subway development options considered.

Keywords: the subway underground network, city street network structure, transfer stations, subway type.

References

1. Subways of the world // stroi.mos.ru: the website «The Complex of urban policy and construction of Moscow». URL: <http://stroi.mos.ru/metro/metropoliteny-mira> (reference date: 03.07.2017).
2. Underground structure planning and underground construction // portal «Underground expert». URL: www.undergroundexpert.info (reference date: 03.07.2017).

3. Garber V. A. Subways of the world: The development tendency. // *Transportnoye stroitel'stvo*, 2011. № 4. P. 35–36.
4. Bahirev I. Japanese miracle. Experience of the rising sun country on the development of the street-road network of the largest cities // *Inzhenernyye sooruzheniya*. 2014. № 1 (3). P. 18–25.
5. Garber V. A. Subways of the world: The development tendency // *Transportnoye stroitel'stvo*. 2011. № 5. P. 28–30.
6. Subways of world cities // *novate.ru: electronic journal*. URL: <http://www.novate.ru/blogs/241207/8082> (reference date: 03.07.2017).
7. «Urbanrail.net» // *electronic journal about the metros in the world*. URL: <http://urbanrail.net> (reference date: 03.07.2017).
8. Metro cities in the world in facts and figures // *The Newspaper «Arguments and facts»*, 2013. 9 Jan. URL : <http://www.aif.ru/society/39400> (reference date: 03.07.2017).
9. Strelkova E. «The best subway in the world» turned 80! Moscow subway: from the first ideas to modern achievements // *Inzhenernyye sooruzheniya*. 2015. № 3-4 (8-9). P. 27–30.
10. Shlyahina O. Underground driver of the metropolis development. The largest-scale programs of the subway networks expansion in the 21st century // *Inzhenernyye sooruzheniya*. 2015. № 3-4 (8-9). P. 57–63.
11. Stepanova E. Under heavenly investment harbor. The Hong Kong model of sustainable urban transport financing // *Inzhenernyye sooruzheniya*. 2014, № 3 (5). P. 19–21.



УДК 624.012.35/45

Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliiev49@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К оценке напряженного состояния преднапряженных сталежелезобетонных балок

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась разработка методики оценки напряженного состояния сталежелезобетонных преднапряженных балок с учетом потерь преднапряжения и длительных процессов.

Результаты. Для двух вариантов конструктивного выполнения преднапряжения балки составного сечения, рассматривая начальное преднапряжение только профиля, а также обжатие бетона и стального профиля от усилий преднапряженной арматуры и потерь со временем, получены новые выражения описывающие напряженное состояние сталежелезобетонной балки, а также потерь из-за ползучести и усадки бетона.

Выводы. Разработана методика оценки напряженного состояния преднапряженных сталежелезобетонных балок при действии эксплуатационных нагрузок. Записаны формулы напряжений в бетоне, в стальном профиле от эксплуатационных нагрузок с учетом усилий преднапряжения. Определены потери предварительного напряжения в напрягаемой арматуре, в бетоне из-за его ползучести и усадки.

Ключевые слова: преднапряженная сталежелезобетонная балка, эксплуатационная нагрузка, потери напряжений, деформации, ползучесть, усадка бетона.

Эффект преднапряжения строительных конструкций давно занимает умы инженеров и исследователей. Оно достойное применение нашло в железобетонных и металлических конструкциях [1-3], использовали преднапряжения как в балках, плитах, так и в фермах. В нашей стране вопрос применения предварительно напряженной арматуры в железобетоне был принят в 1928 г., впервые индустриально было использовано в 1936 г. при изготовлении опор канатной сети закавказских железных дорог [2]. В металлических конструкциях преднапряжение [1] уменьшает деформативность и позволяет экономить металл, в железобетоне позволяет избавиться от ряда основных его недостатков: обеспечивает жесткость, трещиностойкость, снижает вес и как следствие повышает экономичность, возможность рационального использования высокопрочной арматуры. В сталежелезобетонных конструкциях преднапряжение пока не столь распространенное явление, видимо, сказывается недавнее их начало интенсивного применения в гражданских и промышленных зданиях (50-е годы прошлого столетия в перекрытиях). Хотя, известно использование преднапряженных балок сталежелезобетонного сечения в Великобритании при строительстве виадуков и пешеходных мостов [2]. У нас в стране имеются новые технические решения в виде патентов преднапряженных сталежелезобетонных балок [11-13]. Применение преднапряжения в сталежелезобетонных конструкциях по сравнению с известными преднапряженными металлическими и железобетонными балками приводит к ряду преимуществ: исчезают «висячие» часто за пределами сечения металлической балки затяжки, а по сравнению с железобетонными балками упрощаются анкерующие узлы затяжек в торцах балки, т.к. они размещаются в опорных элементах самой металлической балки. Труды исследователей по сталежелезобетонным конструкциям в основном посвящены выявлению действительного напряженно-деформированного состояния и использованию работы материалов (бетона и стали) в упругой и упругопластической стадиях [4-11].

Выявлению напряженного состояния металлических преднапряженных мостовых пролетов, балок и ферм покрытий промышленных и гражданских зданий [1, 2], железобетонных преднапряженных мостовых конструкций, гидротехнических и промышленных зданий, а также гражданских [3] посвящено значительное количество работ. Оценке напряженного состояния преднапряженных сталежелезобетонных балок от действия эксплуатационных нагрузок с учетом потерь от усадки и ползучести бетона посвящена данная статья.

Расчет предварительно напряженных конструкций требует определения напряженно-деформированного состояния, как от внешних воздействий, так и от предварительных воздействий и внутреннего напряженно-деформированного состояния (в первую очередь от усадки бетона). При выявлении действительного напряженно-деформированного состояния уже необходимо учитывать изменения свойств бетона во времени (ползучесть и длительный характер усадки).

Умение правильно учитывать деформативность применяемых материалов при проектировании особенно составных конструкций является совершенно необходимым для создания экономичных и надежных в эксплуатации конструкций.

При изготовлении преднапряженных железобетонных балок в основном применяют натяжение арматуры на упоры или на бетон. В сталежелезобетонных конструкциях, благодаря наличию в составе сечения жесткого стального профиля, натяжение арматуры производят на сам профиль [11-13], т.е. образуется стальная преднапряженная балка, затем бетонируются боковые полости, после приобретения бетоном гостированной прочности, отпуская натяжение арматуры, обжимается бетон.

Образование составной балки, возможно, путем обетонирования преднапряженной стальной балки [11-13]. Тогда составная балка на действие эксплуатационных нагрузок будет работать аналогично железобетонному сечению с жесткой арматурой [3], но с той разницей, что в сечении наряду с внутренними усилиями от эксплуатационных нагрузок будет присутствовать внутренняя сила затяжки N_H . От действия силы N_H стальная балка (до её обетонирования) подвергается внецентренному сжатию, вызывающему, в верхнем поясе балки, растяжение¹:

$$s'_B = \frac{g_1 N_H}{A} + \frac{g_1 N_H h}{W_B}, \quad (1)$$

а в нижнем поясе – сжатие:

$$s'_H = -\frac{g_1 N_H}{A} - \frac{g_1 N_H h}{W_H}, \quad (2)$$

где $\gamma_I \geq 1$ – коэффициент надежности контроля усилия предварительного натяжения; W_B, W_H – моменты сопротивления стальной балки для верхнего и нижнего волокон, соответственно.

В дальнейшем обетонированная стальная балка при нагружении эксплуатационной нагрузкой, начинает работать как шпренгельная система с дополнительным усилием X_1 в затяжке, которое вызывает в балке дополнительные напряжения¹.

Суммарные напряжения от совместного действия N_H и внешней нагрузки в обетонированной стальной балке можно определить по аналогии с формулами¹, с добавлением характеристик сжатой части бетона:

- в верхнем поясе стального профиля:

$$s_B = -\frac{g_1 N_H X_1}{A + nA_{bc}} - \frac{M - (g_1 N_H + X_1)h}{(W_B + nJ_b / y_1)}; \quad (3)$$

- в нижнем поясе:

$$s_H = -\frac{g_1 N_H X_1}{A + nA_{bc}} + \frac{M - (g_1 N_H + X_1)h}{(W_H + nJ_b / y_1)}, \quad (4)$$

где A – площадь стального профиля, A_{bc}, J_b – площадь и момент инерции сжатой зоны бетона, y_1 – расстояние до сжатой зоны бетона, $n = E_{pr} / E_b$.

Усилия самонапряжения X_1 и предварительного напряжения N_H возникающие до обетонирования стального профиля определяются по известным формулам приведенным в источнике [2].

Рассмотрим напряженное состояние стального преднапряженного обетонированного сечения от эксплуатационной нагрузки (рис. 1). По аналогии с железобетонным сечением с жесткой арматурой [3] высоту сжатой зоны определяем из условия равновесия в зависимости от эпюры напряжений (криволинейная или прямоугольная).

¹Муханов К.К. Металлические конструкции. Учебник для вузов. Изд-е 3-е испр. и доп. М.: Стройиздат, 1978. С. 237-250.

$$\sigma_b(e_b)bdx = 2\sigma_{pr}t_w d(0,5h - x) + N_H \quad (5)$$

или

$$2R_{pr}t_w x + R_b b_x x = R_{pr}t_w h + N_H. \quad (5a)$$

Проверку прочности сечения можно выполнить по формуле:

$$M \leq 0,5\sigma_b b x^2 + R_{pr} \sigma_{pl} W_{pl} + (0,5h - x)^2 t_w \sigma_{pl} + N_H (h - x - a), \quad (6)$$

где $W_{pr} = 1,17 \cdot W_x$, a – расстояние от преднапряженной арматуры до нижнего края балки.

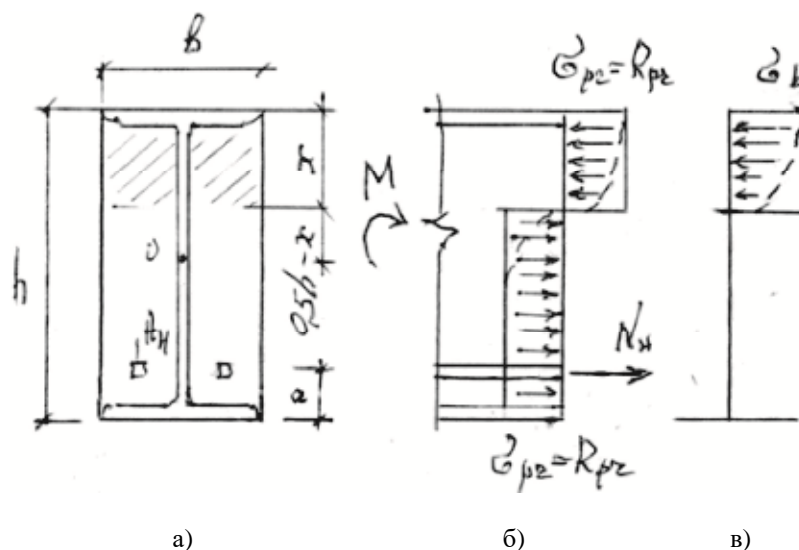


Рис. 1. Схема напряжений и усилий в сталежелезобетонном сечении:
а) поперечное сечение; б) эпюра напряжений стального профиля; в) эпюра напряжений бетона

Работа сталежелезобетонной преднапряженной балки при действии эксплуатационной нагрузки отличается как от работы обетонированной преднапряженной стальной балки, рассмотренной выше, так и от железобетонной преднапряженной балки². Однако, в её работе, как в железобетонной преднапряженной балке, можно выделить две стадии работы (доэксплуатационную и эксплуатационную).

До действия эксплуатационных нагрузок в преднапряженной балке, в отличие обычной, происходит непрерывное изменение внутреннего напряженного состояния. По аналогии с железобетонными преднапряженными элементами² рассмотрим напряженное доэксплуатационное состояние, которое в свою очередь тоже проходит в две стадии:

Стадия 1 состоит в напряжении арматуры и обжатии стального профиля и обжатии бетона при отпуске арматуры;

Стадия 2 охватывает период существования элемента до его нагружения эксплуатационной нагрузкой.

Учитывая конструктивные особенности сталежелезобетонных балок приведенных в библиографической ссылке [11-13], рассмотрим напряженное состояние сечения сталежелезобетонной балки с несимметричной напрягаемой арматурой располагаемой в растянутой зоне сечения на первой стадии.

По аналогии с напряженным состоянием железобетонного преднапряженного элемента запишем выражения для напряжений в затяжке, стальном профиле, бетоне и усилий потерь напряжений, которые возможны из-за податливости анкеров, усадки и ползучести бетона.

²Гольшев А.Б. Расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. М.: 1964. 150 с.

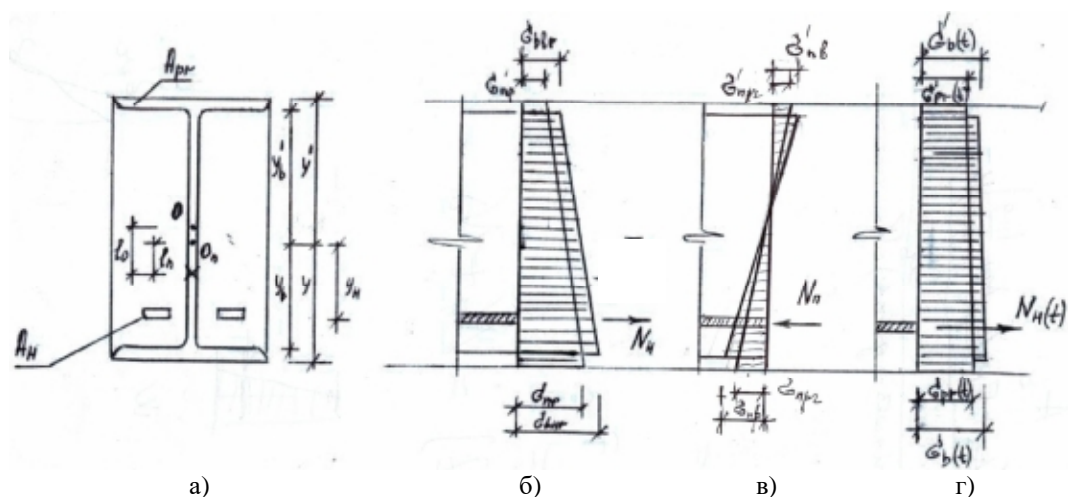


Рис. 2. Напряженное состояние в сталежелезобетонном сечении от предварительного напряжения:
 а) поперечное сечение; б) эпюра начальных напряжений;
 в) эпюра потерь; г) эпюра установившихся напряжений

Обозначим напрягаемую арматуру A_n (рис. 2), стальной профиль A_{pr} и модули упругости E_n и E_{pr} , соответственно, контролируемое напряжение в арматуре (затяжке) A_n обозначим через $\sigma_{н.к.}$. При записи выражений описывающих напряженное состояние сталежелезобетонного сечения используем общепринятые гипотезы железобетона с гибкой и жесткой арматурой [3]:

- бетон принимается как изотропный материал;
- связь мгновенных « $\epsilon \leftrightarrow \sigma$ » линейная;
- связь деформаций ползучести и напряжений бетона линейная;
- деформации ползучести зависят только от нагрузки и « t »;
- кривые ползучести параллельны.

При модуле упругости бетона E_b можно обозначить:

$$n_n = \frac{E_n}{E_b} \text{ и } n_{pr} = \frac{E_{pr}}{E_b}.$$

Контролируемая сила преднапряжения будет:

$$N_{н.к.} = \sigma_{н.к.} A_n. \tag{7}$$

После приобретения бетоном гостированной прочности производится отпуск арматуры, что сопровождается внецентренным обжатием сечения. Упругие напряжения в сечении можно определить по аналогии с известными формулами, используемыми для преднапряженного железобетонного сечения.

На уровне нижней грани стального профиля:

$$s_{pr} = - \frac{N_{н.к.}}{A} - \frac{N_{н.к.} y_n}{J_n} y. \tag{8}$$

На уровне верхней грани профиля:

$$s'_{pr} = - \frac{N_{н.к.}}{A} + \frac{N_{н.к.} y_n}{J_n} y. \tag{9}$$

Аналогично запишутся выражения для нижней и верхней грани бетонной части сечения, со своими расстояниями y_b и y'_b .

Принятые приведенные площади, моменты инерции и радиусы инерции сечения:

$$A = A_b + n_n(A_n) + n_{pr}A_{pr}, \tag{10}$$

$$J = J_b + n_n(J_{nA}) + n_{pr}J_{pr}, \tag{11}$$

$$J_n = J + y^2 A; J_b = J + (y')^2 A. \tag{12}$$

Обжатие сталежелезобетонного элемента сопровождается его укорочением, имеет место потери предварительного напряжения арматуры.

С учетом потерь от обжатия бетона начальные напряжения в предварительно напряженной арматуре:

$$\sigma_H = \sigma_{HK} + n_H \sigma_b (y_H / y_b). \quad (13)$$

Напряжения в сечении, возникшие под действием сил предварительного обжатия, вследствие ползучести бетона со временем изменяются.

Обозначая установившиеся (текущие) напряжения в арматуре A_H , через $\sigma_{HT(t)}$, где «t» меняется от «0» до начала эксплуатации, в бетоне на уровне нижней и верхней граней сечения – через $\sigma_{b(t)}$ и $\sigma'_{b(t)}$ и в стальном профиле на уровне нижней и верхней граней сечения – через $\sigma_{pr(t)}$ и $\sigma'_{pr(t)}$, можно записать:

$$\sigma_{HT(t)} = \sigma_H + \sigma_n, \quad (14)$$

$$\sigma_{b(t)} = \sigma_b + \sigma_{bn}, \quad (15)$$

$$\sigma'_{b(t)} = \sigma'_b + \sigma'_{bn}, \quad (16)$$

$$\sigma_{pr(t)} = \sigma_{pr} + \sigma_{prn}, \quad (17)$$

$$\sigma'_{pr(t)} = \sigma'_{pr} + \sigma'_{prn}, \quad (18)$$

где σ_n – потери начальных напряжений в предварительно напряженной арматуре к моменту времени «t».

σ_{bn} и σ'_{bn} – потери начальных напряжений обжатия в бетоне на соответствующих уровнях к моменту «t».

σ_{prn} и σ'_{prn} – потери начальных напряжений в стальном профиле к тому же моменту времени.

Установившиеся (текущие) напряжения в бетоне и в стальном профиле с учетом фактора времени определяются по формулам (15-18) с подстановкой из формул (8, 9).

Установившиеся (текущие) напряжения в преднапряженной арматуре определяются по формуле (13).

Рассмотрим вторую стадию, работы составного преднапряженного элемента. Как известно из исследований преднапряженных железобетонных элементов предварительное обжатие сопровождается возникновением и развитием со временем ползучести бетона, что приводит к потере преднапряжений.

Потери напряжений в арматуре (профиле) и бетоне вызываемые ползучестью бетона определяют по выражениям, с учетом разных зависимостей между начальными напряжениями в бетоне и арматуре (профиле).

Бетон находится под действием изменяющихся во времени растягивающих сил (рис. 2в).

$$N_n = s_n \left[A_H + \frac{E_{pr}}{E_H} \frac{J}{y_H y} \right], \quad (19)$$

где σ_n – потеря напряжений в преднапряженной арматуре (затяжке).

В бетоне от N_n возникнут напряжения σ_{nb} на уровне преднапряженной арматуры, и σ'_{nb} в верхней зоне, сечение в целом окажется под действием внецентренного растяжения (рис. 2в).

Для отыскания σ_{nb} и σ'_{nb} составим уравнения, вытекающие из условий равновесия сталежелезобетонного элемента.

На нижнем уровне сечения:

$$s_{bn} = \frac{-s_n \hat{e} A_H + (E_{pr}/E_H)(J_H/y_H y) \hat{e}}{A} - \frac{s_n \hat{e} A_H y + (E_{pr}/E_H)(J/y_H) \hat{e}}{J} y. \quad (20)$$

На верхнем уровне сечения:

$$s_{bn} = \frac{-s_n \hat{e} A_H + (E_{pr}/E_H)(J_B/y_H y) \hat{e}}{A} + \frac{s_n \hat{e} A_H y_H + (E_{pr}/E_H)(J/y_H) \hat{e}}{J} y. \quad (21)$$

Принимаем следующие обозначения:

$$b_1 = \frac{\hat{e} A_H + (E_{pr}/E_H)(J_H/y_H y) \hat{e}}{A}; \quad b_2 = \frac{\hat{e} A_H y + (E_{pr}/E_H)(J/y_H) \hat{e}}{J}. \quad (22)$$

$$a_1 = 1 + \frac{y^2}{r^2}; \quad a_2 = 1 - \frac{y^2}{r^2}. \quad (23)$$

После соответствующих постановок и преобразований имеем:

$$\sigma_{nb} = -\sigma_n \beta_1 \alpha_1; \quad \sigma'_{nb} = -\sigma_n \beta_2 \alpha_2. \quad (24)$$

Для любого момента времени «t» относительные деформации нижней и верхней точек стального профиля должны быть равны по величине относительным деформациям ползучести неармированного бетона на уровнях соответственно нижней и верхней полочек профиля за вычетом относительных деформаций бетона на этих уровнях:

$$\varepsilon_{pr}(t) = \varepsilon_n(t) - \varepsilon_b(t), \tag{25}$$

$$\varepsilon'_{pr}(t) = \varepsilon'_n(t) - \varepsilon'_b(t). \tag{26}$$

Приведенные равенства получаются из условия, что при отсутствии контакта со стальным профилем точки претерпели бы деформации ползучести $\varepsilon_n(t)$ и переместились бы в другие позиции. В связи с наличием контакта между бетоном и поверхностью стального профиля, т.е. тормозящим действием контакта «сталь-бетон» на процесс ползучести точки фактически переместятся в другие положения ближе, чем при отсутствии контакта. Сумма относительных деформаций стального профиля и бетона на уровне начальных точек должна равняться соответственно относительным деформациям ползучести свободного бетонного элемента на уровне этих точек [3]:

$$\varepsilon_{pr}(t) = \varepsilon_b(t) - \varepsilon_n(t), \tag{27}$$

$$\varepsilon'_{pr}(t) = \varepsilon'_b(t) - \varepsilon'_n(t). \tag{28}$$

Подставляя в выражения относительных деформаций соответствующие значения вызванные потерями напряжений в поясах стального профиля из-за ползучести бетона σ_n (первый член) и значения потерь напряжений в самом бетоне из-за деформаций ползучести бетона за тот же период времени σ_{bn} (второй член), а в правую часть уравнений деформаций ползучести подставляем значения, вызванные начальными напряжениями в бетоне σ_{bH} , обозначая характеристику ползучести бетона через φ_t :

- для уровня нижнего пояса:

$$\frac{s_n}{E_H} - \int_0^t \frac{d\sigma_{bn}(\tau)}{E_b} \frac{1}{E_b} + \frac{f_t - f_t + f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} = \frac{s_{bH}}{E_b} f_t; \tag{29}$$

- для уровня верхнего пояса:

$$\frac{s'_n}{E_H} - \int_0^t \frac{d\sigma'_{bn}(\tau)}{E_b} \frac{1}{E_b} + \frac{f_t - f_t + f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} = \frac{s'_{bH}}{E_b} f_t. \tag{30}$$

В обоих уравнениях интервал интегрирования равен разности между возрастом бетона к моменту определения потерь и возрастом бетона в момент натяжения арматуры, характеристика ползучести бетона φ_t принимается в соответствии с возрастом бетона.

Решение интегральных уравнений (29, 30) весьма трудоемко (особенно, если учитывать переменность модуля деформации бетона), требуется найти более упрощенное выражения для определения потерь. В предварительно напряженных железобетонных элементах² для упрощения допускают линейную зависимость между $\sigma_b(t)$ и φ_t .

Используя допущения линейной зависимости между $\sigma_b(t)$ и φ_t , проинтегрируем левую часть уравнения (29) и (30):

$$\frac{s_n}{E_H} - s_{bn} \frac{1}{E_b} + \frac{f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} \int_0^t \frac{d\sigma_{bn}(\tau)}{E_b} \frac{1}{E_b} - \frac{f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} = \frac{s_{bH}}{E_b} f_t. \tag{31}$$

Используя теорему о среднем, выражение (46) примет вид:

$$\frac{s_n}{E_H} - s_{bn} \frac{1}{E_b} + \frac{f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} \frac{1}{E_b} - \frac{f_t}{E_b} \frac{\dot{\varphi}_t}{\dot{\varphi}_0} s_{bn}(\theta)_0^t = \frac{s_{bH}}{E_b} f_t. \tag{32}$$

Здесь $s_{bn}(\theta)_0^t$ – среднее значение σ_{bn} в интервале от $\tau=0$ до $\tau=t$.

Произведя преобразования и упрощения уравнение (29, 30) примут вид:

$$\frac{s_n}{E_H} - \frac{s_{bn}}{E_b} g = \frac{s_{bH}}{E_b} f_t; \quad \frac{s'_n}{E_H} - \frac{s'_{bn}}{E_b} g = \frac{s'_{bH}}{E_b} f_t. \tag{33}$$

После постановки значений σ_{nb} и σ'_{nb} из (24) в (32) в результате решения системы уравнений будем иметь:

$$\sigma_n = (\sigma_{bH} k_1 - \sigma'_{bH} k_2) C, \tag{34}$$

$$\sigma'_n = (\sigma'_{bH} k_3 - \sigma_{bH} k_4) C. \tag{35}$$

В выражениях (34)-(35) приняты следующие обозначения:

$$k_1 = 1 + n_H \beta_2 \alpha_2, \tag{36}$$

$$k_2 = n_H \beta_2 \alpha_2 \gamma, \tag{37}$$

$$k_3 = 1 + n_H \beta_1 \alpha_1 \gamma, \tag{38}$$

$$k_4 = n_H \beta_1 \alpha_1 \gamma, \tag{39}$$

$$C = \frac{n_H f_t}{1 + n_H (b_1 a_1 + b_2 a_2) g}. \tag{40}$$

Процесс твердения бетона сопровождается усадкой бетона, что приводит к возникновению и развитию внутренних напряжений из-за задерживающего эффекта в нашем случае от стального профиля.

Известно, что усадка бетона вызывает потери предварительного напряжения в преднапряженных сечениях. Сжимающие напряжения возникающие из-за усадки бетона накладываются на растягивающие напряжения возникшие в стальном профиле в процессе его предварительного сжатия, тем самым несколько снижается эффект предварительного напряжения.

Рассмотрим напряженное состояние сечения от усадки бетона. Напряжения в преднапряженной арматуре с модулем упругости E_H обозначим через σ_y , бетон будет находится под действием изменяющихся во времени сил (рис. 3).

В бетоне возникают растягивающие напряжения, а в профиле сжимающее, сечение в целом оказывается под действием внецентренного растяжения.

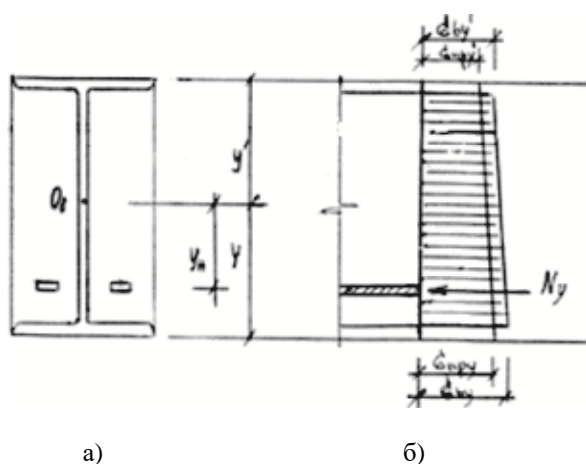


Рис. 3. Напряженное состояние в сталежелезобетонном сечении от усадки бетона:
а) поперечное сечение; б) эпюра усадочных напряжений

Для отыскания напряжений, в бетоне и стальном профиле и требуется составлять уравнения из условий равновесия сталежелезобетонного элемента.

По аналогии с предыдущем случаем определения потерь предварительного напряжения от ползучести бетона, можно допустить, что в любой момент времени t деформации профиля в нижней и верхних точках должны быть равны свободной относительной усадке бетона за вычетом относительной деформации бетона на уровне нижней и верхней полочек профиля:

$$\varepsilon_{pr}(t) = \varepsilon_y(t) - \varepsilon_b(t), \tag{41}$$

$$\varepsilon'_{pr}(t) = \varepsilon_y(t) - \varepsilon'_b(t). \tag{42}$$

Из переведенных равенств вытекает, что при отсутствии контакта со стальным профилем начальные точки претерпели бы свободную усадку $\varepsilon_y(t)$ и переместились бы в новые позиции. Из-за контакта «сталь-бетон» и его тормозящего действия на процесс усадки начальные точки переместятся только в положение ближе, чем при отсутствии контакта.

Поэтому сумма относительных деформаций профиля и бетона на уровне контактных начальных точек при их независимом рассмотрении должна равняться свободной усадке бетона:

$$\varepsilon_{pr}(t) + \varepsilon_b(t) = \varepsilon_y(t), \tag{43}$$

$$\varepsilon'_{pr}(t) + \varepsilon'_b(t) = \varepsilon_y(t). \tag{44}$$

Запишем значения относительных деформаций через напряжения:

$$\frac{s_y}{E_H} - \int_0^t \frac{ds_{by}(t)}{dt} \frac{1}{E(t)} + \frac{f_r \cdot f_t + f}{E_b} \dot{u} = \varepsilon_y(t). \tag{45}$$

По аналогии с предыдущим случаем систему интегральных уравнений преобразуем в систему алгебраических уравнений. Проинтегрируя по частям левые части уравнений после преобразований получим:

$$\frac{s_y}{E_H} - s_{by} \frac{d}{dt} \frac{1}{E(t)} + \frac{f}{E_b} \frac{d}{dt} \frac{1}{E(t)} - \frac{f_1}{E_b} \frac{d}{dt} \frac{1}{E(t)} = e_y(t). \tag{46}$$

Принимая во внимание линейные связи между σ_{bu} , σ_u и σ_t и, используя теорему о среднем, запишем:

$$\frac{s_y}{E_H} - \frac{s_{by}}{E_b} g = e_y(t). \tag{47}$$

После подстановки значений напряжений в (47) в результате решения системы уравнений будем иметь:

$$s_y = \frac{e_y}{n_H} E_b (k_1 - k_2) C. \tag{48}$$

Напряжения в бетоне и профиле на уровне верхней и нижней граней определяется по следующим зависимостям:

$$s_{by} = -s_y b_1 a_1 - s_{pry} \frac{E_{pr}}{E} b_2 a_2, \tag{49}$$

$$s'_{by} = -s_y b_1 a_1 - s'_{pry} \frac{E_{pr}}{E} b_2 a_2, \tag{50}$$

$$\sigma_{pry} = -\sigma_{yH} \beta_1 \alpha_1, \tag{51}$$

$$\sigma'_{pry} = -\sigma'_{yH} \beta_2 \alpha_2. \tag{52}$$

Значения коэффициентов вычисляются по формулам (22-23, 36-40).

Рассмотрим напряженное состояние сечения (рис. 4) от эксплуатационной нагрузки.

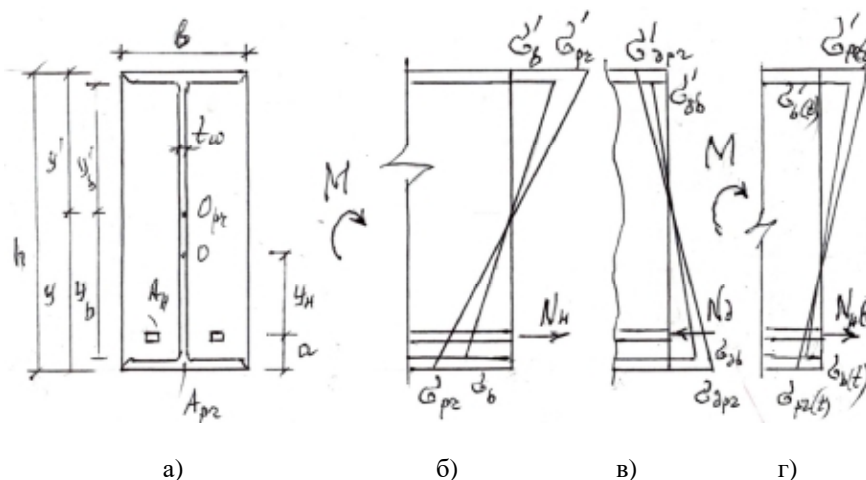


Рис. 4. Напряженное состояние в сечении с преднапряженной затяжкой от эксплуатационной нагрузки: а) поперечное сечение; б) эпюра начальных напряжений; в) эпюра дополнительных напряжений; г) эпюра установившихся напряжений

Как в случае предварительного обжатия, напряжения, возникающие в сечении предварительно напряженного сталежелезобетонного элемента в момент приложения длительно действующей эксплуатационной нагрузки, изменяются во времени. Вследствие ползучести бетона и роста его модуля упругой деформации происходит непрерывное изменение напряженного состояния в составном сечении. Напряжение с течением времени в бетоне уменьшаются, а в стальном профиле (арматуре) увеличиваются². Таким образом, работу предварительно напряженной балки под эксплуатационной нагрузкой рассмотрим в две стадии:

1) Доэксплуатационная стадия ($t=0$), которая отражает напряженное состояние балки до приложения внешней нагрузки (преднапряжение арматуры и упругое обжатие профиля и обжатие бетона при последующем отпуске арматуры).

2) Эксплуатационная стадия ($t > 0$), охватывает период работы изгибаемого элемента под нагрузкой при изменениях внутреннего напряженного состояния балки из-за усадки и ползучести бетона.

В сечении (рис. 4) действует постоянный по величине изгибающий момент M .

Начальные напряжения на первой – доэксплуатационной стадии в бетоне, стальном профиле и арматуре определяем по формулам теории упругого железобетона с учетом особенностей работы сечения с жесткой арматурой (стальным профилем) [3] и преднапряженной арматурой².

Напряжения в бетоне на уровне верхней и нижней зон сечения:

$$s_{b\bar{z}} = \frac{M}{J} y_b; \quad s_{b\bar{z}} = -\frac{M}{J} y_b. \quad (53)$$

Напряжения в стальном профиле:

$$s_{pr\bar{z}} = \frac{M}{J_B} y; \quad s_{pr\bar{z}} = -\frac{M}{J_H} y. \quad (54)$$

Напряжения в преднапряженной арматуре A_H :

$$s_{H\bar{z}} = n_H s_{b\bar{z}} \frac{(h - a)}{h}. \quad (55)$$

Усилие в напряженной арматуре:

$$N_{H\bar{z}}(t) = \sigma_{H\bar{z}} [A_H + E_{pr}/E_H \cdot J_H / y_H y]. \quad (56)$$

Рассмотрим вторую – эксплуатационную стадию, с течением времени под влиянием изгибающего момента M в бетоне происходит развитие деформаций ползучести, чему сопротивляется стальной профиль и арматура. Сопротивление профиля и арматуры рассмотрим по аналогии с источником [3] как внешнее, изменяющееся по величине во времени воздействие на сечение (рис. 4в).

В растянутой зоне бетон будет находиться под действием возрастающей по величине сжимающей силы:

$$N_{\bar{z}} = s_{\bar{z}} (A_H + \frac{E_{pr}}{E_H} J_H / y_H y),$$

причем сечение в целом будет находиться под действием внецентренного сжатия.

Установившиеся напряжения в составном сечении для бетона и профиля можно рассматривать как сумму напряжений: от эксплуатационной нагрузки и дополнительного напряжения возникающего вследствие ползучести бетона.

Например, для нижней точки бетона:

$$\sigma_{b(t)} = \sigma_{\bar{z}} + \sigma_{\bar{z}b}. \quad (57)$$

Для отыскания дополнительных напряжений $\sigma'_{\bar{z}pr}$, $\sigma'_{\bar{z}b}$, $\sigma_{\bar{z}pr}$, $\sigma_{\bar{z}b}$ составляются уравнения, вытекающие из условий равновесия, например, для нижней точки профиля.

$$\sigma_{\bar{z}pr} = -\sigma_{\bar{z}b} \beta_1 \alpha_1 - \sigma_{\bar{z}b} \beta_2 \alpha_2. \quad (58)$$

Аналогичные выражения будут для верхней точки профиля и для бетона.

Исходные уравнения равенства деформаций бетона и профиля в произвольный момент времени « t » будут иметь вид интегральных уравнений (29)-(30) как для потерь напряжений, с той лишь разницей, что здесь будут вместо потерь напряжений σ_n дополнительные напряжения от ползучести бетона $\sigma_{\bar{z}}$.

Запишем расчетные выражения для определения дополнительных напряжений в бетоне и профиле, возникающих в результате длительного действия эксплуатационной нагрузки:

$$\sigma'_{b\bar{z}} = -\sigma_{\bar{z}} n_H k_1, \quad \sigma_{b\bar{z}} = \sigma_{\bar{z}} n_H k_2, \quad (59)$$

$$\sigma_{\bar{z}} = \sigma'_{b\bar{z}} C, \quad \sigma_{\bar{z}} = \sigma_{b\bar{z}} C, \quad (60)$$

$$s'_{pr\bar{z}} = \frac{E_{pr}}{E_b} s_{\bar{z}}; \quad s_{pr\bar{z}} = \frac{E_{pr}}{E_b} s_{\bar{z}} \quad (61)$$

значения k_1 , k_2 определяем по формулам (36, 37).

Установившиеся напряжения в сечении к моменту затухания ползучести будут:

$$\sigma'_b(t) = \sigma'_{b\bar{z}} + \sigma'_{b\bar{z}b}, \quad (62)$$

$$\sigma_b(t) = \sigma_{b\bar{z}} + \sigma_{b\bar{z}b}, \quad (63)$$

$$\sigma'_{pr}(t) = \sigma'_{pr} + \sigma'_{pr\bar{z}}, \quad (64)$$

$$\sigma_{pr}(t) = \sigma_{pr} + \sigma_{pr\bar{z}}, \quad (65)$$

где $\sigma'_{bз}, \sigma_{bз}, \sigma'_{прд}, \sigma_{прд}$ – дополнительные напряжения к моменту «t».

Установившиеся напряжения в преднапряженной арматуре:

$$\sigma_{H(t)} = \sigma_{Hз} + \sigma_{Hд}, \quad (66)$$

где $\sigma_{Hд}$ – дополнительные напряжения к моменту времени «t», а время «t» – от начало эксплуатации до момента затухания ползучести бетона.

Список библиографических ссылок

1. Кудишин Ю. И. Металлические конструкции. М. : Академия, 2011. С. 228–230.
2. Металлические конструкции. М. : Высш. шк., 2011. С. 265–294.
3. Бондаренко В. М. и др. Железобетонные и каменные конструкции. М. : Высш. шк., 2011. 876 с.
4. Roger P. Jonson Designers' guide to eurocode 4: design of composite steel and concrete structures EN 1994-1-1. 2011. 412 p.
5. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
6. Замалиев Ф. С. Учет нелинейных свойств материалов и податливости слоев при расчете прочности сталежелезобетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 5. С. 38–41.
7. Замалиев Ф. С. К расчету малоциклового выносливости сталежелезобетонных ребристых конструкций // Транспортное строительство. 2013. № 9. С. 8–10.
8. Замалиев Ф. С. Каюмов Р. А. К расчету сталежелезобетонного перекрытия как ортотропной плиты // Известия КГАСУ. 2014. № 1 (27). С. 94–99.
9. Hadzalic E., Varucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of unique buildings and structures. 2014. № 11 (26). P. 85–93.
10. Замалиев Ф. С., Мирсаяпов И. Т. Расчет прочности сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на основе аналитических диаграмм // Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций: сборник научных трудов. 1999. С. 142–149.
11. Преднапряженная сталебетонная балка : пат. 155488 Рос. Федерация. № 2015102306 ; заявл. 26.01.15 ; опубл. 10.10.15, Бюл. № 28. 2 с.
12. Сталебетонная преднапряженная балка : пат. 155802 Рос. Федерация. № 2014152337 ; заявл. 23.12.14 ; опубл. 20.10.15, Бюл. № 29. 2 с.
13. Сталежелезобетонная преднапряженная балка : пат. 165473 Рос. Федерация. № 2016114023; заявл. 11.04.16 ; опубл. 20.10.16, Бюл. № 29. 2 с.

Zamaliyev F.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zamaliyev49@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

To the evaluation of the stressed state of prestressed steel-concrete composite beams

Abstract

Problem statement. The aim is to develop a methodology for assessing the state of stress of composite prestressed girders considering prestressing losses and long-term processes.

Results. For different variants of the structural design of prestressing beams of the steel-concrete composite section, considering the initial prestressing of the profile only, and also the compression of the concrete and the steel profile from the prestressed reinforcement forces and losses with time, new expressions were obtained describing the stress state of the steel-concrete composite steel beam, as well as losses due to creep and shrinkage concrete.

Conclusions. A method for evaluating the state of stress of prestressed composite steel-concrete beams. Write the formulms of stresses in the concrete, the steel profile of the prestressing

forces. Defined in loss of prestress prestressing the reinforcement in the concrete due to its creep and shrink.

Keywords: prestressed steel reinforced concrete beam, loss of stresses, strain, creep, shrinkage of concrete.

References

1. Kudishin Y. I. Metal constructions. Ed. 13 corrected. M. : Academy, 2011. P. 228–230.
2. Metal Constructions. Special designs and constructions. M. : Wk, 2011. P. 265–294
3. Bondarenko V. M. Reinforced concrete and stone structures. 2nd ed. Revised. and ext. M. : Executive, 2011. 876 p.
4. Roger P. Jonson Designers' guide to eurocode 4: design of composite steel and concrete structures EN 1994-1-1. 2011. 412 p.
5. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
6. 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 // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 5. P. 38–41.
7. Zamaliev F. S. Calculation of low-cycle endurance of composite ribbed structures // Transportnoye stroitel'stvo 2013. № 9. P. 8–10.
8. Zamaliev F. S., Kayumov R.A. The calculation of the composite steel-concrete slab as an orthotropic plate // Izvestiya KGASU. 2014. № 1 (27). P. 94–99.
9. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam// Construction of unique buildings and structures, 2014. № 11 (26). P. 85–93.
10. Zamaliev F. S. Mirsayapov I. T. Strength calculation of steel reinforced concrete bent designs on the basis of analytical charts // Razrabotka i issledovaniye metallicheskih i derevyannykh konstruktsiy: sbornik nauchnykh trudov. 1999. P. 142–149.
11. Prestressed reinforced concrete beam: patent 155488 of the Rus. Federation. № 2015102306; decl. 26.01.15; publ. 10.10.15. Bull. № 28. 2 p.
12. Prestressed reinforced concrete beam: patent 155802 of the Rus. Federation. № 2014152337; decl. 23.12.14; publ. 20.10.15. Bull. № 29. 2 p.
13. Prestressed steel-concrete beam: patent 165473 of the Rus. Federation. № 2016114023 ; decl. 11.04.16; publ. 20.10.16. Bull. in № 29. 2 p.

УДК 539.3

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук

E-mail: kayumov@ Rambler.ru

Ибрагимова А.А. – студент

E-mail: ibragimova-aigul92@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Об оценке предельной нагрузки железобетонной стенки, подверженной одностороннему воздействию влаги¹

Аннотация

Постановка задачи. Дана железобетонная стенка под воздействием вертикальной осевой нагрузки и воздействием влаги. Считается, что бетон от воздействия влаги деградирует с течением времени. Примем, что прочность арматуры не меняется со временем, поэтому учитываем падение прочности только бетона. Целью работы являлась разработка методики описания процесса деградации железобетонных конструкций.

Результаты. В данной работе используются закон диффузии влаги в бетоне и закон Фика в процессе деградации. Эти уравнения решаются численно методом конечных разностей. Исследовалась сходимость метода преуменьшения шага по времени и шага по координате. Разработана методика определения коэффициентов диффузии на примере обработки результатов эксперимента для гипсоцементно-пуццоланового камня (ГЦПК).

Выводы. Получена инженерная формула для определения выщелоченной гашеной извести бетона, по которой определяем остаточную прочность бетона по работе Рахимова Р.З. и Алтынкис М.Г. Данные вычисления позволяют найти предельную нагрузку железобетонной стенки в любой момент времени.

Ключевые слова: железобетон, долговечность, коррозия, деградация, диффузия, выщелачивание.

Введение

Вода – одна из наиболее агрессивных сред, негативно влияющих на прочность и долговечность железобетонных конструкций. Учет воздействия агрессивных сред на работу конструкции осуществляется путем введения различных коэффициентов запаса. Этот подход не дает возможность определения безопасного срока службы конструкции. Данные коэффициенты не отражают в полной мере реальную работу конструкции, а зачастую не учитывают механизм изменения свойств материала под действием агрессивных сред. Расчет долговечности и надежности конструкций должен учитывать временную зависимость процессов, протекающих в материале под действием агрессивных сред. Для этого должны быть определены основные характеристики сопротивления бетонов действию химически-активных веществ и определен механизм взаимодействия материала со средой.

Уязвимым для коррозии в бетоне является цементный камень.

Существует 2 основных фактора, определяющих коррозионные процессы в бетоне.

- В цементном камне содержится растворимый $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который может вымываться из бетона;
- Цементный камень имеет щелочную природу, поэтому все его соединения реагируют с кислотами.

Процесс выщелачивания происходит при фильтрации влаги через бетон. Определение закономерностей влияния температуры и влажности на свойства материала дает возможность увеличения долговечности бетона.

Изучением воздействия влаги на долговечность железобетонных конструкций занимались многие ученые, например: Ветров С.Н. Яковлев С.В., которые в качестве

¹Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06018 и при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 1660 государственного задания в сфере научной деятельности по Заданию № 2014/58 за 2016.

примера использовали тоннель и перекрытия промышленного здания [2]; Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н. и Ерофеев В.Т. изучали различные методы по описанию деградации свойств материалов от коррозии [3] и т.д.

1. Определение влажности бетона

1.1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу диффузии влаги через бетонную стенку. Закон диффузии примем в виде:

$$\lambda \times \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = \frac{\partial W}{\partial t}, \quad W = W(x, t), \quad (1)$$

где W – влажность бетона (в %); λ – коэффициент диффузии (в см²/сут); x – координата по толщине стенки (в см); t – момент времени (в сутках).

Граничные условия запишем в виде (рис. 1):

$$x=0: W(0,t)=W_{\max}=w_0=\text{const}, \quad (\text{например, } 2,6 \%), \quad (2)$$

$$x=L: W(L,t)=W_{\min}. \quad (3)$$

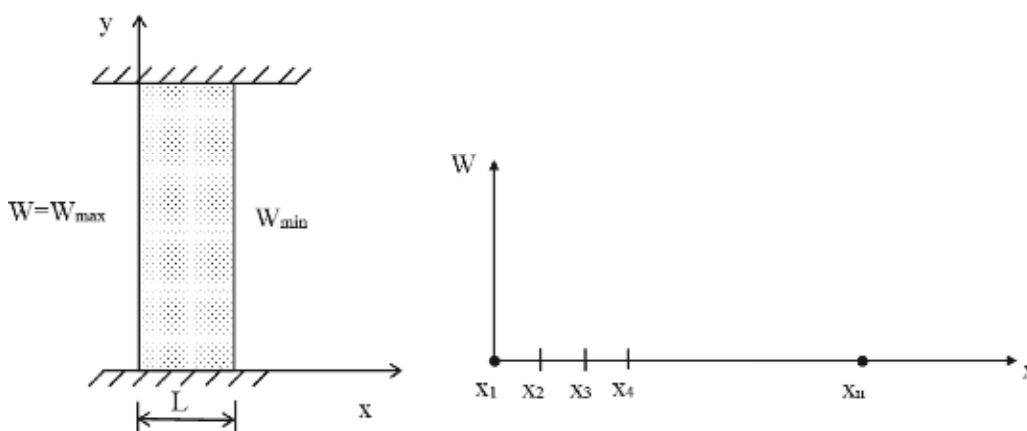


Рис. 1. Железобетонная стенка

В начальный момент времени:

$$W(0,0)=w_0, \quad (4)$$

$$W(x,0)=W_{\min}. \quad (5)$$

1.2. Алгоритм решения в конечных разностях

Решение проводим в конечных разностях и по времени, и по координате.

Обозначим: W_i^k – значение влажности в точке $x = x_i$ при $t = t_k$.

Считаем, что в точке $x = x_1$ влажность всегда одинакова и равна максимально возможной:

$$W_1 = w_0. \quad (6)$$

Шаг по времени № 1

Запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x=x_1$ в момент времени $t=t_1=\Delta t$:

$$t = t_1: \quad \frac{W_3^{(0)} - 2W_2^{(0)} + W_1^{(0)}}{Dx^2} \times \lambda = \frac{(W_2^{(1)} - W_2^{(0)})}{Dt}. \quad (7)$$

Здесь:

$$W_3^{(0)} = W_{\min}, \quad W_2^{(0)} = W_{\min}, \quad W_1^{(0)} = w_0. \quad (8)$$

Отсюда находим $W_2^{(1)}$.

Шаг по времени № 2

Далее запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x = x_2$ в момент времени $t = t_2 = 2\Delta t$:

$$t = t_2: \quad \frac{W_3^{(1)} - 2W_2^{(1)} + W_1^{(1)}}{Dx^2} \times \lambda = \frac{(W_2^{(2)} - W_2^{(1)})}{Dt}. \quad (9)$$

Здесь $W_3^{(1)} = W_{\min}$, $W_1^{(1)} = w_0$, а $W_2^{(1)}$ найден на 1-ом шаге.

Отсюда находим $W_2^{(2)}$.

Далее запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x = x_2$:

$$t = t_2 : \frac{W_4^{(1)} - 2W_3^{(1)} - W_2^{(1)}}{\Delta x^2} \Delta t = \frac{(W_3^{(2)} - W_3^{(1)})}{\Delta t}. \quad (10)$$

Здесь:

$$W_4^{(1)} = W_{min}, W_3^{(1)} = W_{min}, \quad (11)$$

а $W_2^{(1)}$ найден на 1-ом шаге.

Отсюда находим $W_3^{(2)}$.

Таким образом, последовательно находим значения W в точках $x = x_i$ в моменты времени $t = t_1, t_2, \dots$

Ниже в табл. 1 и на рис. 2 в качестве примера приведены результаты теоретических расчетов при $\lambda = 1$, $\Delta t = 7$ суток, $\Delta x = 4$ см, $W_{min} = 0,4$ %.

Таблица 1

Значения влажности бетона в разные моменты времени при $\lambda = 1$

	$W(t_1)$	$W(t_2)$	$W(t_3)$	$W(t_4)$	$W(t_5)$	$W(t_6)$	$W(t_7)$	$W(t_8)$	$W(t_9)$	$W(t_{10})$	$W(t_{11})$
$W(x_1)$	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
$W(x_2)$	1,363	1,483	1,682	1,753	1,841	1,889	1,940	1,974	2,008	2,034	2,043
$W(x_3)$	0,400	0,821	0,926	1,107	1,191	1,294	1,358	1,426	1,476	1,526	1,552
$W(x_4)$	0,400	0,400	0,584	0,653	0,776	0,846	0,932	0,993	1,057	1,108	1,158
$W(x_5)$	0,400	0,400	0,400	0,481	0,521	0,595	0,645	0,707	0,755	0,807	0,865
$W(x_6)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,435	0,457	0,499	0,531	0,572	0,607	0,670
$W(x_7)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,415	0,427	0,450	0,469	0,495	0,541
$W(x_8)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,407	0,413	0,425	0,436	0,471
$W(x_9)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,403	0,406	0,412	0,429
$W(x_{10})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,401	0,403	0,411
$W(x_{11})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400

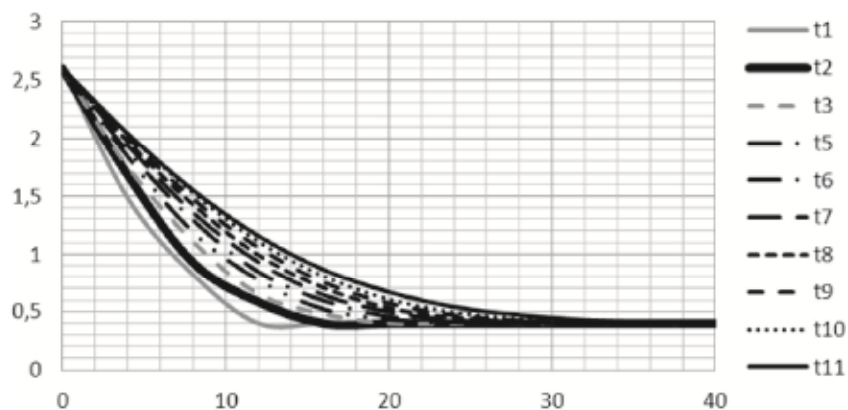


Рис. 2. Значения влажности бетона в разные моменты времени.
По оси абсцисс отложена координата по толщине колонны x_i , см;
по оси ординат – значение влажности бетона W , %

1.3. Пример обработки результатов эксперимента

В качестве исследуемого объекта был использован образец с габаритами $16 \times 4 \times 4$ см из гипсоцементно-пуццоланового камня (ГЦПК), для изготовления которого были использованы следующие материалы: гипс марки ГбБШ производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79 – 76 %; портландцемент Белгородского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н – 20 %; метакралин, полученный путем обжига каолина при температуре 700°C в течении 1 часа, $S_{уд} = 1357 \text{ м}^2/\text{кг}$ – 4 %; гиперпластификатор «Одолит-К» – 1,5 % от массы вяжущего. Образец был помещен в воду на глубину 5 мм. В течение

2 дней измерялась влажность бетона с помощью влагомера. Результаты измерений приведены ниже в табличной форме и на рис. 3.

Таблица 2

Значения влажности бетона из эксперимента

	W (x=1 см)	W (x=1,5 см)	W (x=2 см)	W (x=2,5 см)	W (x=3 см)	W (x=3,5 см)	W (x=4 см)	W (x=4,5 см)
27.04.2016 16:05	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
27.04.2016 17:30	2,4	2	1,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
28.04.2016 12:40	2,5	1,9	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
	W (x=5 см)	W (x=5,5 см)	W (x=6 см)	W (x=6,5 см)	W (x=7 см)	W (x=7,5 см)	W (x=15 см)	
27.04.2016 16:05	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
27.04.2016 17:30	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
28.04.2016 12:40	1,5	1,5	1,1	0,8	0,5	0,4	0,4	

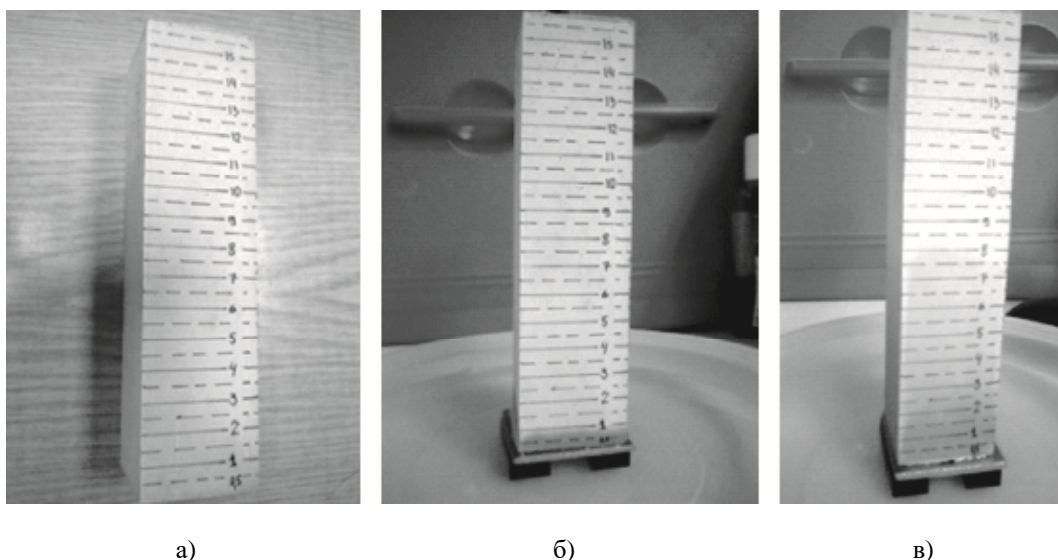


Рис. 3. Состояние бетона а) до испытания, б) в начале испытания и в) в конце испытания

Высота подъема влаги сравнивалась с теоретическими расчетами $W(t_{10})$. Это позволяет найти коэффициент диффузии:

$$l = 2,187 \text{ см}^2 / \text{сут.}$$

Сравнив высоту поднятия влаги через $t=1$ сутки, получим следующие результаты.

Согласно теоретическому расчету за время $t=1$ сутки влага поднялась на высоту $x=6$ см. По экспериментальным данным за это время влага поднимется на высоту $x=7,5$ см.

Ниже в табл. 3 и рис. 4 приведены результаты теоретических расчетов при $\lambda = 2,187$, $\Delta t = 0,2$ суток, $\Delta x = 1$ см, $W_{\min} = 0,4$ %.

Таблица 3

Значения влажности бетона в разные моменты времени при $\lambda = 2,187$

	W(t ₁)	W(t ₂)	W(t ₃)	W(t ₄)	W(t ₅)	W(t ₆)	W(t ₇)	W(t ₈)	W(t ₉)	W(t ₁₀)	W(t ₁₁)
W(x ₁)	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
W(x ₂)	1,137	1,280	1,537	1,681	1,775	1,846	1,900	1,945	1,982	2,013	2,682
W(x ₃)	0,400	0,548	0,803	0,976	1,113	1,216	1,303	1,374	1,435	1,487	3,797
W(x ₄)	0,400	0,400	0,465	0,584	0,687	0,785	0,867	0,942	1,007	1,067	5,024
W(x ₅)	0,400	0,400	0,400	0,428	0,484	0,542	0,603	0,660	0,716	0,767	5,656
W(x ₆)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,412	0,438	0,469	0,505	0,541	0,579	5,189
W(x ₇)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,405	0,417	0,433	0,454	0,476	4,083
W(x ₈)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,402	0,408	0,416	0,427	2,666
W(x ₉)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,401	0,404	0,408	1,571
W(x ₁₀)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,402	0,836
W(x ₁₁)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400

где $x_1 = 0$ см, $x_2 = 1$ см, ..., $x_{11} = 10$ см, $t_1 = 0$ суток, $t_2 = 0,2$ суток, ..., $t_{11} = 2$ суток.

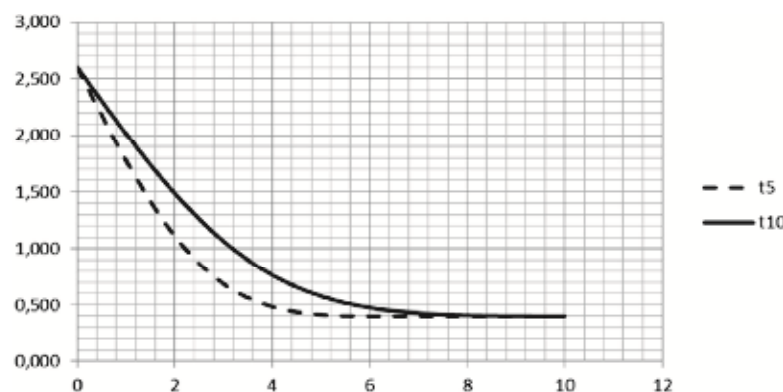


Рис. 4. Значения влажности ГЦПК в разные моменты времени. По оси абсцисс отложена координата по высоте образца ГЦПК (X_i , см), по оси ординат – значения влажности ГЦПК (W , %)

2. Определение уровня выщелачивания

2.1 Постановка задачи

Определив зависимость влажности бетона от времени t , мы можем найти уровень выщелачивания гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Рассмотрим задачу выщелачивания гашеной извести. Уравнение Фика примем в виде:

$$D(W) \times \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad Q = Q(x, t). \quad (12)$$

Здесь Q – уровень выщелачивания, который примем в виде отношения массы потерянной гашеной извести к максимально возможной массе выщелоченной гашеной извести, множитель $D(W)$ – это коэффициент выщелачивания, зависящий от влажности бетона.

Граничные и начальные условия запишем в виде:

$$x = x_0 < 0: Q(x_0, t) = 100 \%, \quad x = L: Q(L, t) = 0, \quad (13)$$

$$Q(x, 0) = 0. \quad (14)$$

Коэффициент выщелачивания аппроксимируем в виде:

$$D(W) = aW/(b+W). \quad (15)$$

Здесь a и b – коэффициенты, определяемые из эксперимента.

2.2. Решение в конечных разностях

Решение проводим по аналогии с алгоритмом определения влажности бетона (п. 1.2). В конечных разностях соотношение (12), например, для точки $x = x_1 = 0$ примет вид:

$$\frac{Q_2^{(i-1)} - 2Q_1^{(i-1)} + Q_0^{(i-1)}}{Dx^2} \times D^{(i-1)} = \frac{(Q_1^{(i)} - Q_1^{(i-1)})}{Dt}, \quad Q_0^{(i-1)} = Q(x_0, t_{i-1}) = 100 \%. \tag{16}$$

Ниже в табл. 4 и на рис. 5 приведены результаты расчетов.

Таблица 4

Значения количества выщелоченной извести в разные моменты времени

	$Q_{cao}(t_1)$	$Q_{cao}(t_2)$	$Q_{cao}(t_3)$	$Q_{cao}(t_4)$	$Q_{cao}(t_5)$	$Q_{cao}(t_6)$	$Q_{cao}(t_7)$	$Q_{cao}(t_8)$	$Q_{cao}(t_9)$	$Q_{cao}(t_{10})$	$Q_{cao}(t_{11})$
$Q_{cao}(x_1)$	4,3599	8,3479	11,9957	15,3400	18,4127	21,2424	23,8539	26,2692	28,5080	30,5873	32,5226
$Q_{cao}(x_2)$	0,1901	0,3632	0,6952	1,1578	1,7271	2,3827	3,1073	3,8866	4,7082	5,5618	6,4387
$Q_{cao}(x_3)$	0,0000	0,0082	0,0232	0,0514	0,0973	0,1640	0,2536	0,3673	0,5054	0,6678	0,8541
$Q_{cao}(x_4)$	0	0	0,0004	0,0013	0,0034	0,0074	0,0138	0,0237	0,0376	0,0563	0,0806
$Q_{cao}(x_5)$	0	0	0	1,5E-05	7,1E-05	0,0002	0,0005	0,0011	0,0020	0,0035	0,0056
$Q_{cao}(x_6)$	0	0	0	0	6,52E-07	3,642E-06	1,248E-05	3,3E-05	7,65E-05	0,0002	0,0003
$Q_{cao}(x_7)$	0	0	0	0	0	2,794E-08	1,816E-07	7E-07	2,08E-06	5,19E-06	1,15E-05
$Q_{cao}(x_8)$	0	0	0	0	0	0	1,196E-09	8,9E-09	3,82E-08	1,24E-07	3,36E-07
$Q_{cao}(x_9)$	0	0	0	0	0	0	0	5,1E-11	4,26E-10	2,02E-09	7,16E-09
$Q_{cao}(x_{10})$	0	0	0	0	0	0	0	0	2,19E-12	2,02E-11	1,05E-10
$Q_{cao}(x_{11})$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,37E-14	9,52E-13

где $x_1 = 0$ см, $x_2 = 4$ см, ..., $x_{11} = 40$ см, $t_1 = 0$ суток, $a = 0,09$, $b = 0,02$, $\Delta t = 7$ суток.

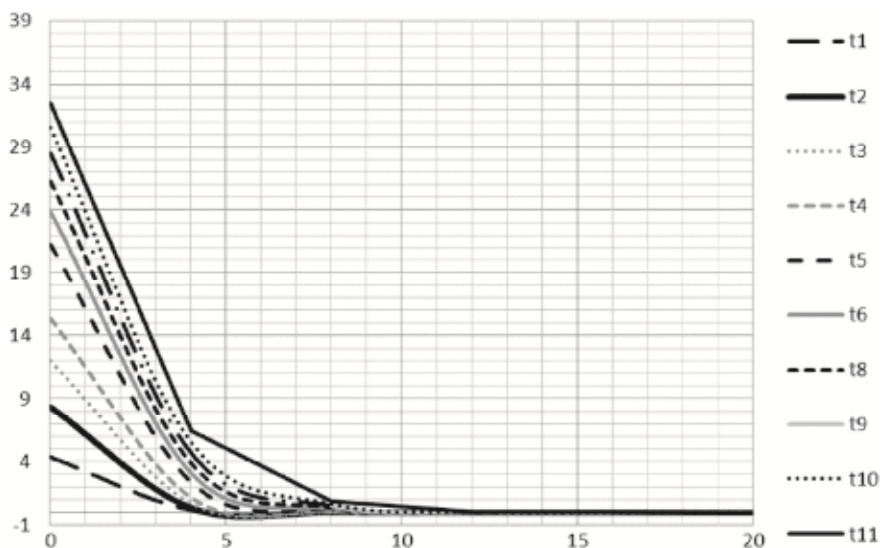


Рис. 5. По оси абсцисс отложена координата по толщине колонны X_i , см; по оси ординат – значение количества выщелоченной извести Q_{CaO} , %

3. Нахождение инженерной формулы

С помощью проверки условия сходимости значений Δt и Δx окончательно принимаем значения $\Delta t=1$ сутки, $\Delta x=8$ см.

Затем путем аппроксимации получаем инженерную формулу для определения выщелоченной гашеной извести бетона:

$$\Delta Q = ((1 \times 10^{-5})x - 0,0001)t^2 + (0,0011x^2 - 0,0271x + 0,1502)t + 0,0011x^2 - 0,0301x + 0,2181. \quad (17)$$

4. Оценка несущей способности колонны

В работе Рахимова Р.З., Алтыкиса М.Г. «Долговечность строительных материалов» приводится диаграмма снижения прочности бетона по мере выщелачивания (рис. 6). Там же отмечено, что при потерях CaO примерно в 33 % наступает полное разрушение цементного камня, а предел прочности можно считать нулевым (рис. 6).



Рис. 6. По оси абсцисс отложено значение количества выщелоченной извести Q_{CaO} в пересчете на CaO, % по оси ординат – значение прочности бетона при сжатии $R_{сж}$, %

Определив количество выщелоченной извести $Q(CaO)$ во время t в каждой точке колонны и используя известные графики уровня снижения прочности R_b при выщелачивании можно провести расчет предельной нагрузки P^* для ж/б стенки. В первом

приближении будем считать, что свойства арматуры не меняются со временем. Тогда предельная нагрузка для стенки определяется по формуле:

$$P^* = P_b^* + P_a^* = \int_{A_b} R_b(Q) \times dA + R_s \times A_s, \quad (18)$$

где A_b – площадь поперечного сечения бетонного элемента ($A_b = 1600 \text{ см}^2$), $R_b(Q)$ – расчетное сопротивление бетона сжатию, которое определяется из зависимости, приведенной на рис. 3. ($R_b(100 \%) = 115 \text{ кг/см}^2$), A_s – площадь поперечного сечения арматуры ($A_s = 14,51 \text{ см}^2$), R_s – расчетное сопротивление арматуры ($R_s = 3620 \text{ кг/см}^2$).

Результаты расчета приведены ниже в табл. 5.

Таблица 5

Значения предельной нагрузки железобетонной стенки в разные моменты времени

	$P^*(t_1)$	$P^*(t_2)$	$P^*(t_3)$	$P^*(t_4)$	$P^*(t_5)$	$P^*(t_6)$	$P^*(t_7)$	$P^*(t_8)$	$P^*(t_9)$	$P^*(t_{10})$	$P^*(t_{11})$
$P^*(x_1)$	17848	16376	15456	14904	14536	13432	12512	9016	7176	5704	920
$P^*(x_2)$	18032	17848	17664	17296	17240,8	17167,2	17112	16928	16744	16376	15456
$P^*(x_3)$	18400	18216	18032	17664	17480	17296	17204	17112	17020	16928	16836
$P^*(x_4)$	18400	18400	18381,6	18032	17848	17940	17848	17756	17664	17572	17480
$P^*(x_5)$	18400	18400	18400	18381,6	18032	17848	17664	17480	17296	17112	17020
$P^*(x_6)$	18400	18400	18400	18400	18381,6	18216	18032	17848	17664	17480	17388
$P^*(x_7)$	18400	18400	18400	18400	18400	18381,6	18124	18032	17848	17664	17572
$P^*(x_8)$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18381,6	18179,2	17940	17848	17756
$P^*(x_9)$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18398,16	18032	18124	18032
$P^*(x_{10})$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18398,2	18160,8	18381,6

где $x_1 = 0 \text{ см}$, $x_2 = 4 \text{ см}$, ..., $x_{11} = 40 \text{ см}$, $t_1 = 0$ суток, $\Delta t = 7$ суток, $P^*(x_1)$ – предельная нагрузка, воспринимаемая бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения $A_{b1} = 160 \text{ см}^2$ в координатах от 0 до 4 см; $P^*(x_2)$ – предельная нагрузка, воспринимаемая частью бетонной стенки с площадью поперечного сечения $A_{b2} = 160 \text{ см}^2$ в координатах от 4 до 8 см; ...; $P^*(x_{10})$ – предельная нагрузка, воспринимаемая бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения $A_{b10} = 160 \text{ см}^2$ в координатах от 36 до 40 см.

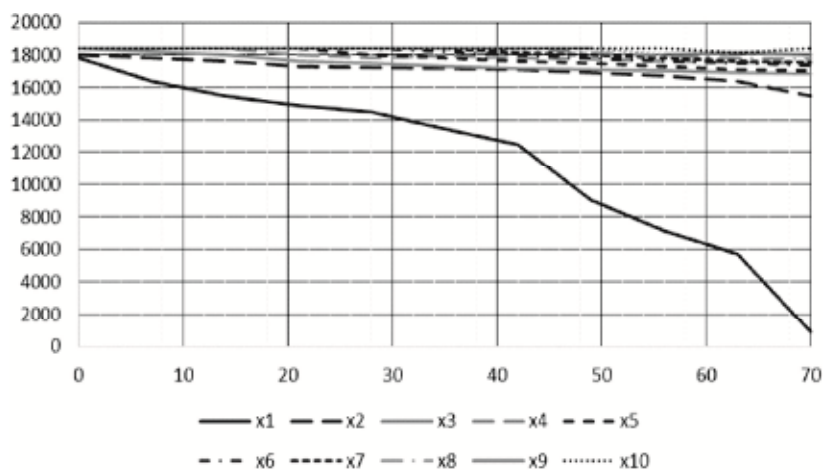


Рис. 7. Величина предельной нагрузки в разные моменты времени.

По оси абсцисс отложены моменты времени t , в сутках, по оси ординат – величина предельной нагрузки P^* , воспринимаемой бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения $A_{bi} = 160 \text{ см}^2$ в период деградации, кгс

Зная предельную нагрузку, воспринимаемую каждой бетонной частью стенки в разные моменты времени, можно определить предельную нагрузку, воспринимаемую всей бетонной частью стенки в разные моменты времени, по формуле:

$$P_{\text{общ.}}^{*t1} = P_{x1}^{*t1} + P_{x2}^{*t1} + \dots + P_{x11}^{*t1}; \quad P_{\text{общ.}}^{*t2} = P_{x1}^{*t2} + P_{x2}^{*t2} + \dots + P_{x11}^{*t2}; \dots \quad (19)$$

Значение предельной нагрузки, воспринимаемой всей стенкой до деградации, найдем по формуле:

$$P^* = P_b^* + P_a^* = R_b \cdot A_b + R_s \cdot A_s = 115 \cdot 1600 + 3620 \cdot 14,51 = 236526,2 \text{ кгс}. \quad (20)$$

Используя табл. 5, по формулам (18), (19) получим график падения предельной нагрузки, воспринимаемой стенкой, в период деградации (рис. 8).

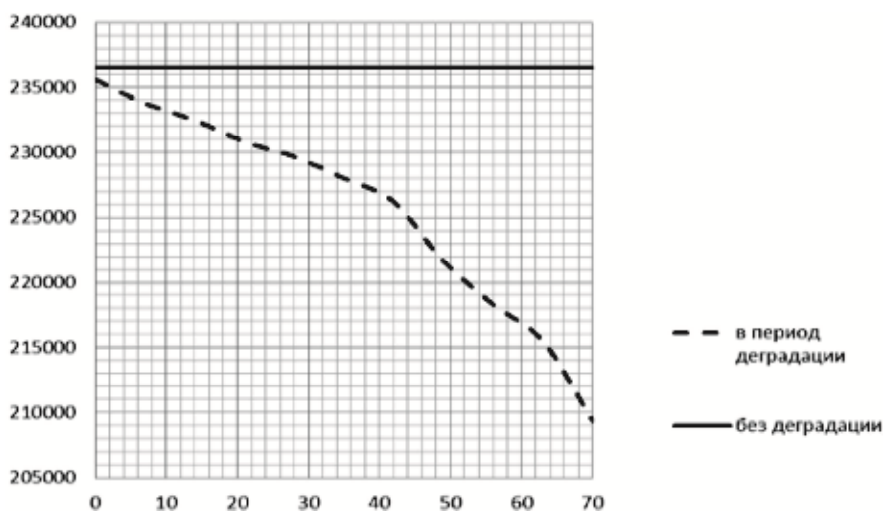


Рис. 8. На оси абсцисс отложены моменты времени t , в сутках; на оси ординат – величина предельной нагрузки P^* , воспринимаемой железобетонной стенкой с площадью поперечного сечения $A_b = 1600 \text{ см}^2$, кгс

Основные выводы

1. Разработана методика описания процесса диффузии влаги в бетонной стенке, методика оценки влияния влажности на свойства материала и методика описания процесса деградации железобетонных конструкций под действием влаги.

2. Приведен пример обработки результатов эксперимента по определению коэффициента диффузии гипсоцементно-пуццоланового камня.

3. Приведен пример расчета определения влажности бетона в любой точке и в любой момент времени, уровня выщелачивания и определения предельной нагрузки для железобетонной стенки в различные моменты времени.

4. Получена инженерная формула для определения выщелоченной гашеной извести бетона, по которой можно определить остаточную прочность бетона по работе Рахимова Р.З. и Алтынкис М.Г.

Список библиографических ссылок

1. Бондаренко В. М. К вопросу о влиянии анизотропии и коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетона при знакопеременном нагружении // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 101–105.
2. Ветров С. Н., Яковлев С. В. Специфика обследования состояния железобетонных конструкций в условиях агрессивного воздействия воды // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7 (17). С. 35–40.
3. Карапенко Н. И., Карапенко С. Н., Ярмаковский В. Н., Ерофеев В. Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. РААСН. 2015. № 1. С. 3–18.
4. Каюмов Р. А., Ахметшин М. М. Долговечность панели с внешним каркасом из тонких гнутых профилей с учетом ползучести утеплителя // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (27). С. 64–69.
5. Каюмов Р. А., Мангушева А. Р., Мухаметшин А. Т., Сулейманов А. М. К определению долговечности пленочно-тканевого композиционного материала, подвергаемого воздействию солнечной радиации // Издательство КГУ. 2010. № 4. С. 158–165.
6. Леонович С. Н., Прасол А. В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 94–96.
7. Селяев В. П., Ошкина Л. М., Селяев П. В., Сорокин Е. В. Исследование химической стойкости цементных бетонов с учетом сульфатной коррозии // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 4–11.
8. Селяев В. П., Неверов В. А., Ошкина Л. М., Селяев Е. В., Сорокин Е. В., Кечуткина Е. Л. Сопротивление цементных бетонов сульфатной коррозии // Строительные материалы. 2013. № 12. С. 26–30.
9. Arab N., Zemskov E. P., Muntean A. Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion of concrete in locally – periodic perforated domains // Journal of Engineering mathematics. 2011. № 69 (2). P. 261–276.
10. Kosmatka, Kerkoff B, Hooton R. Design and control of Concrete Muxtures. The Guide to Application // Methods and Materials, Eight Canadian Edition. Cement Association of Canada. Ottawa. 2011. P. 35–68.
11. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin E. V., Udina O. A., Tsganov V. V. Crack resistance of reinforced concrete structures with epoxy coating // Munich publishing office Vela Verlag Waldkraiburg. 2013. P. 167–176.
12. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin P. V. Physical bases of materials strength with the structure of conglomerate type // Westwood publishing office Accent Graphics communications. 2012. P. 523–531.
13. Stevulova N., Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Luptakova A., Repka M. Study of sulfate corrosion simulations on concrete composites // International Journal of Energy and Environment. 2012. № 2. P. 276–283.

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor
E-mail: kayumov@rambler.ru

Ibragimova A.A. – student
E-mail: ibragimova-aigul92@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the assessment of the maximum load of a reinforced concrete wall subjected to unilateral action of moisture

Abstract

Problem statement. The reinforced concrete wall is given under the influence of the vertical axial load and the influence of moisture. It is believed that the concrete from the effects of moisture degrades over time. We assume that the strength of the reinforcement does not change with time, so we take into account the drop in strength of concrete only. The aim of the work was to develop a methodology for describing the process of degradation of reinforced concrete structures.

Results. In this paper we use the law of moisture diffusion in concrete and Fick's law in the process of degradation. These equations are solved numerically by the method of finite differences. The convergence of the method of minimizing the step with respect to time and step along the coordinate was investigated. A technique for determining the diffusion coefficients is developed using the example of processing the results of an experiment for a gypsum cement-pozzolan stone.

Conclusions. An engineering formula has been obtained for the determination of leached slaked lime concrete, according to which we determine the residual strength of concrete according to the work of Rakhimov R.Z. and Altynkis M.G. These calculations allow finding the ultimate load of the reinforced concrete wall at any time.

Keywords: reinforced concrete, durability, corrosion, degradation, diffusion, leaching.

References

1. Bondarenko V. M. On the influence of anisotropy and corrosion damage on the strength resistance of reinforced concrete under alternating loading // Academia. Architectura I stroitel'stvo. 2011. № 1. P. 101–105.
2. Vetrov S. N., Yakovlev S. V. Specificity of inspection of the state of reinforced concrete structures in conditions of aggressive water impact // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2010. № 7 (17). P. 35–40.
3. Karapenko N. I., Karapenko S. N., Yarmakovskiy V. N., Erofeev V. T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures // Academia. RAASN. 2015. № 1. P. 3–18.
4. Kayumov R. A., Akhmetshin M. M. Durability of a panel with an external frame made of thin bent profiles taking into account the creep of a heater // Izvestiya KGASU. 2015. № 3 (27). P. 64–69.
5. Kayumov R. A., Mangusheva A. R., Mukhametshin A. T., Suleimanov A. M. Determination of the durability of film-fabric composite material exposed to solar radiation // KSU Publishing House. 2010. № 4. P. 158–165.
6. Leonovich S. N., Prasol A. V. Concrete in conditions of chloride corrosion: deformation and destruction // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 5. P. 94–96.
7. Selyaev V. P., Oshkina L. M., Selyaev P. V., Sorokin E. V. Investigation of chemical resistance of cement concretes taking into account sulfate corrosion // Regional architecture and construction. 2012. № 1. P. 4–11.
8. Selyaev V. P., Neverov V. A., Oshkina L. M., Selyaev E. V., Sorokin E. V., Kechutkina Ye. L. Resistance of cement concretes of sulphate corrosion // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 12. P. 26–30.
9. Arab N., Zemskov E. P., Muntean A. Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion in the perennial periodic perforated domains // Journal of Engineering mathematics. 2011. № 69 (2). P. 261–276.
10. Kosmatka, Kerkoff B., Hooton R. Design and control of Concrete Muxtures. The Guide to Application // Methods and Materials, Eight Canadian Edition. Cement Association of Canada. Ottawa. 2011. P. 35–68.
11. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin E. V., Udina O. A., Tsganov V. V. Crack resistance of the reinforced concrete structures with epoxy coating // Vela Verlag Waldkraiburg. 2013. P. 167–176.
12. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin P. V. Physical bases of materials of strength with the structure of conglomerate type // Westwood publishing office Accent Graphics communications. 2012. P. 523–531.
13. Stevulova N., Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Luptakova A., Repka M. Study of sulfate corrosion simulations on concrete composites // International Journal of Energy and Environment. 2012. № 2. P. 276–283.

УДК 539.3

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: kayumov@ Rambler.ru

Мухамедова И.З. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Ханафиев А.Г. – инженер

Казанский ГипроНИИавиапром

E-mail: hanafiev111@gmail.com

Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

Тазюков Б.Ф. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: bulat.tazioukov@kpfu.ru

Казанский федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Методика расчета тентовых покрытий*

Аннотация

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка численной методики расчета тентовой конструкции в геометрически нелинейной постановке.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в разработке методики расчета несущих элементов тентовой конструкции при действии статических и ветровых нагрузок. Также реализована расчетная модель поведения элементов тентовых конструкций в геометрически нелинейной постановке в программном комплексе «Ли́ра-САПР». Проведены численные эксперименты для проведения анализа напряженно-деформированного состояния при варьировании геометрических параметров элементов тентовых конструкций.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что построенные регрессионные зависимости позволяют определить напряженно-деформированное состояние в тенте при варьировании геометрических параметров тентовой конструкции.

Ключевые слова: методика, модель, тент, напряжение, ферма, эксперимент, расчет, перемещение.

Введение

Как известно, покрытия играют очень важную конструктивную роль, защищая внутреннее пространство здания, в том числе обеспечивая звуко- и теплоизоляцию, которые напрямую влияют на комфортность сооружения. Схемы покрытий, основу которых составляют либо железобетонные плиты, либо деревянные или металлические элементы, массивны и абсолютно непригодны для стадионов, больших концертных или выставочных залов и павильонов, т.е. сооружений, связанных с массовым пребыванием людей и проведением масштабных зрелищ. Для создания большепролетной формы сооружения наиболее рационально использовать легкие тентовые покрытия. Конечно, сфера применения тентовых покрытий не ограничивается общественными зданиями. К типологическому списку можно добавить промышленные здания и сооружения специального назначения: склады, гаражи, ангары, цеха, лаборатории, теплицы, оранжереи и др.

Тентовое покрытие не подвержено коррозии, не реагирует на средне агрессивные химикаты. Конструкция, покрытая тентовой тканью, абсолютно герметична, поскольку при ее установке применяется особая технология сварки поливинилхлорид. Тентовое покрытие обладает рядом характерных черт, которые в определенных условиях превращаются в преимущества по сравнению с другими типами конструкций. В качестве основных таких свойств можно назвать возможность перекрытия больших пролетов, быстровозводимость, малый расход материалов, применимость практически во всех областях народного хозяйства, в том числе в сельском хозяйстве. При возведении

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-08-06018).

тентовых сооружений наряду с достоинствами необходимо учитывать и их недостатки, такие как трудности поддержания микроклимата и малую долговечность.

При построении расчетной модели был проведен анализ и, где это возможно, тестирование существующих программных средств, которые реализуют наиболее современные методы решения задач для вычисления напряжений и перемещений в расчетах тентовой конструкции с учетом собственного веса при воздействии постоянных и кратковременных нагрузок.

Основная часть

При описании сложных расчетных областей наиболее эффективным в настоящее время признан метод конечных элементов (МКЭ). В расчетной модели для тентового полотна применялся четырехузловой пластинчатый конечный элемент, а для фермы – стержневой конечный элемент. В работе построение объемной схемы конструкций покрытия была произведено с применением программного комплекса «Лири-САПР® 2013 (R3)» система ВИЗОР-САПР. На рис. 1 представлена конечно-элементная модель объемной тентовой конструкции. Металлические фермы запроектированы с уклоном в одну сторону 9 %, верхний и нижний пояса фермы соединяются между собой раскосами. Размеры панелей 1,2 м. Ферма пролетом 18 м комплектуется из трех отпарочных марок по 6 м. Монтажные соединения фланцевые. Соединение элементов решетки с поясами ферм бесфасоночное. Все заводские соединения элементов ферм сварные. Элементы ферм выполнены из гнuto-сварных квадратных труб. Опираение металлической фермы к подстропильной конструкции – шарнирное. Класс стали для поясов ферм, для распорок (решетки фермы) – С255.

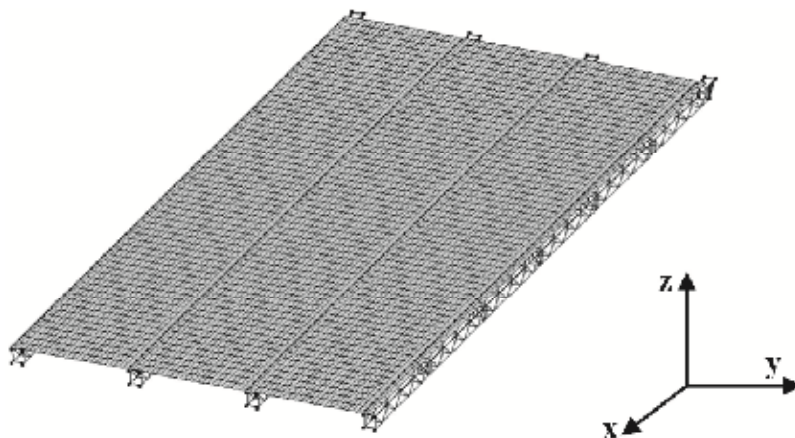


Рис. 1. Конечно-элементная модель объемной тентовой конструкции

В программном комплексе использовалась геометрически нелинейная модель поведения элементов тентовых конструкций. При этом выполнен сбор нагрузок, назначены жесткости по элементам, выполнен нелинейный расчет пространственной схемы, получены значения перемещений и напряжений в элементах фермы и в самом тенте.

Сбор нагрузок был разделен по следующей схеме:

– *загрузка № 1* (с коэффициентом для расчетной нагрузки 1,05): учитывается собственный вес металлических конструкций: фермы, шпильки.

– *загрузка № 2* (с коэффициентом для расчетной нагрузки 1): учитывается предварительное натяжения тента.

– *загрузка № 3*. Ветровая нагрузка принята из СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» по схеме III (рис. 2).

– *загрузка № 4*. Ветровая нагрузка принята из СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» по схеме IV (рис. 2). Следует отметить, что в программе загрузки № 3 и № 4 взаимоисключающиеся.

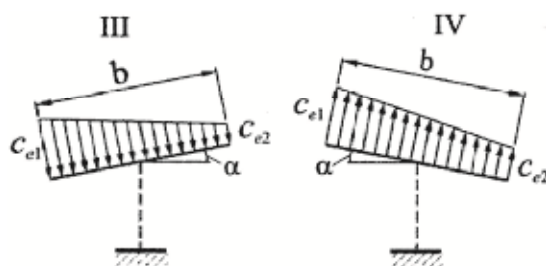


Рис. 2. Схемы воздействия ветровых нагрузок

Таблица 1

Сбор нагрузок

№ п/п	наименование нагрузки	ед. изм	нормативная нагрузка	φ	расчетная нагрузка
<i>Постоянные нагрузки</i>					
1	Собственный вес покрытия	кг/м ²	7,3	1,2	8,76
2	Вес стальных ферм	кг	828	1,05	869,4
	Итого на покрытие:		835,3	1,051	878,16
<i>Кратковременные нагрузки</i>					
3	Ветровая	кг/м ²	38	1,4	53

Таблица 2

Упрощенный расчет ветровой нагрузки на поверхность

исходные данные		обозначения	значения	ед. изм.
1	Скорость ветра	v_b	24,0	м/с
			86,4	км/ч
2	Плотность воздуха	ρ	1,293	кг/м ³
3	Ускорение свободного падения	g	9,81	м/с ²
4	Коэффициент, учитывающий аэродинамику формы и положения объекта	k	1,60	-
результаты расчетов		обозначения	значения	ед. изм.
5	Расчетный скоростной напор воздуха на стенку	Q	38,0	кг/м ²
6	Расчетная ветровая нагрузка на плоскую стенку	W	60,7	кг/м ²

Сбор нагрузок, как постоянных, так и кратковременных, произведен согласно табл. 1, а входные параметры для ветровой нагрузки на поверхность представлены в табл. 2, согласно СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Рассматриваются три варианта расчетной модели. Задается шаг опорных стержневых конструкций (металлическая ферма), для крепления тентового покрытия – 3 метра (вариант № 1), 4 метра (вариант № 2), 5 метра (вариант № 3). Для расчета принята толщина тента в виде 1 мм, 1,5 мм и 2 мм. Варьируются геометрические параметры тентового полотна и проводится сравнительный анализ численных экспериментов.

Результатами расчета металлической фермы являются:

- вид деформированной схемы;
- эпюры наибольших моментов и усилий M , N , Q наиболее нагруженных элементов.

Для каждого пункта приводятся максимальные значения усилий, соответствующие наиболее невыгодному сочетанию нагружения для конструкции.

На рис. 3 представлен график зависимости напряжения в тентовом покрытии от шага опорных элементов – металлические фермы и толщины тентового полотна. На рис. 4. приведены зависимости максимальных перемещений тентового покрытия от шага опорных элементов и толщины тента. На рис. 5 изображены результаты численных экспериментов и получены графики зависимости перемещения опорной конструкции – металлической фермы от шага и толщины тента при 1 мм, 1,5 мм и 2 мм.

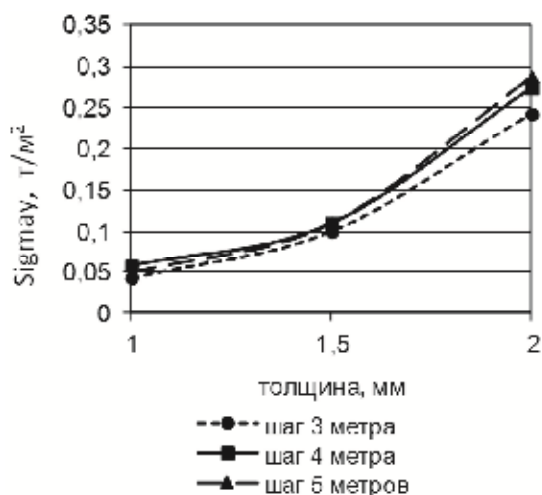


Рис. 3. Зависимость напряжения σ_y от шага опорных элементов – металлические фермы и от толщины тентового полотна

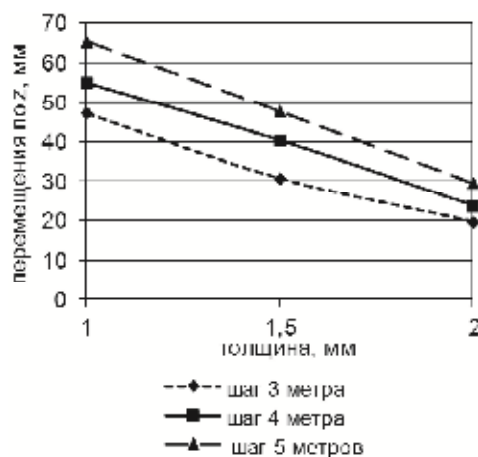


Рис. 4. Зависимость перемещения по оси z от шага опорных элементов и толщины тента

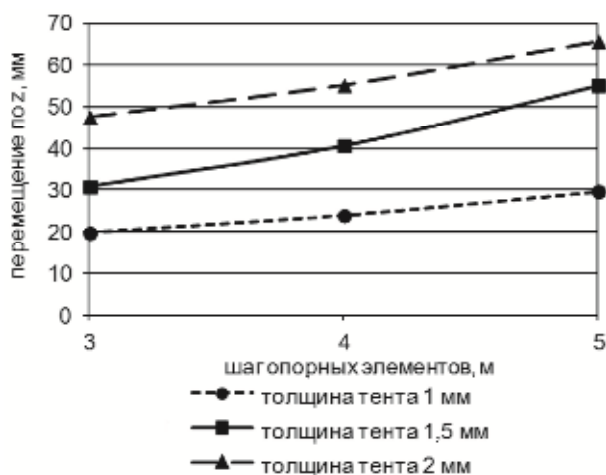


Рис. 5. Зависимость перемещения по z опорной конструкции – металлической фермы от шага и толщины тента 1 мм, 1,5 мм, 2 мм

На основе анализа численных экспериментов получена регрессионная функция для напряжений σ_y (рис. 3) в виде:

$$f_{regr} = (a_0 + a_1 x + a_2 x^2) + (b_0 + b_1 x + b_2 x^2) \times x + (c_0 + c_1 x + c_2 x^2) \times x^2, \quad (1)$$

где ξ – шаг опорных элементов ($3 \leq \xi \leq 5$); x – толщина тентового полотна ($1 \leq x \leq 2$). Для определения искомых коэффициентов a_i, b_i, c_i ($i = \overline{0,3}$) используется метод минимизации квадратичной невязки между значениями напряжений σ_y , полученными в численных экспериментах и значениями функции (1) для σ_y , полученными при величинах ξ и x , использованными в численных экспериментах. В рассмотренной задаче найдены следующие их значения:

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,6851; & a_1 &= 0,56940; & a_2 &= -0,081182; \\ b_0 &= 0,70393; & b_1 &= -0,70219; & b_2 &= 0,10269; \\ c_0 &= -0,163503; & c_1 &= 0,23470; & c_2 &= -0,0343203; \end{aligned} \quad (2)$$

Отличие численных расчетов с помощью формулы (1) от численных экспериментов составило 7 %.

Далее, аналогично выше приведенному, построена регрессионная функция для перемещений тента вдоль оси z в зависимости от шага опорных элементов при разной толщине тента (рис. 5). Вид функции имеет вид (1), где за параметр ξ принята толщина тента, а за x – шаг опорных элементов. Минимизация квадратичной невязки привела к следующим искомым коэффициентам a_i, b_i, c_i ($i = \overline{0,3}$):

$$\begin{aligned} a_0 &= -19,6; & a_1 &= 42,5; & a_2 &= -6,2; \\ b_0 &= 42,35; & b_1 &= -65,45; & b_2 &= 21,7; \\ c_0 &= -10,35; & c_1 &= 16,45; & c_2 &= -5,3; \end{aligned} \quad (3)$$

Отличие численных расчетов с помощью формулы (1) от численных экспериментов составило 1 %.

Далее построена регрессионная функция для перемещений тента вдоль оси z в зависимости от толщины тента при разном шаге опорных элементов (рис. 4). Вид регрессионной функции аналогичен выражению (1). Искомые коэффициенты имеют вид:

$$\begin{aligned} a_0 &= -402,5; & a_1 &= 163,1; & a_2 &= -20,5; \\ b_0 &= 530,9; & b_1 &= 241,85; & b_2 &= 28,45; \\ c_0 &= -169; & c_1 &= 80,5; & c_2 &= -9,3; \end{aligned} \quad (4)$$

Проведенная аппроксимация дает погрешность 1 %.

Заключение

1. Разработана модель поведения элементов тентовых конструкций в геометрически нелинейной постановке.
2. Разработаны методики расчета несущих элементов тентовой конструкции при действии статических и ветровых нагрузок.
3. Реализована расчетная модель поведения элементов тентовых конструкций в геометрически нелинейной постановке в программном комплексе «Лира-САПР».
4. Проведены численные эксперименты для проведения анализа НДС от варьирования геометрических параметров элементов тентовой конструкции.

Выводы

На основе полученных регрессионных зависимостей можно определить напряженно-деформированное состояние в тенте в зависимости от варьирования геометрических параметров тентовой конструкции. На основе анализа полученных численных результатов показано, что при шаге 5 метров наиболее выгодной толщиной тента будет 1 мм, так как это экономически целесообразно. При этом прочность конструкции обеспечивается с большим запасом. При увеличении толщины тента перемещения уменьшаются практически пропорционально толщине. При увеличении шага опорных конструкции (металлическая ферма) напряжения в полотне тента увеличиваются почти линейно.

Список библиографических ссылок

1. Городецкий Д. А., Барабаш М. С., Водопьянов Р. Ю., Титюк В. П., Артамонова А. Е. Программный комплекс ЛИРА-САПР. М. : Москва, 2013. 376 с.

2. Nagy-Györgya T., Sasb G., Dăescu A. C., Stoian V. Experimental and numerical assessment of the effectiveness of FRP-based strengthening configurations for dappedend RC beams // *Engineering Structures*. 2012. Т. 33, Т. 44. P. 291–303.
3. Каюмов Р. А., Сулейманов А. М., Мухамедова И. З. Моделирование поведения пленочно-тканевого материала при воздействии эксплуатационных факторов // *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2005. т. 11. № 4. С. 519–530.
4. Каюмов Р. А., Куприянов В. Н., Мухамедова И. З., Сулейманов А. М., Шакирова А. М. Деформирование представительной ячейки пленочно-тканевого композита при конечных перемещениях // *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2007. Т. 13. № 2. С. 165–173.
5. Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Пеньковцев С. А. Выбор рационального типа поперечного сечения опор // *Приволжский научный журнал*, 2014, № 4 (32). С. 90–94.
6. Hicks S. J., Lawson R. M., Lan D. Design considerations for composite beams using precast concrete slabs. In : *Composite Construction in Steel and Concrete V*. American Society of Civil Engineers. New York, 2006. P. 190–201.
7. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and- fabric composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016 V. 158 010250.
8. Каюмов Р. А., Мангушева А. Р., Мухамедова И. З. Учет изменения температуры при оценке длительной прочности пленочно-тканевого композиционного материала / *Математическое и компьютерное моделирование в механике деформируемых сред и конструкций : сб. ст. XXVI Международной конференции / Санкт-Петербург : Айсинг, 2015. С. 207–209.*
9. Удлер Е. М., Толстов Е. В. Проектирование тентовых оболочек // *Строительство и Архитектура*. 2001. № 1. С. 43–47.
10. Городецкий А. С., Барабаш М. С., Сидоров В. Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. Проектирование конструкций. М. : Москва, 2015. 285 с.

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor

E-mail: kayumov@rambler.ru

Muhamedova I.Z. – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Hanafiev A.G. – engineer

E-mail: hanafiev111@gmail.com

Kazan Giproniaviaprom

The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementyeva st., 1

Tazyukov B.F. – candidate of physical and mathematical sciences

E-mail: bulat.tazioukov@kpfu.ru

Kazan Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

Method of calculating the tent coverings

Abstract

Problem statement. The purpose of this paper is to develop a numerical method for calculating the tent structure in a geometrically nonlinear setting.

Results. Development of a technique for calculating the load-bearing elements of the tent structure under the action of static and wind loads. Also, the calculated model of the behavior of the elements of the tent structures in a geometrically nonlinear setting in the program complex «Lira-SAPD» is realized. Numerical experiments have been performed to analyze the stress-strain state with varying geometric parameters of the elements of the tent structures.

Conclusions. The constructed regression dependences allow to define the stress-strain state in the tent with variation of the geometric parameters of the tent structure.

Keywords: methodology, model, tent, stress, truss, experiment, calculation, movement.

References

1. Gorodetsky D. A., Barabash M. S., Vodopyanov R. Yu., Tityuk V. P., Artamonova A. E. The program complex LIRA-SAPR. M. : Moskwa, 2013. 376 p.
2. Nagy-Györgya T., Sasb G., Dăescua A. C., Stoian V. Experimental and numerical assessment of the effectiveness of FRP-based strengthening configurations for dappedend RC beams // *Engineering Structures*. 2012. T. 33, V. 44. P. 291–303.
3. Kayumov R. A., Suleimanov A. M., Mukhamedova I. Z. Modeling of the behavior of film-fabric material under the influence of operational factors // *Mehanika kompozicionnih materialov i konstrukciy*. 2005. t. 11. № 4. P. 519–530.
4. Kayumov R. A., Kupriyanov V. N., Mukhamedova I. Z., Suleimanov A. M., Shakirova A. M. Deformation of a representative cell of a film-fabric composite at finite displacements // *Mehanika kompozicionnih materialov i konstrukciy*. 2007. T. 13. № 2. P. 165–173.
5. Sabitov L. S., Kuznetsov I. L., Penkovtsev S. A. Selection of the rational type of the cross-section of the supports // *Privolzhsky nauchnyy Journal*, 2014, № 4 (32). P. 90–94.
6. 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.
7. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric- composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. V. 158 010250.
8. Kayumov R. A., Mangusheva A. R., Mukhamedova I. Z. Accounting for temperature changes in the evaluation of the long-term strength of film-fabric composite material / *Mathematical and computer modeling in mechanics of deformable media and structures: coll. Art. XXVI International Conference / St. Petersburg : Aising, 2015. P. 207–209.*
9. Удлер Е. М., Толстов Е. В. Проектирование тентовых оболочек // *Строительство и Архитектура*. 2001. № 1. С. 43–47.
10. Gorodetsky A. S., Barabash M. S., Sidorov V. N. Computer simulation in the problems of structural mechanics. *Design of structures*. M. : Moskva, 2015. 285 p.

УДК 624.011.

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Гимранов Л.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: leenur@mail.ru

Салахутдинов М.А. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lider-kazan@mail.ru

Фахрутдинов А.Э. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: faxrutdinoff@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Совершенствование узлов стальных ферм с поясами из многогранных труб

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось исследование способов усиления поясов стропильных ферм, выполненных из оцинкованных труб с сечением в виде многогранника из листовой стали толщиной от 4 до 6 мм с выпуском одной из кромок листа для образования фасонки.

Результаты. Установлено, что усилия, воспринимаемые фасонкой толщиной от 4 до 6 мм, превышают максимально допустимые значения. Предложены 4 варианта усиления фасонки для обеспечения надежной передачи усилия между поясами и раскосами. Все варианты усиления исключают сварку, которая повреждает оцинкованное покрытие. Разработаны и исследованы конечно-элементные модели фрагментов поясов ферм для 4-х вариантов усиления.

Выводы. Значимость для строительной отрасли заключается в том, что получены коэффициенты эффективности усиления. Усиление путем загиба фасонки рационально при всех рассмотренных толщинах; усиление путем установки промежуточной пластины менее эффективно по сравнению с загибом; преднатяжение болтов в случае загиба наиболее эффективно проявляет себя при толщине 6 мм, при толщине 4 мм не эффективно.

Ключевые слова: стальные фермы, многогранные сечения, оцинкованные элементы, компьютерное моделирование.

В работе [1] предлагается при изготовлении стальных ферм в качестве поясов использовать многогранные оцинкованные трубы. Многогранные трубы широко применяются в строительстве [2, 3, 4], особенно, в энергетическом [5, 6, 7]. В основном данные трубы используются в качестве опор линий электропередач, ветрогенераторных установок и т.д. При этом могут быть изготовлены многогранные трубы переменного по длине сечения, а также переменной площади сечения [8]. Для изготовления поясов ферм было предложено выполнять обратный отгиб кромок исходной заготовки с целью образования по всей длине фасонки [1], которая нужна не только для крепления стержней решетки, но также для восприятия усилий, действующих в поясах.

Однако для рационального и надежного крепления стержней решетки требуется значительная ее толщина [9, 10]. В практике строительства стальных конструкций толщина фасонки зависит от усилия в опорном раскосе и находится в пределах от 6 до 20 мм при усилении в раскосе от 150 до 1800 кН соответственно. Например, при усилении в раскосе порядка 600 кН толщина фасонки должна быть не менее 14 мм.

Толщина рекомендуемого отгиба кромки для образования фасонки недостаточна для обеспечения прочного крепления раскосов, так как изготовление многогранных труб выполняется из заготовок от 4 до 6 мм. Предлагается при изготовлении многогранных поперечных сечений образование продольных фасонки достаточной толщины выполнять согласно вариантам, приведенным на рис. 1-2.

На рис. 1 приводятся методы усиления фасонки:

а) созданием загиба одной из кромок листа заготовки, обрамляющего другую кромку (образец 1 и образец 2 – с преднатяжением болтов);

б) расположением промежуточной пластины между кромками листа заготовки (образец 3).

На рис. 2 приводятся методы усиления фасонки путем образования загиба одной из кромок листа заготовки под другую кромку (образец 4 на рис. 2 б) и контрольный образец без усиления (рис. 2 а).

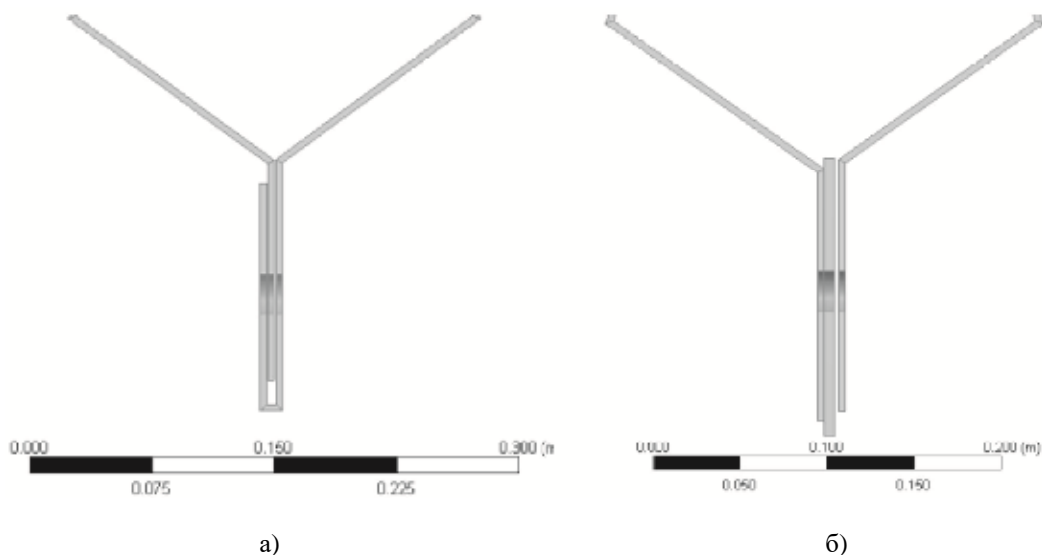


Рис. 1. Усиление области фасонки верхнего пояса из многогранного сечения

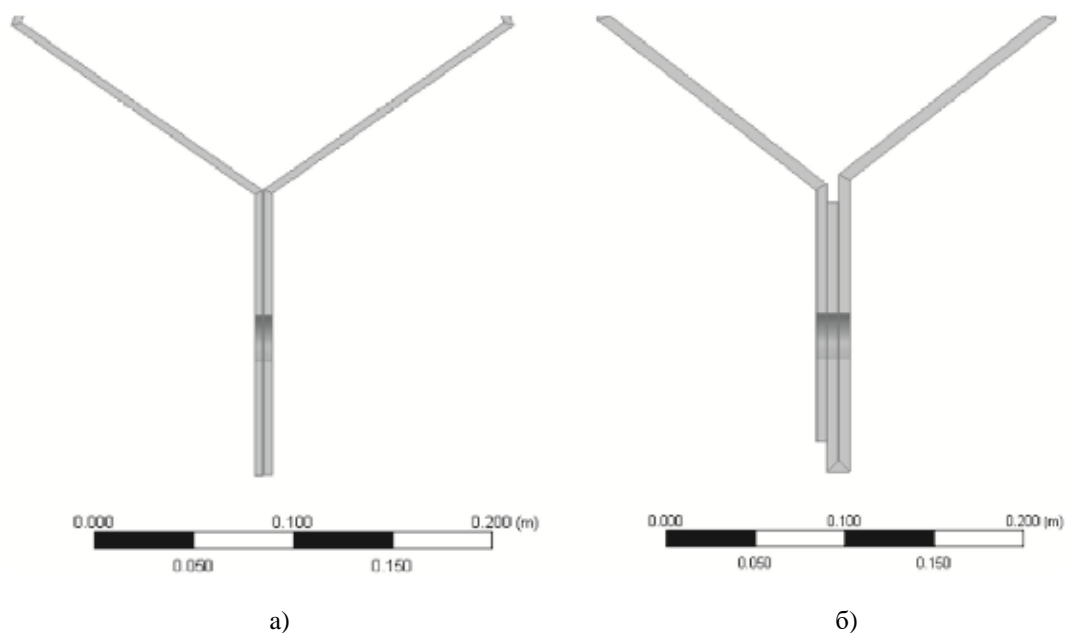


Рис. 2. Усиление области фасонки верхнего пояса из многогранного сечения

Компьютерное моделирование производится в ПК «Ansys Academics». Расчетная модель представляет собой участок верхнего пояса фермы длиной 1 м с пятиугольным поперечным сечением и толщиной листа 4 и 6 мм (рис. 3). Участок верхнего пояса, образующий фасонку, имеет сквозные отверстия для болтов диаметром 24 мм. Также моделируется тело болта с головочной и гаечной частями, объединенными в единое тело. Конечно-элементная сетка выполнена из объемных конечных элементов. Пояс закреплен от вертикального и горизонтального смещения, а усилие от раскосов прикладывается к наружным кромкам тела, моделирующего болт. Усилие между болтом и фасонкой передается контактным способом, подразумевающим передачу усилий через поверхность контакта и образование зазоров при коэффициенте трения 0,15. Верхний пояс и фасонка

также моделируются с учетом физической нелинейности (диаграмма Прандтля) с пределом текучести 255 МПа и тангенсальным модулем упругости, равным 0. Материал болтов принимается линейным, соответствующим классу болтов 10.9 с расчетным сопротивлением 900 МПа. Контакт между поверхностями разных кромок фасонки моделируется с коэффициентом трения 0,15 с возможностью передачи контактного давления и образования зазоров.

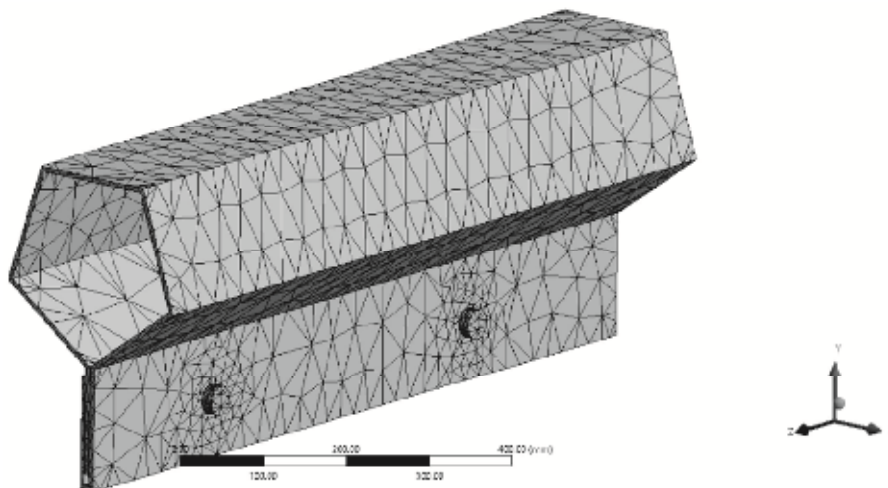


Рис. 3. Расчетная конечно-элементная модель верхнего пояса с узлами соединения

В качестве параметра для оценки несущей способности соединения принято нетто перемещение (мм) внутренней плоскости отверстия под действием соответствующего усилия. Нетто перемещение – это чистое перемещение внутри отверстия за вычетом деформации всей модели. Нетто деформация отверстия – это разница перемещений между максимальным и минимальным значением в плоскости отверстия. Она позволяет оценить деформации внутри отверстия, очищенные от деформаций всей модели (деформация фасонки из плоскости, деформация поперечного сечения верхнего пояса).

Для оценки деформативности болтового соединения принято соотношение действующего усилия к нетто перемещению, измеряемое в (кгс/мм).

Результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 4-10.

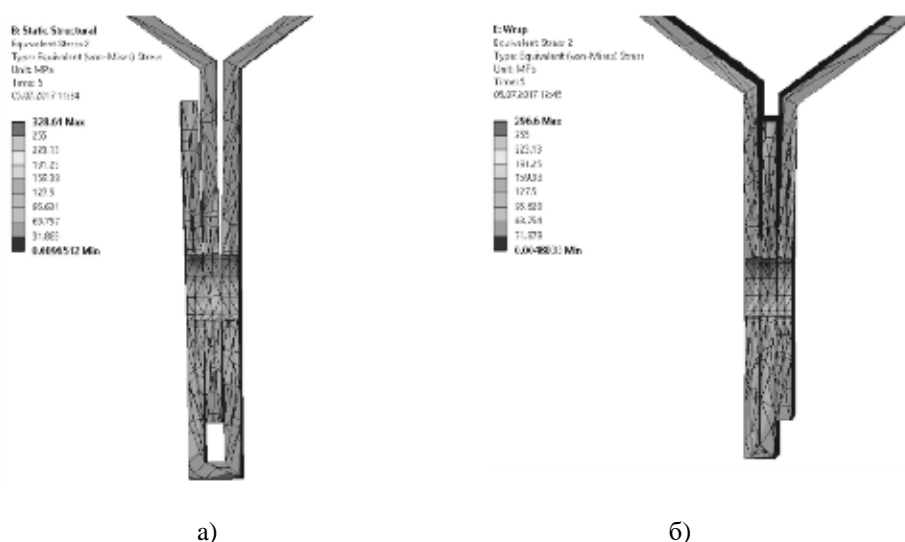


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние образца 2 и образца 4 от действия максимальной нагрузки (закритическая стадия)

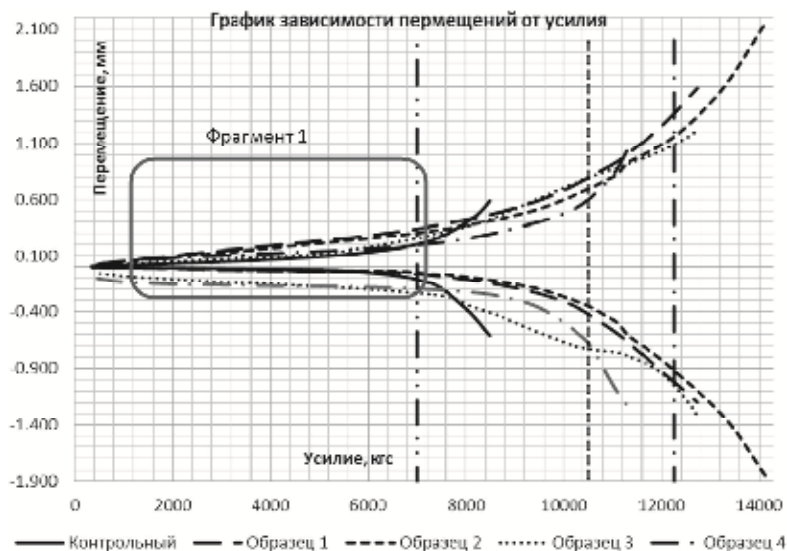


Рис. 5. Результаты компьютерного моделирования в упругой и за критической стадиях при t=4 мм



Рис. 6. Результаты моделирования в упругой стадии при t=4 мм (фрагмент 1)

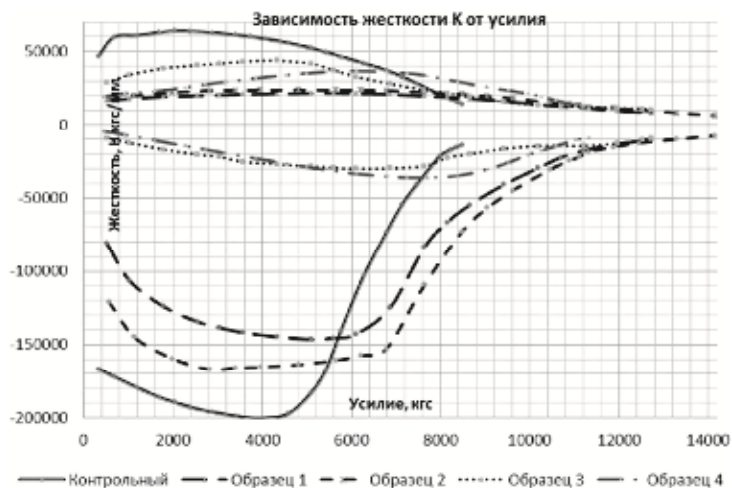


Рис. 7. Результаты моделирования жесткости соединения при t=4 мм (фрагмент 1)

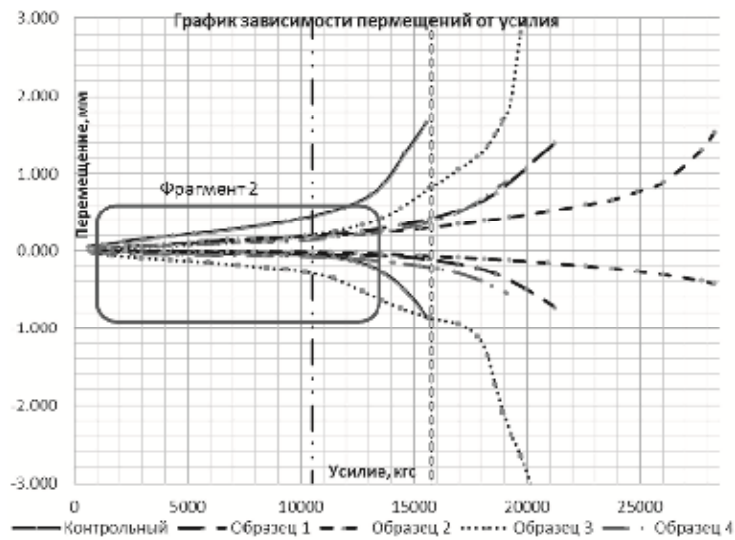


Рис. 8. Результаты моделирования в упругой и за критической стадиях при t=6 мм

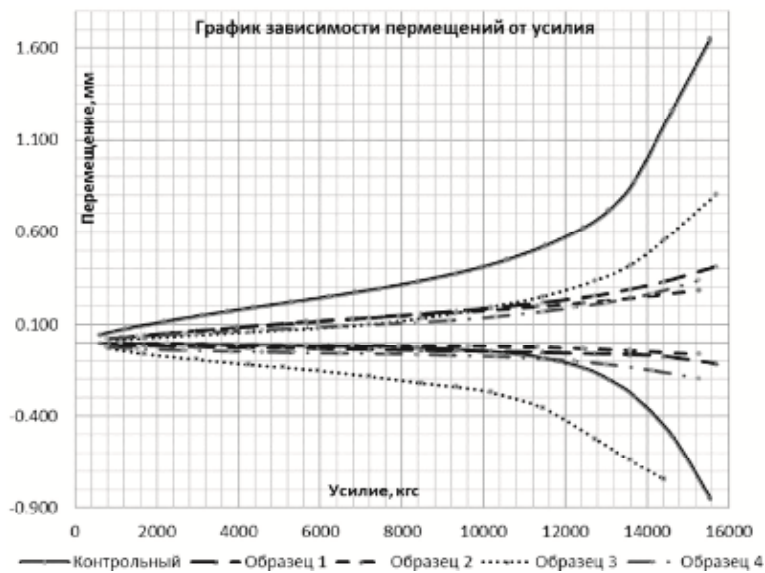


Рис. 9. Результаты моделирования в упругой стадии при t=6 мм (фрагмент 2)

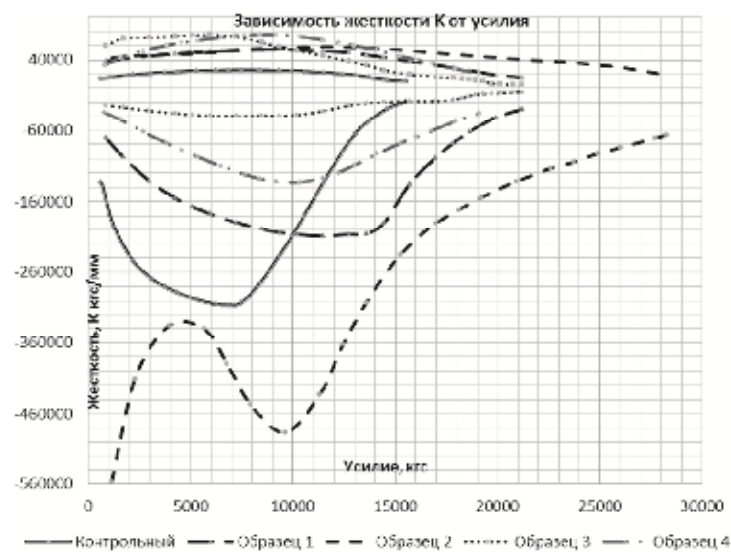


Рис. 10. Результаты моделирования жесткости соединения при t=6 мм (фрагмент 2)

Анализируя результаты компьютерного моделирования работы на срез усиленного болтового соединения, можно утверждать о повышении несущей способности соединения в целом. Для качественной оценки усиления можно использовать значение усилия, соответствующего упругой работе соединения, т.е., когда зависимость между усилием и нетто-деформацией отверстия является линейной, а также в дополнение оценить изменение значения жесткости «К» от усилия. Существенное падение значение жесткости «К» свидетельствует о переходе узла в закритическую стадию работы.

Жесткость «К» болтового соединения отличается в случаях приложения срезающего усилия в противоположных направлениях (например, для соседних раскосов фермы), однако, критическое значение усилия при этом не меняется, т.к. изменение угла наклона касательной к кривой графика для каждого образца начинается при приблизительно одинаковых усилиях. Теоретическое значение несущей способности болтового соединения на смятие торцевой поверхности, определяемое по существующим нормативным методикам, зависит от временного сопротивления стали. Оно приведено на графиках в виде вертикальной линии и рассчитано с учетом включения в работу всей толщины сплавляемого пакета.

В таблице на основании вышеизложенного приведено сравнение вариантов усиления при толщине заготовок 4 и 6 мм. Стоит отметить, что эффективность усиления выше в том случае, когда отношение фактической и теоретической суммарных толщин пакета, сминаемого в одном направлении ($\Sigma t_{\text{факт}}/\Sigma t_{\text{теор}}$) стремится к 1. Таким образом, достижение единицы означает, что суммарная толщина пакета полностью включается в работу, если же меньше единицы, то появляется некоторая податливость.

Таблица

Сравнение вариантов усиления

Способ усиления по номеру образца	Теоретическое значение толщины усиленного пакета в зависимости от толщины исходного металла (см)		Усилие критическое по результатам моделирования (кгс)		Фактическое значение толщины усиленного пакета (см)		Эффективность усиления $\Sigma t_{\text{факт}}/\Sigma t_{\text{теор}}$	
	t=4 мм	t=6 мм	t=4 мм	t=6 мм	t=4 мм	t=6 мм	t=4 мм	t=6 мм
Контрольный	0,8	1,2	7200	12500	0,8	1,2	-	-
Образец 1	1,2	1,8	9200	16000	10,5	1,78	0,875	0,99
Образец 2	1,2	1,8	9600	22000	10,96	1,8	0,913	1,0
Образец 3	1,4	1,8	8000	14500	0,91	1,65	0,652	0,92
Образец 4	1,2	1,8	9600	15900	10,96	1,78	0,913	0,99

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- усиление соединения путем загиба фасонки рационально при всех рассмотренных толщинах, при этом для листа заготовки толщиной 4 мм жесткость соединения «К» снижается, а для толщины 6 мм – повышается;
- преднапряжение болтов в случае загиба наиболее эффективно проявляет себя при толщине 6 мм, при толщине 4 мм преднапряжение не эффективно;
- усиление путем установки промежуточной пластины менее эффективно по сравнению с загибом;
- полученные коэффициенты эффективности усиления могут быть использованы при расчете прочности узлов.

Список библиографических ссылок

1. Салахутдинов М. А., Кузнецов И. Л., Саянов С. Ф. Стальные фермы с поясами из труб многогранного сечения // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 236–242.
2. Хусаинов Д. М., Дымолазов М. А., Пеньковцев С. А. Расчет несущих элементов конструкций рекламных конструкций с использованием методов теории надежности // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 183–187.

3. Veljkovic M., Johansson B. Thin-walled steel columns with partially closed cross-section: Tests and computer simulations // Original Research Article Journal of Constructional Steel Research. Vol. 64. Issues 7-8. July-August 2008. P. 816–821.
4. Mamalis A. G., Manolakos D. E., Ioannidis M. B., Kostazos P. K., Dimitriou C. Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin-walled tubes with octagonal cross-section // Original Research Article Thin-Walled Structures. Vol. 41. Issue 10. October 2003. P. 891–900.
5. Стальная многогранная опора ЛЭП : пат. 2248434 Рос. Федерация. № 2003134575/03 ; заявл. 28.11.2003; опубл. 20.03.2005. 4 с.
6. Длинномерная несущая конструкция стойка опоры линии электропередачи : пат. 2347049 Рос. Федерация. № 2007118190/03 ; заявл. 16.05.2007; опубл. 20.02.2009. 4 с.
7. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.2014 ; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. 5 с.
8. Yamashita M., Gotoh M., Sawairi Y. Axial crush of hollow cylindrical structures with various polygonal cross-sections: Numerical simulation and experiment // Original Research Article Journal of Materials Processing Technology. Vol. 140. Issues 1-3. 22 September 2003. P. 59–64.
9. Кузнецов И. Л., Рамазанов Р. Р., Фахрутдинов А. Э. Разработка и исследование новых типов соединений тонкостенных элементов // Известия КГАСУ. 2014. № 3 (29). С. 51–55.
10. Кузнецов И. Л., Фахрутдинов А. Э., Рамазанов Р. Р. Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 34–43.

Kuznetsov I.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Gimranov L.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: leenur@mail.ru

Salakhutdinov M.A. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: luder-kazann@yandex.ru

Fakhrutdinov A.E. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: faxrutdinoff@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Joints perfection of steel trusses with chords of hollow polygonal cross section

Abstract

Problem statement. The purpose of this research work was the development of reinforcement solutions of roof trusses chords consisting of zinc-coated pipes of polygonal hollow section with constant thickness ranged from 4–6 mm. Cross sections is formed from blank plate of constant width in such a way that it has gusset along of the length of a chord.

Results. It's determined that forces which act on a gusset with thickness from 4 to 6 mm are larger than allowed by statical calculations. Therefore 4 different reinforcement solutions are developed for achieving robust force transferring from brace members of the truss to chords. All reinforcement options exclude welding, which damages the galvanized coating. Finite element models of a part of the top chord of the truss in reinforced state were created and analyzed for all four types of reinforcement solutions.

Conclusions. The significance for the construction industry lies in the fact that the coefficients of the efficiency of amplification are obtained. The reinforcement by bending the slots is rational for all the thicknesses considered; reinforcement by installing the intermediate plate is less effective than bending; the preload of bolts in the case of bending is most effective at a thickness of 6 mm, with a thickness of 4 mm is not effective.

Keywords: polygonal cross section, cold forming profile, chord of truss, longitudinal plate, bolted connection, finite element model.

References

1. Salakhutdinov M. A., Kuznetsov I. L., Sayanov S. F. Steel truss with chords of multi-faceted cross-section tubes // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 4 (38). P. 236–242.
2. Khusainov D. M., Dymolasov M. A., Penkovcev S. A. Calculation of bearing structural elements of advertising designs using the methods of reliability theory // *Izvestiya KGASU*. 2014. № 4 (30). P. 183–187.
3. Veljkovic M., Johansson B. Thin-walled steel columns with partially closed cross-section: Tests and computer simulations // *Original Research Article Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 64. Issues 7-8. July-August 2008. P. 816–821.
4. Mamalis A. G., Manolakos D. E., Ioannidis M. B., Kostazos P. K., Dimitriou C. Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin-walled tubes with octagonal cross-section // *Original Research Article Thin-Walled Structures*. Vol. 41. Issue 10. October 2003. P. 891–900.
5. Steel multi-faceted cross-section support of power line : the patent 2248434 Rus. Federation. № 2003134575/03 ; decl. 28.11.2003; publ. 20.03.2005. 4 p.
6. A lengthy load-bearing structure support stand for power transmission line : the patent 2347049 Rus. Federation. № 2007118190/03 ; decl. 16.05.2007; publ. 20.02.2009. 4 p.
7. A method of making steel support of multi-faceted cross-section : the patent 2556603 Rus. Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.2014; publ. 10.07.2015. Bull. in № 19. 5 p.
8. Yamashita M., Gotoh M., Sawairi Y. Axial crush of hollow cylindrical structures with various polygonal cross-sections: Numerical simulation and experiment // *Original Research Article Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 140. Issues 1-3. 22 September 2003. P. 59–64.
9. Kuznetsov I. L., Ramazanov R. R., Fakhrutdinov A. E. Development and research of new types of joints of thin-walled elements // *Izvestiya KGASU*. 2014. № 3 (29). P. 51–55.
10. Kuznetsov I. L., Fakhrutdinov A. E., Ramazanov R. R. Results of experimental research for shear strain of connections of thin-walled elements // *Vestnik MGSU*. 2016. № 12. P. 34–43.

УДК 699.86

Куприянов В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Kuprivan@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

К оценке применимости стеклопакетов для обеспечения нормированного естественного освещения в помещениях зданий

Аннотация

Постановка задачи. Светопропускание стеклопакетов, используемых на строительном рынке колеблется в пределах 15-75 %, что затрудняет их выбор для обеспечения нормированного естественного освещения помещений.

Результаты. Разработана методика выбора стеклопакетов по величине их светопропускания, для обеспечения нормированной величины коэффициента естественной освещенности.

Выводы. Разработанная методика позволяет определить требуемую площадь световых проемов при использовании стеклопакетов с определенной величиной их светопропускания.

Ключевые слова: стекло, стеклопакеты, светопропускание, коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Светопрозрачные ограждающие конструкции зданий получили в последние годы широкое использование в архитектурно-строительной практике. «Стеклянные» фасадные системы стали признаком современности архитектурных решений в силу их наукоёмкости и точности инженерных решений. Светопрозрачные ограждения обладают высокими декоративными качествами, как в дневное, так и в ночное время суток, рис. 1-2.

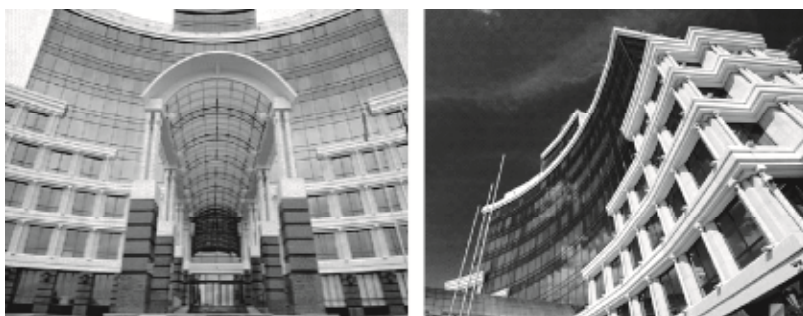


Рис. 1. Пенсионный фонд РТ в г. Казань



Рис. 2. Высотный жилой комплекс «Лазурные небеса» в г. Казань

Основным элементом светопрозрачных ограждающих конструкций являются стеклопакеты, которые представляют собой изделия, состоящие из двух или трех слоев листового стекла, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, и герметично соединенные между собой по периметру. Для производства стеклопакетов используются стекла различного химического состава, цвета и стекла, имеющие различные покрытия для придания стеклу новых свойств [1-3].

При разработке и производстве стеклопакетов основное внимание в настоящее время уделяется повышению их теплозащитных качеств. Сопротивление теплопередаче современных стеклопакетов приближается к 1,0 ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$), что сопоставимо с сопротивлением теплопередаче кирпичной стены толщиной 64 см (2,5 кирпича). Эти успехи связаны с использованием газов Аргон и Криптон при заполнении межстекольных камер и использованием специальных стекол с покрытиями металлическими и оксидно-металлическими пленками (К-стекло и И-стекло) [4]. Таким образом, повышение теплозащитных качеств стеклопакетов продвигается вполне успешно, однако повышение теплозащиты стеклопакетов сопровождается снижением их светопропускания и возникает проблема обеспечения нормативных значений естественного освещения помещений.

В табл. 1 приведены оптические и теплотехнические характеристики некоторых типов стеклопакетов компании AGC.

Таблица 1

Оптические и теплотехнические характеристики стеклопакетов

№ п/п	Тип стекла	Форма стеклопакета, мм	Видимый свет		УФ проп., %	Сопротивление теплопередаче	
			проп., %	отраж., %		Воздух ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$)	Аргон ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Stopray elite, green	6-15Ar-6	67	14	6	–	0,91
2	Stopray galaxy, neutral	6-15Ar-6	40	16	4	–	0,91
3	Stopray oasis, green	6-15Ar-6	55	11	2	–	0,91
4	Sunergy clear	4-15-4	62	13	33	0,5	–
5	Sunergy green	6-15-6	50	10	10	0,5	–
6	Sunergy clear+Planibl Top N	4-15-4	60	12	15	0,71	–
7	Sunergy green+Planibl Top N	6-15-6	49	9	5	0,71	–
8	Stopsol classic clear	6-15-6	34	35	12	0,37	–
9	Stopsol classic green	8-15-8	25	35	3	0,37	–
10	Stopsol super silver	6-15-6	58	38	28	0,37	–
11	Stopsol classic clear+Planibl TOP N low-E	6-15-6	33	35	6	0,71	–
12	То же	8-15-8	33	27	6	0,71	–
13	Stopsol super silver clear+Planibel TOP low-E	6-15-6	56	37	14	0,71	–
14	То же	10-15-10	54	37	11	0,71	–
15	Stopsol silver light privablue+Planibel TOP low-E	8-15-8	17	24	2	0,71	–

Из табл. 1 видно, что многие стеклопакеты имеют цветную тональность. Использование цветных стеклопакетов создает декоративный эффект и повышает эстетическую привлекательность фасадов зданий и их интерьеров, как в отраженном, так и в проходящем свете.

Однако, использование в стеклопакетах цветных стекол приводит к проникновению в помещение отдельных диапазонов солнечного спектра, что снижает экологичность освещения, потому что глаз человека за многие тысячелетия адаптирован к полному солнечному спектру. Любое отклонение освещения от солнечного спектра является нежелательным для человека, так как вызывает возмущение организма [5-7]. Диапазон длин волн, проникающий в помещение в зависимости от цвета стекла приведен в табл. 2.

В настоящее время нет медицинского обоснования о возможности (или невозможности) использовать для освещения помещений того или иного диапазона длин волн и их влияния на здоровье человека [7].

Таблица 2

Разложение солнечного спектра на составляющие (в радуге)

Цвет	Диапазон длин волн, нм
Красный	760-620
Оранжевый	620-586
Желтый	586-550
Зеленый	550-510
Голубой	510-480
Синий	480-450
Фиолетовый	450-380

Для зимних садов, оранжерей или ботанических садов в целях развития растений есть рекомендации о влиянии различных участков спектра. Так в вегетативной стадии для растений более важен свет в синей области спектра, а в стадии цветения и плодоношения – в красной. В табл. 3 приведены физиологические значения для развития растений в спектральных диапазонах солнечного света (по данным компании AGC).

Таблица 3

Физиологические значения спектральных диапазонов солнечного света

Спектральный диапазон, нм	Физиологические значения
400-500 (синий)	Фотосинтез и регуляция
500-600 (зеленый)	Полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, густых посевов растений за счет высокой проникающей способности
600-700 (красный)	Ярко выраженное действие на фотосинтез, развитие и регуляция процессов
700-750 (дальний красный)	Ярко выраженное регуляторное действие
1200-1600	Поглощается внутри- и межклеточной водой, увеличивает скорость тепловых биохимических реакций

Подобный анализ с точки зрения воздействия на зрение и иммунную систему человека различных спектральных диапазонов солнечного света был бы весьма полезен для установления нормирования естественного освещения помещений.

Из табл. 1 (столбец 4) видно, также, что светопропускание стеклопакетов в видимой части солнечного спектра изменяется от 17 до 67 %. По всей номенклатуре стеклопакетов, выпускаемых другими фирмами – производителями (AGC, Pilkington, Guar-dian, Saint-Gobain), светопрозрачность изменяется от 15 до 75 %. Естественно встает вопрос о такой минимальной величине светопрозрачности стеклопакетов, ниже которой стеклопакет не обеспечит нормативный уровень естественной освещенности помещений (нормативный КЕО).

В известной научно-технической литературе подобных исследований не обнаружено [1, 8-11]. В нормативной литературе по расчету естественного освещения помещений величина светопропускания стеклопакетов определяется коэффициентом τ_1 (доли единицы). В расчетных формулах влияние τ_1 на обеспечение нормированной освещенности помещений не проявляется в явном виде в силу большого количества коэффициентов, которые учитывают геометрические параметры помещений, потери света в переплетах, количество чисток стекла в год, влияние противостоящих зданий, влияние внутренней отделки и т.д. и т.п.

Влияние τ_1 на обеспечение нормируемой освещенности проанализируем на условном помещении, схема которого представлена на рис. 3.

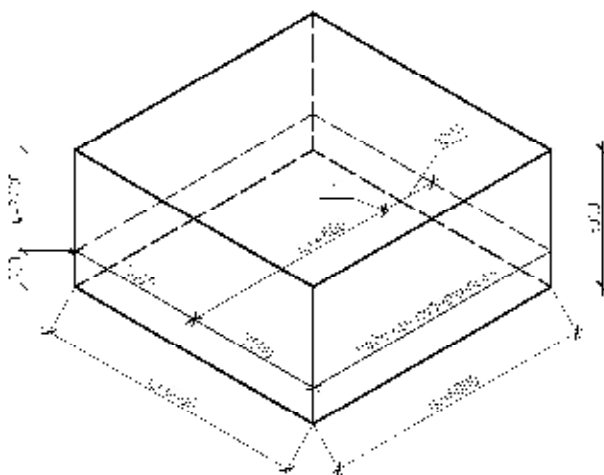


Рис. 3. Схема условного помещения. РТ – расчетная точка

В соответствии с рисунком, максимально возможная площадь световых проемов S_0 определяется произведением $h_{01} \times l_{\Pi} = 2,2 \times 6,0 = 13,2 \text{ м}^2$. Эта величина является граничным условием при предварительном расчете площади световых проемов S_0 по формуле:

$$S_0 = \frac{S_{\Pi} * e_N * k_3 * \eta_0 * k_{3\partial}}{100 * \tau_0 * z_1}, \quad (1)$$

где S_{Π} – площадь пола помещения, м^2 ; e_N – нормированная величина КЕО; коэффициенты k_3 , η_0 , $k_{3\partial}$, z_1 – определяются геометрическими параметрами помещения, углом наклона светопропускающего материала к горизонту, количества чисток стекла в год, расположением противостоящих зданий, характера внутренней отделки помещения.

Геометрические параметры помещения: $l_T / d_{\Pi} = 4,8 / 6 = 0,80$; $d_{\Pi} / h_{01} = 6 / 2,2 = 2,7$; $l_{\Pi} / d_{\Pi} = 6 / 6 = 1$; степень отражения внутренних поверхностей, равная 0,5, позволила определить коэффициенты в формуле (1): $k_3 = 1,2$; $\eta_0 = 1,8$; $k_{3\partial} = 1,2$; $z_1 = 3,1$. (В целях экономии места в статье подробный расчет коэффициентов не приводится).

Общий коэффициент светопропускания τ_0 определяется по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \times \tau_5, \quad (2)$$

где τ_1 – светопропускание стеклопакета; τ_2 – учитывает потери света в переплетах; τ_3 – потери света в несущих конструкциях; τ_4 – потери света в солнцезащитных устройствах; τ_5 – потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями.

Для нашего случая τ_3 , τ_4 и $\tau_5 = 1,0$ в связи с отсутствием указанных конструкций. Коэффициент τ_2 примем равным 0,8.

Формула (2) примет вид:

$$\tau_0 = \tau_1 \times 0,8. \quad (3)$$

Подставив полученные коэффициенты в формулу (1), получим:

$$S_0 = \frac{3,6 * e_N * 1,2 * 1,8 * 1,2}{100 * \tau_1 * 0,8 * 3,1} = \frac{933,12 * e_N}{248 * \tau_1} = 3,76 * \frac{e_N}{\tau_1}. \quad (4)$$

Можно видеть, что площадь световых проемов S_0 пропорциональна нормированной величине КЕО – e_N и обратно пропорциональна коэффициенту светопропускания стеклопакета – τ_1 .

Числовой коэффициент в формуле (4) – 3,76 представляет собой обобщенные данные по геометрическим параметрам рассматриваемого помещения, расположения противостоящих зданий и их коэффициентов отражения естественного света, что для конкретного помещения является постоянной величиной, а обеспечение нормированной величины КЕО (e_N) для данного помещения определяется соотношением между e_N и коэффициентом светопропускания стеклопакета τ_1 через величину площади световых проемов S_0 .

Для помещения, схема которого представлена на рис. 3, можно оценить влияние e_N и τ_1 на требуемую величину площади световых проемов S_0 . Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Влияние КЕО (e_N) и светопропускания стеклопакетов (τ_I)
на величину площади светопроемов для условного помещения**

Коэффициент светопропускания стеклопакета τ_I , доли е	Площадь светопроемов, м ² , требуемая для обеспечения заданного КЕО (e_N)		
	$e_N=1,0$ % (читальные залы)	$e_N=1,5$ % (учебные аудитории)	$e_N=2,0$ % (конструкторские кабинеты)
0,9	4,18	6,27	8,34
0,7	5,37	8,01	10,74
0,57	6,60	9,89	13,20
0,5	7,52	11,28	15,04
0,42	8,95	13,20	17,90
0,3	12,50	18,80	25,00
0,28	13,20	20,14	26,86
0,1	37,6	56,40	75,20

Из табл. 4 видно, что требуемая площадь светопроемов S_0 возрастает при увеличении коэффициента светопропускания стеклопакетов τ_I . Причем для каждого значения КЕО (e_N) существует предельное значение τ_I , ниже которого требуемый уровень естественного освещения помещений не может быть достигнут даже если вся наружная стена будет выполнена из светопрозрачного материала. В рассматриваемом условном помещении эта площадь составляет $S_0=13,2$ м². Для обеспечения освещенности при $e_N=1,0$ предельный коэффициент светопропускания стеклопакета $\tau_I=0,28$; для $e_N=1,5$; величина $\tau_I=0,42$; для $e_N=2,0$ величина $\tau_I=0,57$.

Из сопоставления критических значений τ_I , с данными о светопропускании стеклопакетов в табл. 1 (столбец 4) можно видеть, что для обеспечения в помещении $e_N=1$ неприменимы стеклопакеты по строчкам 9 и 15, для обеспечения $e_N=1,5$ неприменимы стеклопакеты по строчкам 2, 8, 9, 11, 12 и 15, для обеспечения $e_N=2,0$ применимы стеклопакеты только по строчкам 1,4 и 6.

Заключение

Разработана методика, позволяющая оценить применимость стеклопакетов по величине их светопропускания (τ_I) для обеспечения требуемого уровня естественного освещения помещений при заданной величине КЕО (e_N) через требуемую величину площади световых проемов S_0 .

Список библиографических ссылок

1. Борискина И. В., Шведов Н. В., Плотников А. А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Санкт-Петербург : НИУПЦ «МИО», 2005. 250 с.
2. Бахарев Д. В., Зимнович И. А. О светопропускании окон // Светотехника. 2007. № 5. С. 5–9.
3. Коркина Е. В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 60–62.
4. Гагарин В. Г., Коркина Е. В., Шмаров И. А., Пахтушков П. П. Исследование влияния низкоэмиссионного покрытия стекла на спектральное пропускание света // Строительство и реконструкции. 2015. № 2 (58). С. 90–95.
5. Lee E. S., DiBartolomeo D. L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // Energy and Building. 2006. V 38. P. 30–44.
6. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows // Renewable Energy. 2005. V 30. № 3. P. 281–304.
7. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Экологические аспекты инсоляции и естественного освещения жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2012. № 2. С. 38–41.

8. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками // *Academia, Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 472–476.
9. Земцов В. А., Гагарина Е. В., Коркин С. Н. Метод экспериментального определения общего светопропускания заполнений светопроемов в натуральных условиях // *Научно-технический журнал Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 9–14.
10. Земцов В. А., Гагарина Е. В. Методические принципы обеспечения нормированного регламента по естественному освещению на примере общеобразовательных школ // *Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31-2 (50). С. 492–498.
11. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // *Applied Optics*. 2001. № 40. P. 6670–6676.

Kupriyanov V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kupriyanov@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the issue of assessing the applicability of insulating glass to ensure standardized natural lighting in buildings

Abstract

Problem statement. The light transmission of insulating glass used in the construction market varies from 15 to 75 %, which complicates the choice of the double-glazed windows in terms of the amount of light transmission to ensure the standardized value of the daylight factor (DF) in the buildings.

Result. A method for selecting insulating glass in terms of the amount of light transmission is proposed to provide a standardized value of daylight factor (DF) in the premises of buildings.

Conclusions. The method allows to estimate the required area of translucent apertures when using insulating glass with a certain amount of light transmission to ensure standardized natural lighting in the premises.

Keywords: glass, insulating glass, light transmission, daylight factor (DF).

References

1. Boriskina I. V., Shvedov N. V., Plotnikov A. A. Modern translucent structures of civil buildings. designer directory. Saint-Petersburg : Scientific and Information Training and Production Center «Interregional Institute of Windows», 2005. 250 p.
2. Baharev D.V., Zimnovich I. A. About the light transmission of windows // *Svetotekhnika*. 2007. № 5. P. 5–9.
3. Korkina E. V. Comprehensive comparison window units by optical and thermal parameters // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2015. № 6. P. 60–62.
4. Gagarin V. G., Korkina E. V., Shmarov I. A., Pahtushkov P. P. Investigation of the influence of a low-emission glass coating on the spectral transmission of light // *Stroitel'stvo i rekonstrukcii*. 2015. № 2 (58). P. 90–95.
5. Lee E. S., Dibartolomeo D.L., Selkowitz. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window // *Energy and Building*. 2006. Vol. 38. P. 30–44.
6. Miyazaki T., Akisawa A., Kashiwagi T. Energy Saving of office building by the use of semi-transparent solar cell for windows // *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30. № 3. P. 281–304.
7. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Ecological aspects of insolation and natural lighting of residential and public buildings // *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2012. № 2. P. 38–41.

8. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Calculation-Experimental Method for Determining the General Coefficient Light Transmission of Window Blocks // *Academia. Architectura i stroitel'stvo*. 2010. № 3. P. 472–476.
9. Zemcov V. A., Gagarina E. V., Korkin S. N. The method of experimental determination of the total light transmittance of fillings of apertures in natural conditions // *Nauchno-tehnicheski zhurnal Vestnik MGSU*. 2011. № 3. P. 9–14.
10. Zemcov V. A., Gagarina E. V. Methodological principles for the maintenance of standardized regulations on natural lighting in secondary schools // *Vestnik VolgGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. № 31-2 (50). P. 492–498.
11. Mazilu M., Miller A., Donchev V. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // *Applied Optics*. 2001. № 40. P. 6670–6676.



УДК 624.131

Антипов В.В. – студент

E-mail: seekerva@mail.ru

Офрихтер В.Г. – доктор технических наук, доцент

E-mail: ofrikhter@mail.ru

Пономарев А.Б. – доктор технических наук, профессор

E-mail: spstf@pstu.ru

Шутова О.А. – старший преподаватель

E-mail: gshperm@mail.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29

Численное моделирование динамического воздействия от одиночного транспортного средства на существующее здание

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить возможность построения адекватной численной модели динамического воздействия одиночного ТС на существующее здание на основе данных, полученных оперативными методами многоканального анализа поверхностных волн. Исследование воздействия автотранспорта на основания и фундаменты зданий и сооружений является актуальным, потому что в России на данный момент отсутствует нормирование вибрационного воздействия автотранспорта.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении значений виброускорений в расчетной точке на фундаменте здания при численном моделировании, которые оказались достаточно близки к значениям натурального эксперимента: для грузового ТС и автобуса расхождения не более 11 % для максимальной вертикальной компоненты виброускорения и не более 30 % для максимальной горизонтальной.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной области состоит в возможности использования в качестве исходных данных результатов многоканального анализа поверхностных волн и получения корректных результатов при численном моделировании динамического воздействия автотранспорта на существующее здание.

Ключевые слова: многоканальный анализ поверхностных волн, МАПВ, пятно контакта колеса, демпфирование грунта, динамическое воздействие на здание, численное моделирование.

Введение

Основными источниками техногенных вибраций, возникающих на существующих зданиях и сооружениях в городских условиях, являются различные строительные-монтажные работы, динамическое производственное оборудование и автомобильный транспорт. Для первых двух источников имеются конкретные нормы и правилами учета их воздействия на основания и фундаменты зданий и сооружений (забивка свай – ВСН 490-87 Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки; динамическое оборудование – СП 26.13330.2012 Фундаменты машин с динамическими воздействиями. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87). Но для автомобильного транспорта в России на данный момент отсутствует нормирование вибрационного воздействия, в то время как влияние рельсового транспорта рассмотрено в нормативных документах (СП 23-105-2004 Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена, ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию). Наличие данной проблемы свидетельствует об актуальности исследования воздействия автомобильного транспорта на основания и фундаменты зданий.

При проведении исследований было целью построить адекватную численную модель на основе имеющихся данных натуральных экспериментов для дальнейшего использования при оценке вибраций от автомобильных транспортных средств (ТС) на существующие здания.

Объект исследования

В качестве существующего здания для проведения численного моделирования выбран учебный корпус строительного факультета ПНИПУ по адресу г. Пермь, ул. Куйбышева, д. 109 (пересечение ул. Куйбышева и ул. Чкалова). Корпус представляет собой 4-этажное общественное здание с подвалом, имеющее размеры в плане $30 \times 52,1$ м и высоту от уровня земли до уровня кровли 21,5 м. Здание расположено перпендикулярно проезжей части ул. Чкалова на расстоянии 18,4 м от края проезжей части (25,9 м от центра проезжей части) (рис. 1).

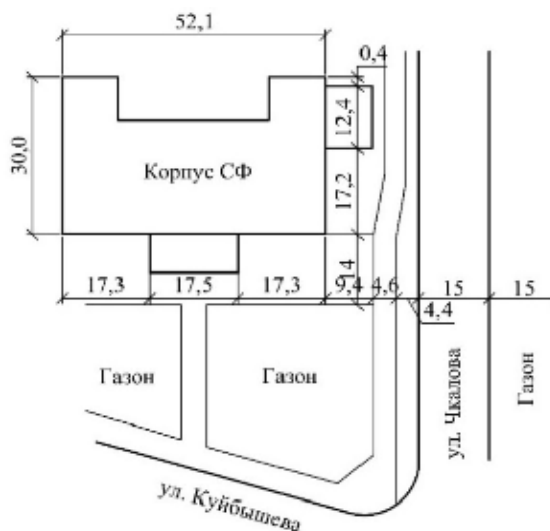


Рис. 1. Схема исследуемой площадки (размеры в метрах)

Оценка адекватности построенной модели проводилась с помощью результатов натурального эксперимента по определению вертикальных и горизонтальных компонент виброускорения от приближения, проезда и удаления одиночного ТС различной массы [1]. Фиксация прохода ТС производилась для ближайшей к зданию полосы (20,9 м от края здания до центра полосы). Движение транспорта по другим полосам в момент выполнения замеров отсутствовало.

Расчетная схема проезжающего автомобиля

В качестве расчётной схемы нагрузки на основание от ТС принята схема приложения нагрузки от колес одной оси двусосной грузовой тележки по типу нагрузки АК, которая в соответствии с п. 5.2 ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения используется при расчетах земляного полотна и др. элементов. При этом равномерно распределенная нагрузка вдоль колеи колес не учитывается, а прикладываются только точечные нагрузки от колес (п. 5.2 ГОСТ Р 52748-2007) без учета размеров пятна контакта колес с дорожным полотном. Принятая расчетная схема для грузового ТС приведена на рис. 2.

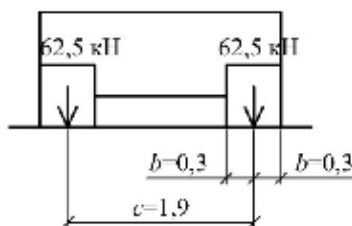


Рис. 2. Принятая расчетная схема приложения нагрузки от колес одной оси грузового ТС, размеры в метрах: b – ширина пятна контакта колеса; c – ширина колеи нагрузки

В данной схеме (рис. 2) рассматривается одна из двух осей грузового транспортного средства массой 25 т, состоящей из четырех колес. Нагрузка на ось принята 125 кН и 62,5 кН на пару колес. При такой схеме отсутствуют иные источники вибрационных колебаний, кроме ТС, следовательно, вызванные колебания среды будут иметь детерминированный характер. Вертикальная колесная нагрузка задавалась в виде треугольного импульса, время действия которого определялось с учетом размеров пятна контакта колеса с дорожным полотном. Согласно определению термина «пятно контакта колеса» по ГОСТ 17697-72 Автомобили. Качение колеса. Термины и определения, реальная площадь пятна имеет эллиптическую форму и учитывает рисунок протектора. Форма эллипса пятна при качении колеса достаточно близка к прямоугольной, и в расчетных моделях часто принимается гипотеза о прямоугольной форме пятна [2]. Кроме того, при определении его размеров допускается использовать равновеликий по площади пятну контакта гибкий круговой штамп диаметром D (без учета рисунка протектора), передающий равномерно распределенную нагрузку p (п. 3.18, ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд). Величина p принимается равной давлению воздуха в шинах (чаще всего 0,6 МПа). Диаметр расчетного отпечатка шины D согласно (3.4) ОДН 218.046-01:

$$D = \sqrt{\frac{40Q_{расч}}{p}} \text{ см,} \quad (1)$$

где $Q_{расч}$ – расчетная величина нагрузки от колеса на дорожное покрытие, кН;
 p – давление воздуха в шине, МПа.

Ширина пятна контакта по расчетной схеме на рис. 2 принята равной ширине шины для ТС большой массы $b=30$ см и для ТС малой массы $b=20$ см. Тогда принимаем площадь круглого отпечатка равной площади эллипса без учета рисунка протектора шины и после математических преобразований имеем формулу расчета длины зоны контакта:

$$a = \frac{40Q_{расч}}{p b} \text{ см,} \quad (2)$$

Для каждого типа ТС принята средняя скорость равномерного прямолинейного движения $v_{ср}=39,6$ км/ч = 11 м/с. Расчет длительности действия нагрузки приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет параметров нагрузки от оси ТС

Тип ТС	Грузовое ТС	Автобус	Легковое ТС
Масса ТС, т	25	14	2
Нагрузка на полуось, Q , кН	62,5	35	5
Расчетная нагрузка на колесо, $Q_{расч}$, кН	31,25	17,5	5
Давление воздуха в шине, p , МПа	0,6	0,6	0,6
Ширина пятна контакта, b , см	30	30	20
Длина пятна контакта, a , см	22,1	16,0	5,3
Время действия нагрузки в точке, t , с	0,020	0,011	0,005

Расчетная схема фундамента корпуса СФ ПНИПУ

По подошве крайнего фундамента нагрузка принята 160 кН/м² без учета веса фундамента по результатам сбора нагрузок от вышележащих конструкций. Основные элементы сборного ленточного фундамента: фундаментные блоки ФБС 6-5-6 и фундаментная подушка ФЛ 16-24-1. Глубина заложения фундамента принята 3 м. Для учета продольной жесткости здания (в направлении, перпендикулярном дороге) и получения корректных значений горизонтальных компонент виброускорений, в уровнях пола подвала и первого этажей введены плитные элементы толщиной 0,5 м и высотой 3 м. Принятая расчетная схема фундамента здания СФ ПНИПУ представлена на рис. 3.

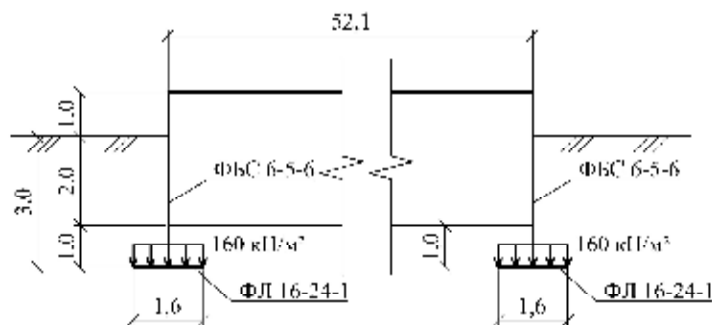


Рис. 3. Расчетная схема фундамента корпуса СФ (размеры в метрах)

Грунтовые условия площадки и учет демпфирующих свойств среды

По данным отчета об инженерно-геологических изысканиях условия исследуемой площадки представлены двумя инженерно-геологическими элементами:

- ИГЭ-1: суглинок коричневый, легкий, песчанистый, от твердого до текучепластичного (с примесями строительного мусора), мощность слоя около 5 м;
- ИГЭ-2: глина серовато-коричневая, легкая, пылеватая, от полутвердой в кровле до мягкопластичной, мощность слоя около 8 м.

Для проведения численного динамического расчета кроме физико-механических характеристик из отчета инженерно-геологических изысканий необходимы дополнительные расчетные характеристики грунтовых слоев при малых деформациях, которые обычно не определяются при проведении инженерно-геологических изысканий: скорости продольных и поперечных волн и коэффициент Пуассона для зоны малых скоростей верхней части разреза грунтовой толщи [1]. В СП 23-105-2004 приведены нормативные скорости поперечных и продольных волн для различных грунтов. Но они имеют слишком большие интервалы разброса, что приведет при их использовании в расчетах к искажению результатов. Поэтому были выполнены дополнительные экспериментальные исследования выбранных площадок оперативными методами многоканального анализа поверхностных волн (МАПВ) [3-6]. Полученные результаты представлены в [7] и использованы при численном моделировании.

Учет поглощающих свойств грунтовой среды осуществлен с использованием коэффициентов рэлеевского демпфирования a и b в уравнении вида [8]:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K], \quad (3)$$

где $[C]$, $[M]$, $[K]$ – соответственно матрицы демпфирования, массы и жесткости;

α – рэлеевский коэффициент демпфирования по массе;

β – рэлеевский коэффициент демпфирования по жесткости.

Для аналитического расчета искомых коэффициентов использована зависимость [9]:

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i \zeta_i, \quad (4)$$

где ω_i – собственная частота колебаний слоя грунта i -ой моды на графике коэффициент демпфирования – частота, по формуле (5) [10], рад/с;

ζ_i – коэффициент демпфирования i -ой моды, рассчитываемый по формулам, указанным в [11].

$$\omega_i = \frac{\rho \bar{V}_s}{2H} (1 + 2i), i = 0, 1, 2, \dots, \neq, \quad (5)$$

где \bar{V}_s – средняя скорость волн сдвига грунтового слоя на глубине H , м/с;

H – глубина нижней отметки расчетного слоя грунта, м.

Искомые коэффициенты рэлеевского демпфирования находились из системы двух уравнений (для фундаментальной и первой моды) для каждого расчетного слоя грунта. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Определение коэффициентов рэлеевского демпфирования

Слой	V_s , м/с	H , м	χ	ω_0 , рад/с	ω_1 , рад/с	a	b
1	144,5	5	0,282	45,373	136,119	19,193	0,0031
2	289,9	13	0,248	35,011	105,033	13,024	0,0035

Численное моделирование

Численное моделирование от проезда одиночного автомобиля осуществлялось в Plaxis 2D 2009 в виде плоской задачи. Характеристики, задаваемые для плитных элементов, указаны в табл. 3. Характеристики материалов грунтовой среды приведены в табл. 4. Для расчета принята линейно-упругая модель грунтовых слоев для решения задачи Лэмба при малых деформациях и малом времени приложения нагрузки в соответствии с [12], в обоих случаях дренированный тип поведения. Нижняя расчетная отметка второго слоя принята на глубине 13 м на основе сравнительного анализа результатов МАПВ [7]. Моделирование реального трения между элементами фундамента и грунтом осуществлялось посредством интерфейсных элементов.

Таблица 3

Расчетные характеристики элементов корпуса СФ

Наименование		Ед. изм.	Фунд. блоки ФБС 6-5-6	Фунд. подушка ФЛ 16-24-1	Стена
Тип элемента			Плитный	Плитный	Плитный
Осевая жесткость	EA	кН/м	$1,14 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	$9,0 \cdot 10^7$
Изгибная жесткость	EI	кНм ² /м	$2,371 \cdot 10^5$	$3,125 \cdot 10^5$	$6,75 \cdot 10^7$
Коэфф. Пуассона	ν		0,15	0,15	0,15
Толщина	d		0,5	0,5	3,0
Вес	w	кН/м/м	4	15,4	0

Таблица 4

Параметры материалов грунтовой среды

Наименование		Ед. изм.	Слой 1	Слой 2
Тип грунта			Суглинок	Глина
Модель			Линейно-упругая	Линейно-упругая
Тип поведения			Дренир.	Дренир.
Удельный вес грунта	ρ	кН/м ³	18,000	20,000
Модуль Юнга	E	кН/м ²	104300	480200
Коэфф. отн. попер. деформ.	μ		0,36	0,4
Скорость поперечной волны	V_s	м/с	144,5	289,9
Скорость продольной волны	V_p	м/с	309,0	710,1
Модуль сдвига	G	кН/м ²	38350	171500
Коэффициент пористости	e_{init}		0,7	0,5
Демпфирование по Рэлею	α		19,193	13,024
То же	β		0,0031	0,0035

Задание граничных условий осуществлялось с использованием стандартных условий закрепления, а также поглощающих границ для предотвращения появления отраженных волн. Геометрическая модель в программном комплексе Plaxis приведена на рис. 4. Сетка конечных элементов принята мелкая (fine) с двукратным уменьшением около плитных элементов и вблизи поверхности, по которой распространяется волна Рэлея.

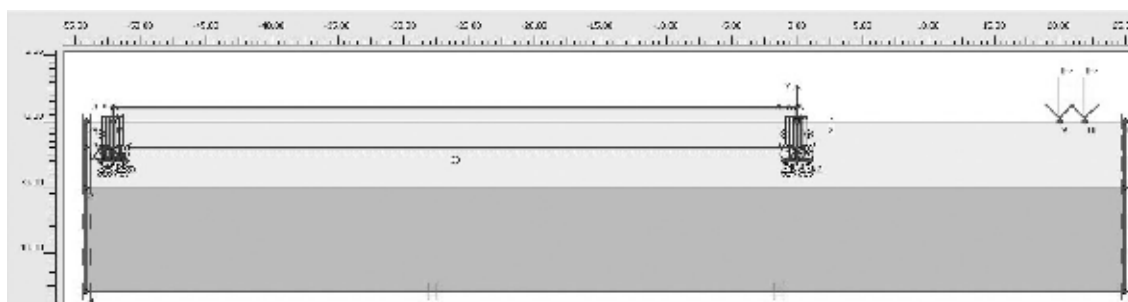


Рис. 4. Геометрическая модель в программном комплексе Plaxis 2D

Уровень грунтовых вод неизвестен, поэтому давление воды при численном моделировании не учитывалось. Начальные напряжения от бокового давления грунта рассчитывались с использованием коэффициента бокового давления K_0 , определяемого по формуле (9.2) СП 22.13330.2011 для каждого слоя: $K_{01}=0,563$, $K_{02}=0,667$.

Расчетная точка А (0;0) (рис. 4) установлена на обресе ближайшего к дороге фундамента. Время динамической фазы расчета составило 0,5 с.

Полученные результаты моделирования сравнивались с данными натурального эксперимента по замеру виброускорений на корпусе строительного факультета от проезда ТС [1]. Сравнение максимальных значений вертикальных и горизонтальных компонент ускорений представлено в табл. 5. Графики зависимости компонент ускорений от времени приведены на рис. 5.

Таблица 5

Результаты моделирования воздействия от одной оси одиночного ТС

Тип автомобиля, масса, т	Натурный эксперимент		Численное моделирование	
	$a_y, \text{ м/с}^2$	$a_x, \text{ м/с}^2$	$a_y, \text{ м/с}^2$	$a_x, \text{ м/с}^2$
Грузовое ТС, 25 т	0,04403	0,02166	0,038	0,020
Автобус, 14 т	0,01328	0,01011	0,012	0,006
Легковое ТС, 2 т	0,00360	0,00486	0,002	0,001

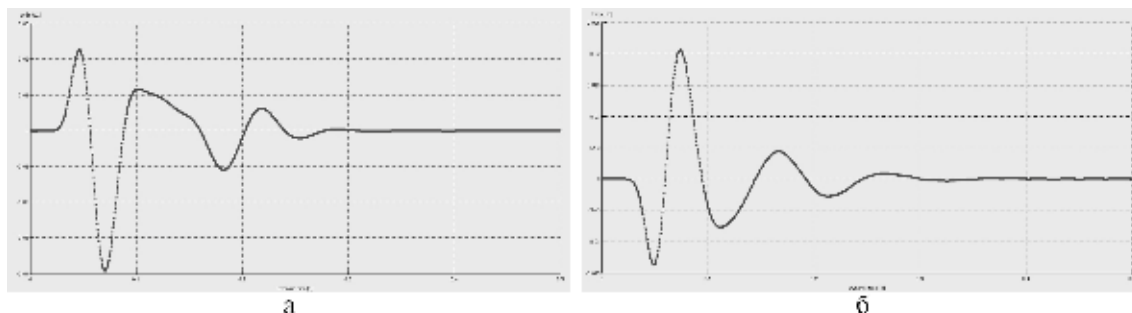


Рис. 5. Графики зависимости вертикального (а) и горизонтального (б) виброускорения от времени, на обресе ближайшего к проезжей части фундамента, для грузового ТС

Выводы

1. Отклонение полученных результатов численного моделирования для грузового ТС и автобуса от данных натурального эксперимента для вертикального ускорения не более 11 %, а для горизонтального не более 30 %.

2. Необходимы дополнительные исследования вопроса точного расчета размеров пятна контакта колеса с дорожным полотном для повышения точности выходных данных. Также требуются исследования влияния ТС на этапах приближения и удаления к расчётной точке.

3. Составленная численная модель адекватна при проезде одиночного автомобильного ТС большой массы (18 т и более). Требуется дополнительное уточнение разработанной модели для ТС малой массы (менее 2 т).

4. Результаты исследования площадок экспресс методом многоканального анализа поверхностных волн можно эффективно применять в качестве исходных данных для получения корректных результатов при численном моделировании динамического воздействия автотранспорта на существующее здание

Список библиографических ссылок

1. Шутова О. А., Пономарев А. Б., Антипов В. В., Офрихтер В. Г. Применение неразрушающих методов определения механических характеристик грунта при численном моделировании динамических воздействий на существующее здание // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 1 (32). С. 74–78.

2. Абузов В. И., Балабина Т. А., Чепурной С. И. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью // Известия МГТУ. 2012. № 2 (14). С. 392–397.
3. Антипов В. В., Офрихтер В. Г. Современные неразрушающие методы изучения инженерно-геологического разреза // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7, № 2. С. 37–49.
4. Антипов В. В., Офрихтер В. Г. Совершенствование методов волнового анализа грунтовой толщи // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 109–119.
5. Park C. B., Carnevale M. Optimum MASW survey – revisit after a decade of use // GeoFlorida. 2010. P. 1303–1312.
6. Ofrikhter V. G., Ofrikhter I. V. Investigation of municipal solid waste massif by method of multichannel analysis of surface waves : proceedings of the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Innovations in environmental geotechnics (TC215 Session) / Japanese Geotechnical Society Special Publication. Japan, 2015. № 57. P. 1956–1959.
7. Антипов В. В., Офрихтер В. Г., Шутова О. А. Исследование верхней части разреза грунтовой толщи экспресс-методами волнового анализа // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 44–60.
8. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, Seventh Edition. U. K. : Butterworth-Heinemann, 2013. 714 p.
9. Алешин А. С., Малышев Р. В. Использование метода конечных элементов в задачах инженерной сейсмологии : Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. ст. международной научно-технической конференции / СПбГАСУ. СПб., 2012. С. 266–273.
10. Truong H. V. P. Dynamic spring constants and effect of frequency on footing vibration : proceedings of the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / Hong-Kong, 2011. P. 335–340.
11. Шутова О. А., Пономарев А. Б. Анализ возможности применения программного комплекса GeoStudio QUAKE/W для моделирования техногенной вибрации // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 3. С. 59–64.
12. Kausel E. Lamb's problem at its simplest // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2013. № 469 (2149). 15 p.

Antipov V.V. – student

E-mail: seekerva@mail.ru

Ofrikhter V.G. – doctor of technical sciences, associate professor

E-mail: ofrikhter@mail.ru

Ponomarev A.B. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: spstf@pstu.ru

Shutova O.A. – senior lecturer

E-mail: gshperm@mail.ru

Perm National Research Polytechnic University

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky pr-t, 29

Numerical modelling of dynamic impact from a single vehicle on the existing building

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to identify the possibility of making an adequate numerical model of the dynamic impact of a single vehicle on an existing building using as a basis of data from express methods of multichannel analysis of surface waves. The research of the impact of vehicles on the foundations of buildings and structures is relevant because now in Russia there is no standardization of the vibrational impact of vehicles.

Results. The main results of the studies consist in obtaining values of vibration acceleration at the calculated point of the foundation in numerical modelling. The obtained

accelerations are close enough to full-scale values: the arrangement is not more than 11 % for the maximum vertical component of the acceleration and not more than 30 % for the maximum horizontal component for a cargo vehicle and a bus.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact of possibility of using as the initial data the results of multichannel analysis of surface waves and obtaining correct results in the numerical simulation of the dynamic impact of vehicles on the existing building.

Keywords: multichannel analysis of surface waves, MASW, wheel contact patch, damping of soil, dynamic impact on building, numerical modelling.

References

1. Shutova O. A., Ponomarev A. B., Antipov V. V., Ofrikhter V. G. Application of nondestructive methods of determination of mechanical characteristics of the soils for numerical modelling of dynamic impact on existing building // *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2017. № 1 (32). P. 74–78.
2. Abuzov V. I., Balabina T. A., Chepurnoi S. I. General questions of interaction of an elastic wheel with rigid supporting surface // *Izvestiia MGTU*. 2012. № 2 (14). P. 392–397.
3. Antipov V. V., Ofrikhter V. G. Modern nondestructive method of researching of geological-engineering section // *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. Vol. 7, № 2. P. 37–49.
4. Antipov V. V., Ofrikhter V. G. Advances of the methods of wave analysis of soil stratification // *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriia i praktika*. 2016. Vol. 1. P. 109–119.
5. Park C. B., Carnevale M. Optimum MASW survey – revisit after a decade of use // *GeoFlorida*. 2010. P. 1303–1312.
6. Ofrikhter V. G., Ofrikhter I. V. Investigation of municipal solid waste massif by method of multichannel analysis of surface waves : proceedings of the 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Innovations in environmental geotechnics (TC215 Session) / Japanese Geotechnical Society Special Publication. Japan, 2015. № 57. P. 1956–1959.
7. Antipov V. V., Ofrikhter V. G., Shutova O. A. Investigation of upper section of soil stratification by rapid methods of wave analysis // *Vestnik MGSU*. 2016. № 12. P. 44–60.
8. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*, Seventh Edition. U. K. : Butterworth-Heinemann, 2013. 714 p.
9. Aleshin A. S., Malyshev R. V. Using of the finite element method in engineering seismology : Numerical methods of calculations in practical geotechnics: dig. of art. of International scientific-technical conference / *SPbGASU. SPb.*, 2012. P. 266–273.
10. Truong H. V. P. Dynamic spring constants and effect of frequency on footing vibration : proceedings of the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / Hong-Kong, 2011. P. 335–340.
11. Shutova O. A., Ponomarev A. B. The analysis of application possibility of program geostudio quake / W Complex for Modelling of Technogenic Vibration // *Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2016. № 3. P. 59–64.
12. Kausel E. Lamb's problem at its simplest // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2013. № 469 (2149). 15 p.

УДК 624.138.24

Шакиров И.Ф. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: fsrshakirov@mail.ru

Шайхутдинов И.И. – студент

E-mail: islamshaikhutdinov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследование несущей способности буронабивной сваи в массиве грунта, укрепленного напорной инъекцией цементного раствора

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследований является определение изменения несущей способности свайного фундамента при укреплении грунта вокруг сваи напорной цементацией в зависимости от параметров инъекции цементного раствора.

Результаты. Основные результаты выполненных исследований состоят в определении закономерностей изменения напряжений в окружающем сваю грунте в зависимости от объема и технологии нагнетания укрепляющего раствора и получении данных о влиянии укрепления грунта на несущую способность буронабивной сваи. Инъекция цементного раствора в окружающий сваю грунт создает в массиве напряженную зону, грунт вокруг сваи уплотняется, в результате чего происходит обжатие сваи и значительное увеличение трения по боковой поверхности сваи. Упрочнение грунта цементацией под нижним концом сваи приводит к увеличению лобового сопротивления сваи, но в меньшей степени, чем повышение сопротивления по боковой поверхности.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении степени влияния укрепления грунта на повышение несущей способности сваи, результаты исследований могут быть использованы в процессе разработки проектов усиления фундаментов при реконструкции зданий со значительным увеличением нагрузки на существующий свайный фундамент.

Ключевые слова: основание, массив грунта, упрочнение, цементация, свайный фундамент, буронабивная свая, несущая способность.

Введение

В процессе выполнения работ по реконструкции зданий и сооружений с увеличением нагрузок часто возникает необходимость в увеличении несущей способности свайных фундаментов. Усиление свайного фундамента может также потребоваться при ухудшении характеристик грунтов, окружающих сваю, например, из-за повышения влажности. Для увеличения несущей способности свайного фундамента можно применить способ подводки дополнительных свай. В настоящее время для усиления фундаментов широко используются разные типы свай, выполняемые по различным технологиям [1, 2]. Однако устройство дополнительных свай сопряжено высокой стоимостью и необходимостью проектирования конструкций, передающих нагрузку от существующего фундамента на новые сваи, что усложняет выполнение работ по усилению.

В то же время увеличения несущей способности свайного фундамента можно добиться путем укрепления грунта межсвайного пространства и в основании свай. Одним из эффективных методов укрепления грунта является метод напорной цементации [3, 4]. В результате напорной инъекции раствора грунт вокруг сваи и под ее нижним концом уплотняется, что приводит к усилению контактного взаимодействия грунта и сваи по боковой поверхности и увеличению сопротивления грунта под нижним концом [5-10].

Экспериментальные исследования

С целью определения закономерностей изменения несущей способности буронабивной сваи при укреплении грунта напорной цементацией и количественной оценки влияния параметров цементации на несущую способность были проведены экспериментальные исследования в объемном лотке лаборатории кафедры «Основания,

фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология» Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Общий вид испытательного лотка показан на рис. 1.

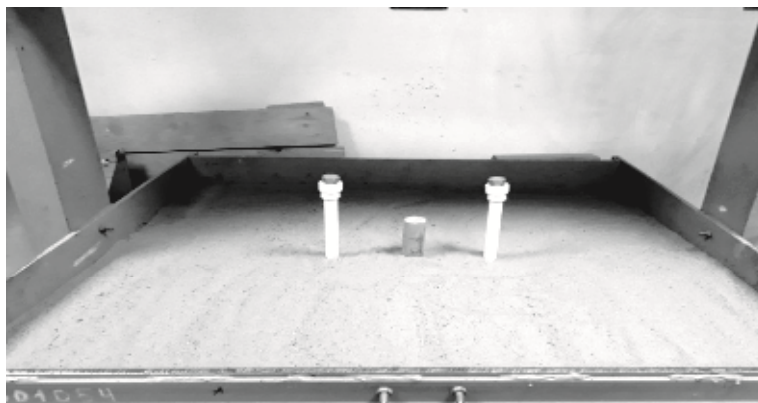


Рис. 1. Общий вид испытательного лотка (эксперимент с одиночной свай)

Для исследований был изготовлен из мелкозернистого бетона масштабная модель буронабивной сваи в соотношении 1:20. Модель сваи имеет диаметр 3,0 см и общую длину 50 см. Массив грунта для испытаний создавался из мелкозернистого песка путем послойной отсыпки с равномерным уплотнением. Физико-механические характеристики исходного грунта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунта до начала испытаний

Наименование показателей	Обозначение	Ед.измерения	Значение
Удельный вес	γ	кН/м ³	14,8
Удельный вес частиц грунта	γ_s	кН/м ³	26,5
Удельный вес сухого грунта	γ_d	кН/м ³	14,36
Коэффициент пористости	e	д.е.	0,845
Влажность	W	%	3
Угол внутреннего трения	φ	град.	25
Удельное сцепление	c	кПа	2

Установка модели сваи и инъекторов для нагнетания раствора в массив грунта производилась в процессе отсыпки грунта в лоток. Схема размещения модели одиночной сваи, инъекторов и измерительных приборов в лотке приведены на рис. 2.

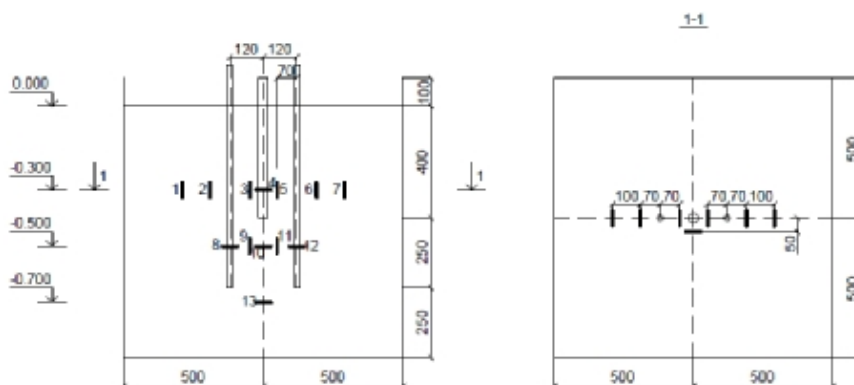


Рис. 2. Схема установки модели сваи, инъекторов и грунтовых датчиков в лоток (эксперимент с одиночной свай)

Были проведены несколько серий опытов с одиночной сваей и со свайным кустом, состоящим из четырех свай. До выполнения экспериментов с цементацией грунта проводились испытания сваи и свайного куста для определения их несущей способности в исходном грунте. По их результатам были определены общая несущая способность сваи и несущая способность по боковой поверхности (при отсутствии сопротивления грунта под нижним концом сваи).

Нагнетание цементного раствора в грунт производилась при помощи растворного насоса KSG-700 под давлением до 0,5 МПа через пластиковые инъекторы. Инъекторы в зоне инъекции с четырех сторон имеют перфорацию – отверстия диаметром 3 мм. В качестве укрепляющего раствора была использована водоцементная суспензия с водоцементным отношением 0,7, приготовленная из портландцемента марки 400. После инъекции раствора в массив грунта и его твердения в течение 5 дней снимались показания с датчиков давления, установленных в массиве грунта. В дальнейшем проводились испытания свай вертикальной статической вдавливающей нагрузкой.

Как показывают полученные результаты экспериментов, при инъекции цементного раствора в песчаный грунт уплотнение грунта вокруг инъектора происходит в радиальном направлении относительно равномерно, в результате после твердения раствора формируется грунтоцементный элемент, по форме близкий к цилиндрическому, но переменного по высоте сечения. Вокруг этого грунтоцементного столба образуется уплотненная зона грунта, размеры которого зависят от объема, нагнетаемого в инъектор, раствора. Достижение давлением инъекции определенного критического значения вызывает гидроразрыв грунта, раствор начинает распространяться в стороны по образовавшимся ходам (трещинам) в грунте. Для удержания и накопления наибольшего объема цементного раствора в зоне инъекции по мере его подачи в массив грунта необходимо плавное, без резких скачков увеличение давления до необходимого значения.

При расположении инъектора рядом с усиливаемой сваей или в межсвайном пространстве свайного куста, в результате инъекции цементного раствора происходит повышение плотности грунта и увеличивается давление грунта на боковую поверхность сваи. Степень уплотнения до определенных пределов зависит от объема нагнетаемого раствора, в каждом конкретном случае есть предельное значение объема раствора, при котором плотность грунта достигает своего максимального значения и дальше не увеличивается [4]. Уплотнение грунта достигается за счет более компактного расположения частиц грунта и уменьшения их пористости. Уплотнению также способствует временное повышение влажности песка при цементации из-за отдачи воды в грунт цементным раствором. В ходе экспериментов увеличение влажности песка в зоне инъекции составила с 3 % до 7-10 %. Было установлено, что увеличение плотности грунта в большей степени происходит у боковой поверхности сваи, в меньшей степени под нижним концом сваи. График изменения плотности песка в зависимости от объема нагнетаемого раствора показан на рис. 3.

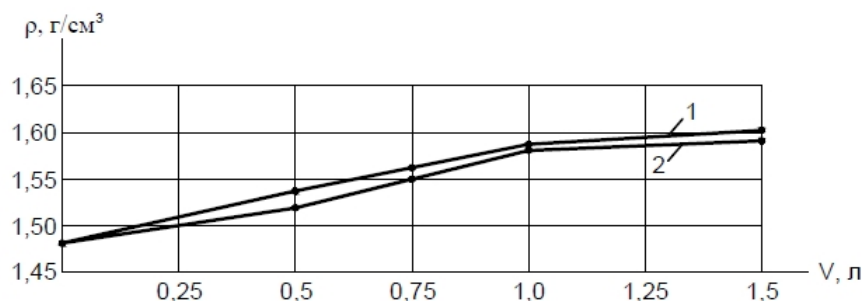


Рис. 3. График изменения плотности грунта в зависимости от объема инъектируемого раствора (1 – у боковой поверхности, 2 – под нижним концом)

В процессе инъекции раствора горизонтальные сжимающие напряжения на участке грунта между сваей и инъектором резко возрастают, достигая порядка 20-30 кПа. После снятия давления инъекции в грунте происходит релаксация напряжений, поэтому через

непродолжительное время напряжения в той же зоне составляли не более 10 кПа. На рис. 4 и 5 приведены графики изменения горизонтальных напряжений в зоне боковой поверхности сваи на глубине 30 см, измеренные согласно показаний грунтовых датчиков после стабилизации напряжений по окончании нагнетания раствора и при испытании модели сваи статической нагрузкой. Как видно из графиков, при инъекции раствора напряжения в грунте вокруг сваи увеличиваются, при статическом нагружении сначала продолжает расти, после «срыва» сваи резко уменьшаются.

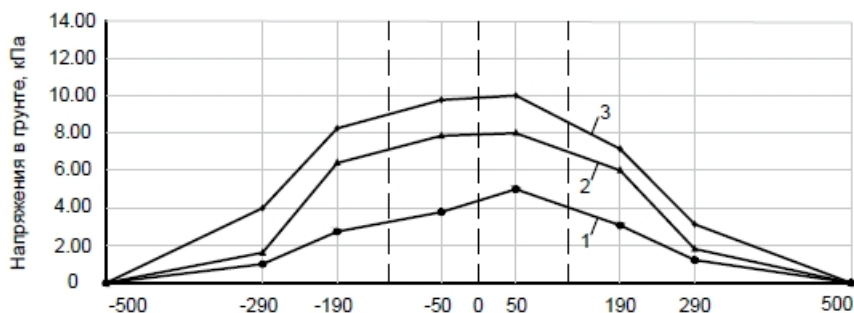


Рис. 4. Изменение горизонтальных напряжений на глубине 30 см после инъекции раствора (1, 2, 3 – при объеме нагнетаемого раствора на иньектор соответственно 0,5, 1,0 и 1,5 л)

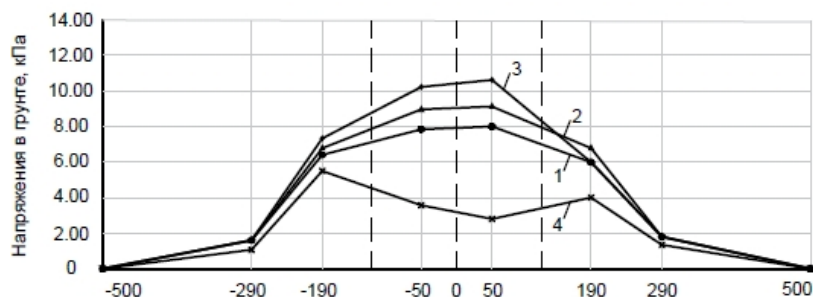


Рис. 5. Изменение горизонтальных напряжений на глубине 30 см при нагружении сваи статической нагрузкой (1 – после инъекции раствора; 2, 3, 4 – при нагрузке на сваю соответственно 8, 16 и 24 кгс; эксперимент № 5)

Графики зависимости осадки сваи от прикладываемой нагрузки при различных параметрах инъекции укрепляющего раствора приведены на рис. 6

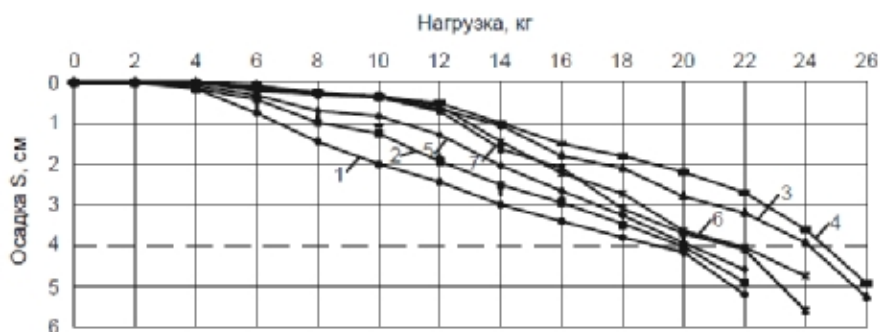


Рис. 6. График зависимости осадки сваи от прикладываемой нагрузки на сваю (1 – до укрепления грунта; 2, 3, 4 – укрепление в зоне боковой поверхности; 5, 6, 7 – укрепление под нижним концом, при объеме нагнетаемого раствора на иньектор соответственно 0,5, 1,0 и 1,5 л)

В ходе экспериментов установлено увеличение угла внутреннего трения грунта в уплотненной при инъекции раствора зоне массива с 25° до 31° , наибольшее значение этого показателя было зафиксировано между иньектором и свай.

Полученные в ходе исследований результаты приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Технологические параметры цементации и результаты экспериментов

№ эксп.	Кол-во свай	Кол-во инъект.	Объем раствора на инъектор, л.	Зона инъекции	Несущ. способн. модели свай, кгс			Плотн. грунта у свай, г/см ³
					общ.	бок.	низ	
1	1	-	-	-	19,1	6,6	12,5	1,48
2	4	-	-	-	22,0			1,48
3	1	2	0,5	боков. пов.	19,9	7,4		1,53
4	1	2	0,75	боков. пов.	21,4	8,9		1,561
5	1	2	1,0	боков. пов.	24,1	11,6		1,575
6	1	2	1,5	боков. пов.	24,6	12,1		1,605
7	1	2	0,5	низ	20,2		13,6	1,52
8	1	2	0,75	низ	20,9		14,3	1,546
9	1	2	1,0	низ	21,5		14,9	1,577
10	1	2	1,5	низ	21,8		15,2	1,59
11	4	1	1,0	боков. пов.	23,8			1,586
12	4	1	1,0	низ	25,1			1,564
13	4	4	1,0	боков. пов.	24,2			1,610
12	4	4	1,0	низ	27,0			1,607

На основании анализа результатов проведенных экспериментов можно сделать вывод, что для определения несущей способности свай после укрепления грунта напорной цементацией следует применять формулу СП 24.13330.2011 с добавлением поправочных коэффициентов к табличным значениям расчетных сопротивлений R и f_i :

$$F_d = g_c \zeta_{cR} \zeta_{cR} \times R \times A + u \times \sum_{i=0}^n g_{cR} \zeta_{f_i} \times f_i \times h_i$$

где коэффициенты ζ_R и ζ_{f_i} учитывают степень уплотнения грунта при инъекции цементного раствора. Эти коэффициенты зависят от объема инъектируемого раствора, первоначальной плотности грунта и схемы установки инъекторов относительно свай. Согласно полученным экспериментальным данным, в случае песчаных грунтов коэффициент ζ_R меняется в пределах 1,05...1,2, коэффициент ζ_{f_i} – в пределах 1,1...1,6. Также необходимо отметить, что при усилении свайного фундамента цементацией образуются грунтоцементные элементы, по форме напоминающие буроинъекционную сваю. Поэтому при расчете общей несущей способности свайного куста после усиления фундамента напорной цементацией можно учитывать несущую способность и этих элементов, определяемых в соответствии с [4].

Заключение

На основании выполненных экспериментов определены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массива грунта вокруг буронабивной сваи в зависимости от объема инъектируемого раствора. Напорная цементация грунтов, окружающих сваю, приводит к обжатию свай и увеличению трения по боковой поверхности свай, в меньшей степени увеличению лобового сопротивления свай – при упрочнении грунта под нижним концом свай. В принятых грунтовых условиях увеличение плотности грунта около одиночной сваи после инъекции раствора составило до 8,8 %, увеличение несущей способности свай по боковой поверхности до 80 %, под нижним концом до 20 %. В случае укрепления грунта в межсвайном пространстве свайного куста, повышение несущей способности каждой отдельно взятой сваи куста получается больше, чем у одиночной сваи, при одинаковых технологических параметрах нагнетания укрепляющего раствора. Исходя из этого можно предположить, что наибольший эффект от напорной цементации достигается при укреплении грунтов под свайными фундаментами при кустовом расположении свай и под плитно-свайными фундаментами.

Список библиографических ссылок

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. 728 с.
2. Коновалов П. А., Коновалов В. П. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М. : АСВ, 2011. 384 с.
3. Шакиров И. Ф., Тюркин С. И. Исследование несущей способности висячих свай в массиве грунта, укрепленного напорной цементацией // Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов. XIV Международный симпозиум по реологии грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 75–80.
4. Шакиров И. Ф., Гарифуллин Д. Р. Исследование несущей способности и деформаций песчаных грунтов, укрепленных напорной цементацией // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 200–205.
5. Способ повышения несущей способности свайного фундамента : пат. 2379419 Рос. Федерация. № 2007144147/03 ; заявл. 27.11.2007 ; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2. 5 с.
6. Голованов А. М., Пашков В. И., Рево Г. А., Пашков Д. В., Нерчинский О. В., Туренко Р. И. Опыт закрепления структурно-неустойчивых грунтов цементацией. // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 59–67.
7. Готман Н. З., Готман А. Л. Определение модуля деформации закрепленного цементацией грунта. // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 138–144.
8. Mirsayarov I. T., Shakirov M. I. Behavior models of plate-pile foundations under cyclic loading : Proceedings of the baltic piling days conference : Baltic Piling Days, Estonian Geotechnical Society ISSMGE / Tallin, 2012. P. 31–34.
9. Mirsayarov I. T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading // Energy Geotechnics. Proceedings of the 1st international conference on energy geotechnics : Germany, ICEGT / Kiel, 2016. P. 423–428.
10. Mirsayarov 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.

Shakirov I.F. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fsrshakirov@mail.ru

Shaikhutdinov I.I. – student

E-mail: islamshaikhutdinov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Researches of the bored pile bearing capacity in a soil massive,
reinforced by cement mortar pressure injection****Abstract**

Problem statement. The researches aim is to determine the changes in the pile foundation bearing capacity during strengthening the soil around the pile by pressure cementation, depending from the cement mortar injection parameters.

Results. The main results of the performed studies consist in determining the stress changing patterns in the pile surrounding soil, depending on the strengthening mortar volume and pumping technology, obtaining the data about the effect to the soil reinforcement on the bored pile bearing capacity. The injection of cement mortar into the pile surrounding soil creates a stress zone in the massive, the soil around the pile is compacting, and as a result occurs the compression of the pile and a significant increase of friction along the pile lateral surface. Hardening of the ground by cementation under the pile lower end, leads to an increase in the pile frontal surface, but to a lesser degree than an increase in resistance along the lateral surface.

Conclusion. Significance of the obtained results consists in determining the soil strengthening influence degree on increasing the piles bearing capacity, research results can be

used in the projects developing process for reinforcing foundations at the reconstruction of buildings with a significant load increase on the existing pile foundation.

Keywords: ground base, soil massive, hardening, cementation, pile foundation, bored pile, bearing capacity.

References

1. Ilyichev V. A., Mangushev R. A. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. 728 p.
2. Konovalov P. A., Konovalov V. P. Soil bases and foundations of buildings under reconstruction. M. : ASV, 2011. 384 p.
3. Shakirov I. F., Tyurkin S. I. Researches of bearing capacity of hanging piles in the array of soil, reinforced by pressure cementation // Perspective directions of development in theory and practice of rheology and soil mechanics. XIV International Symposium on the rheology of soils / KGASU. Kazan, 2014. P. 75–80.
4. Shakirov I. F., Garifullin D. R. The research of bearing capacity and deformation of sandy ground, reinforced by pressure cementation // Izvestiya KGASU. 2015. № 4 (34). P. 200–205.
5. Method for increasing the bearing capacity of the pile foundation : pat. 2379419 Russian Federation. № 2007144147/03 ; decl. 27.11.2007 ; publ. 01.20.2010. Bul. in № 2. 5 p.
6. Golovanov A. M., Pashkov V. I., Revo G. A., Pashkov D. V., Nerchinsky O. V., Turenko R. I. Fixing experience of the structurally unstable soils by cementation // Vestnik MGSU. 2013. № 8. P. 59–67.
7. Gotman N. Z., Gotman A. L. Determination of the deformation modulus strengthened by ground cementing // Izvestiya KGASU. 2017. № 1 (39). P. 138–144.
8. Mirsayapov I. T., Shakirov M. I. Behavior models of plate-pile foundations under cyclic loading : Proceedings of the baltic piling days conference : Baltic Piling Days, Estonian Geotechnical Society ISSMGE / Tallin, 2012. P. 31–34.
9. Mirsayapov I. T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading // Energy Geotechnics. Proceedings of the 1st international conference on energy geotechnics : Germany, ICEGT / Kiel, 2016. P. 423–428.
10. 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.



УДК 532.5:621.694

Багoutдинова А.Г. – кандидат технических наук

E-mail: bagoutdinova@rambler.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Вачагина Е.К. – доктор технических наук

E-mail: vachaginae@mail.ru

Казанский Научный Центр Российской Академии Наук

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/3

Золотаносов Я.Д. – доктор технических наук, профессор

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Математическое моделирование поверхностей теплообмена пружинно-витых каналов

Аннотация

Постановка задачи. При разработке теплообменного оборудования используется достаточно широкий спектр методов интенсификации теплообмена. Одним из перспективных является метод, основанный на идее воздействия на структуру потока через искусственно созданные неоднородности давления посредством специального профилирования поверхности.

В связи с этим представляет практический интерес серия пружинно-витых труб, обладающих высокоэнергетической эффективностью, позволяющие модернизировать и реконструировать существующий парк теплообменной аппаратуры без существенных капитальных затрат.

Результаты. В работе предложена математическая модель, позволяющая описать и построить теплообменные поверхности труб сложных конфигураций. Варьируя параметрами, входящими в математическую модель, можно провести полное исследование и оптимизацию внутренней геометрии рассматриваемых труб.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной области состоит в том, что предлагаемые теплообменные элементы устанавливаются в инновационных теплообменных аппаратах, монтируемых в индивидуальных тепловых пунктах. Кроме того, предложенные математические модели, описывающие поверхности пружинно-витых труб, могут быть использованы не только при разработке современной теплообменной аппаратуры, но и в строительстве при проектировании различных конструкций, а также при проектировании соединительных поверхностей участков трубопроводов разного диаметра.

Ключевые слова: моделирование, поверхность, гидромеханика, теплообменные аппараты.

Практически любое производство связано с процессами выделения или поглощения энергии. Поэтому от вида и конструкции теплообменников зависят производительность и работоспособность оборудования в самых различных отраслях промышленности: металлургической, химической, пищевой и других. В настоящее время в качестве теплообменного оборудования в основном используются теплообменные аппараты с гладкотрубными теплообменными элементами, отличающиеся значительными габаритами, низкими значениями коэффициентов теплопередачи, высокими показателями гидравлических потерь и удельной металлоемкости, а также существенным уровнем морального и физического износа вследствие длительных сроков их эксплуатации [1, 2].

Замена устаревшего оборудования, в частности кожухотрубных подогревателей, является на сегодняшний день назревшей проблемой. Одним из наиболее простых и эффективных путей интенсификации теплообмена является изменение формы теплообменной поверхности и режима движения теплоносителей. В этом плане

представляет интерес серия пружинно-витых труб [3, 4], на основе которых появляется возможность создания нового класса энергосберегающего высокоэффективного теплообменного оборудования, а также модернизация и реконструкция существующего парка теплообменной аппаратуры без существенных капитальных затрат.

Поверхность предложенных теплообменных элементов выполнена из проволоки-пружины, витки которой жестко скреплены [4, 5].

Опишем поверхности, образованные движением непрерывной замкнутой кривой ρ вдоль некоторой криволинейной направляющей γ [6].

Пусть $\mathbf{g}: r = \mathbf{r}(t)$ – направляющая кривая, t – некоторый параметр кривой. Представим радиус-вектор точки поверхности в виде суммы:

$$\mathbf{r}(t, s) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{r}(t, s),$$

где s – произвольный параметр в некоторой плоскости кривой γ ;

$\mathbf{r}(t, s) = r_1(t, s)\mathbf{e}_1(t) + r_2(t, s)\mathbf{e}_2(t)$ – радиус-вектор точки границы поперечного сечения в выбранной плоскости, в общем случае, зависящий от двух параметров;

$\mathbf{e}_1(t)$ и $\mathbf{e}_2(t)$ – единичные векторы, лежащие в некоторой плоскости, пересекающей направляющую кривую в каждой точке, соответствующей параметру t .

Тогда

$$\mathbf{r}(t, s) = \mathbf{r}(t) + r_1(t, s)\mathbf{e}_1(t) + r_2(t, s)\mathbf{e}_2(t). \tag{1}$$

В качестве плоскости, которая пересекает направляющую кривую наиболее удобно использовать плоскость нормальную к этой кривой в каждой точке, определяемой параметром t , а в качестве ортов $\mathbf{e}_1(t)$ и $\mathbf{e}_2(t)$ наиболее удобно выбирать вектор главной нормали $\mathbf{n}(t)$ и вектор бинормали $\mathbf{b}(t)$ направляющей кривой в точке, соответствующей значению параметра t . В этом случае радиус-вектор точки поверхности представляется в виде суммы $\mathbf{r}(t, s) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{r}(t, s)$, где s – произвольный параметр в нормальной плоскости кривой γ ; $\mathbf{r}(t, s) = r_n(t, s)\mathbf{n}(t) + r_b(t, s)\mathbf{b}(t)$ – радиус-вектор точки границы поперечного сечения в нормальной плоскости.

Тогда

$$\mathbf{r}(t, s) = \mathbf{r}(t) + r_n(t, s)\mathbf{n}(t) + r_b(t, s)\mathbf{b}(t). \tag{2}$$

Наиболее часто в качестве параметра s выбирается полярный угол φ в нормальной плоскости кривой γ , отсчитываемый от главной нормали по направлению к бинормали; $r(t, \varphi)$ – соответствующий «полярный радиус» (рис. 1).

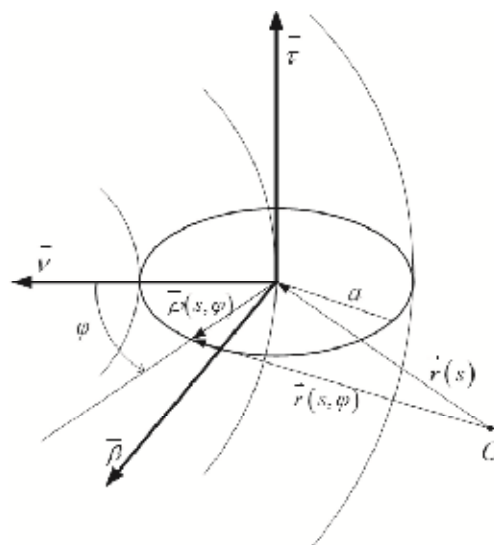


Рис. 1. Схема описания поверхности

Тогда

$$\mathbf{r}(t, j) = \mathbf{r}(t) + r(t, j) \cos j \mathbf{n}(t) + r(t, j) \sin j \mathbf{b}(t), \quad (3)$$

где $r(t, j)$ – переменный, в общем случае по двум параметрам, радиус границы поперечного сечения канала.

Единичные векторы касательной \mathbf{t} , нормали \mathbf{n} и бинормали \mathbf{b} образуют подвижный ортогональный базис, перемещающийся вдоль кривой γ , и вычисляются по формулам:

$$\mathbf{t} = \frac{d\mathbf{r}/dt}{|d\mathbf{r}/dt|}, \quad \mathbf{n} = \frac{d\mathbf{t}/dt}{|d\mathbf{t}/dt|}, \quad \mathbf{b} = \mathbf{t} \times \mathbf{n}, \quad (4)$$

или по формулам:

$$\mathbf{t} = \frac{d\mathbf{r}/dt}{|d\mathbf{r}/dt|}, \quad \mathbf{b} = \frac{\mathbf{e} \cdot d\mathbf{r}/dt \cdot d^2\mathbf{r}/dt^2 \cdot \mathbf{e}}{|\mathbf{e} \cdot d\mathbf{r}/dt \cdot d^2\mathbf{r}/dt^2 \cdot \mathbf{e}|}, \quad \mathbf{n} = \mathbf{e} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{t} \cdot \mathbf{e}, \quad (5)$$

В качестве конкретных направляющих линий рассмотрим несколько кривых.

1. Винтовая линия, лежащая на эллиптическом конусе:

$$\mathbf{g}: x = (r_1 + bt \operatorname{tg} \psi) \cos t, \quad y = (r_2 + bt \operatorname{tg} \psi) \sin t, \quad z = bt,$$

где $0 \leq t \leq \pi n$, а n – количество витков винтовой линии, ψ – угол конусности.

Тогда, обозначив $M_1(t) = (r_1 + bt \operatorname{tg} \psi)$, $M_2(t) = (r_2 + bt \operatorname{tg} \psi)$, получим:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t) &= \begin{pmatrix} M_1(t) \cos t \\ M_2(t) \sin t \\ bt \end{pmatrix}, \quad \mathbf{e} \cdot \mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} M_1(t) \cos t \\ M_2(t) \sin t \\ bt \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} = M_1(t) \cos^2 t + M_2(t) \sin^2 t \\ d\mathbf{r}(t)/dt &= \begin{pmatrix} -M_1(t) \sin t \\ M_2(t) \cos t \\ b \end{pmatrix}, \quad \mathbf{e} \cdot d\mathbf{r}(t)/dt = \begin{pmatrix} -M_1(t) \sin t \\ M_2(t) \cos t \\ b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} = -M_1(t) \sin t \cos t + M_2(t) \cos t \sin t \\ d^2\mathbf{r}(t)/dt^2 &= \begin{pmatrix} -M_1(t) \cos t - 2bt \operatorname{tg} \psi \sin t \\ -M_2(t) \sin t + 2bt \operatorname{tg} \psi \cos t \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{e} \cdot d^2\mathbf{r}(t)/dt^2 = \begin{pmatrix} -M_1(t) \cos t - 2bt \operatorname{tg} \psi \sin t \\ -M_2(t) \sin t + 2bt \operatorname{tg} \psi \cos t \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} = \\ &= -M_1(t) \cos^2 t - 2bt \operatorname{tg} \psi \sin t \cos t - M_2(t) \sin^2 t + 2bt \operatorname{tg} \psi \cos t \sin t \\ \mathbf{e} \cdot d\mathbf{r}/dt \cdot d^2\mathbf{r}/dt^2 &= \begin{pmatrix} -M_1(t) \sin t \\ M_2(t) \cos t \\ b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -M_1(t) \cos t - 2bt \operatorname{tg} \psi \sin t \\ -M_2(t) \sin t + 2bt \operatorname{tg} \psi \cos t \\ 0 \end{pmatrix} = \\ &= M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \psi - b(M_1 - M_2) \cos t \sin t \end{aligned}$$

Единичные векторы касательной, нормали и бинормали согласно (5) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{t} &= \frac{1}{m_t(t)} \begin{pmatrix} M_1(t) \sin t + bt \operatorname{tg} \psi \cos t \\ M_2(t) \cos t + bt \operatorname{tg} \psi \sin t \\ b \end{pmatrix}, \\ \mathbf{b} &= \frac{1}{m_b(t)} \begin{pmatrix} bt \operatorname{tg} \psi (M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \psi)) \sin t + b(M_1 - M_2) M_2 \operatorname{tg} \psi \cos^2 t \sin t + \\ - (M_1 M_2^2 + b^2 (M_1 + 2M_2 \operatorname{tg}^2 \psi)) \cos t + b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \psi \cos t \sin^2 t \\ bt \operatorname{tg} \psi (M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \psi)) \cos t - b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \psi \cos^2 t \sin t + \\ - (M_1^2 M_2 + b^2 (M_2 + 2M_1 \operatorname{tg}^2 \psi)) \sin t + b M_1 (M_1 - M_2) \operatorname{tg} \psi \cos t \sin^2 t \\ 0,5b (3b(M_1 - M_2) \operatorname{tg} \psi \cos 2t - (M_1 + M_2) (bt \operatorname{tg} \psi + (M_1 - M_2) \sin 2t)) \end{pmatrix}, \\ \mathbf{n} &= \frac{1}{m_n(t)} \begin{pmatrix} b(M_2 \sin t - 2bt \operatorname{tg} \psi \cos t) \\ -b(M_1 \cos t + 2bt \operatorname{tg} \psi \sin t) \\ M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \psi - b(M_1 - M_2) \cos t \sin t \end{pmatrix} \end{aligned}$$

где $m_t^2(t) = (b \operatorname{tg} \psi \cos t - M_1 \sin t)^2 + (b \operatorname{tg} \psi \sin t + M_2 \cos t)^2 + b^2$, $m_b^2(t) = b^2 (M_2 \sin t - 2b \operatorname{tg} \psi \cos t)^2 + b^2 (M_1 \cos t + 2b \operatorname{tg} \psi \sin t)^2 + (M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \psi - b(M_1 - M_2) \cos t \sin t)^2$.

2. Винтовая линия, лежащая на круговом конусе:

$$\mathbf{g}: x = (r_0 + bt \operatorname{tg} \psi) \cos t, \quad y = (r_0 + bt \operatorname{tg} \psi) \sin t, \quad z = bt, \quad 0 \leq t \leq \pi n.$$

Тогда, вводя обозначения $M_0(t) = (r_0 + bt \operatorname{tg} \psi)$, получим:

$$\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} M_0(t) \cos t \\ M_0(t) \sin t \\ bt \end{pmatrix}, \quad \mathbf{e} \cdot \mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} M_0(t) \cos t \\ M_0(t) \sin t \\ bt \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} = M_0(t) \cos^2 t + M_0(t) \sin^2 t \\ \mathbf{t} = \frac{1}{m_t(t)} \begin{pmatrix} -M_0(t) \sin t \\ M_0(t) \cos t \\ b \end{pmatrix}, \quad \mathbf{e} \cdot d\mathbf{r}(t)/dt = \begin{pmatrix} -M_0(t) \sin t \\ M_0(t) \cos t \\ b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} = -M_0(t) \sin t \cos t + M_0(t) \cos t \sin t = 0 \quad (6)$$

$$\mathbf{n} = \frac{1}{m_t(t)m_b(t)} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} b t g y (M_0^2 + 2b^2(1 + t g^2 y)) \sin t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2t g^2 y)) \cos t \\ \frac{\partial}{\partial t} b t g y (M_0^2 + 2b^2(1 + t g^2 y)) \cos t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2t g^2 y)) \sin t \\ - b^2 M_0 t g y \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \frac{1}{m_b(t)} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} b (M_0 \sin t - 2b t g y \cos t) \\ \frac{\partial}{\partial t} b (M_0 \cos t + 2b t g y \sin t) \\ M_0^2 + 2b^2 t g^2 y \end{pmatrix}$$

где

$$m_t^2(t) = b^2 t g^2 y + M_0^2 + b^2, m_b^2(t) = b^2 M_0^2 + 4b^4 t g^2 y + (M_0^2 + 2b^2 t g^2 y)^2.$$

3. Винтовая линия, лежащая на эллиптическом цилиндре:

$$\mathbf{g} : x = r_1 \cos t, y = r_2 \sin t, z = bt, 0 \leq t \leq \pi n \text{ или } \mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} r_1 \cos t \\ r_2 \sin t \\ bt \end{pmatrix}, 0 \leq t \leq \pi.$$

$$\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \begin{pmatrix} -r_1 \sin t \\ r_2 \cos t \\ b \end{pmatrix}; \quad \frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2} = \begin{pmatrix} -r_1 \cos t \\ -r_2 \sin t \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \frac{d\mathbf{r}}{dt} \cdot \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \begin{pmatrix} -r_1 b \sin t \\ r_1 r_2 \cos t \\ 0 \end{pmatrix}$$

Единичные векторы касательной, нормали и бинормали согласно (5) можно записать в виде:

$$\mathbf{t} = \frac{1}{m_t(t)} \begin{pmatrix} -r_1 \sin t \\ r_2 \cos t \\ b \end{pmatrix}; \quad \mathbf{n} = \frac{1}{m_t(t)m_b(t)} \begin{pmatrix} -r_1(r_2^2 + b^2) \cos t \\ -r_2(r_1^2 + b^2) \sin t \\ (r_2^2 - r_1^2) b \sin t \cos t \end{pmatrix}; \quad \mathbf{b} = \frac{1}{m_b(t)} \begin{pmatrix} r_2 b \sin t \\ r_1 b \cos t \\ r_1 r_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

где

$$m_t^2(t) = r_1^2 \sin^2 t + r_2^2 \cos^2 t + b^2, m_b^2(t) = r_2^2 b^2 \sin^2 t + r_1^2 b^2 \cos^2 t + r_1^2 r_2^2.$$

4. Винтовая линия, лежащая на круговом цилиндре:

$$\mathbf{g} : x = r_0 \cos t, y = r_0 \sin t, z = bt, 0 \leq t \leq \pi n \text{ или } \mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} r_0 \cos t \\ r_0 \sin t \\ bt \end{pmatrix}, 0 \leq t \leq \pi n.$$

Тогда

$$\mathbf{t} = \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} -r_0 \sin t \\ r_0 \cos t \\ b \end{pmatrix}; \quad \mathbf{n} = \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{b} = \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} b \sin t \\ b \cos t \\ r_0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

В качестве образующих кривых, расположенных в нормальной плоскости рассмотрим эллипс и окружность.

Уравнение эллипса с полуосями c и d можно записать в форме, соответствующей уравнению (1):

$$\mathbf{r} : r_n(t, s) = c \cos s, r_b(t, s) = d \sin s. \quad (9)$$

Тогда

$$\mathbf{r} : \mathbf{r}(t, s) = c \cos s \mathbf{n}(t) + d \sin s \mathbf{b}(t). \quad (10)$$

Уравнение эллипса с полуосями c и d можно записать в форме, соответствующей уравнению (2):

$$\mathbf{r} : r(t, j) = \frac{cd}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}}.$$

Тогда

$$\mathbf{r} : \mathbf{r}(t, j) = \frac{cd}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} (\cos j \mathbf{n}(t) + \sin j \mathbf{b}(t)). \quad (11)$$

Уравнение круга с радиусом c удобнее записать в форме, соответствующей уравнению (2):

$$\rho: \rho(t, \varphi) = c.$$

Тогда

$$\mathbf{r}(t, j) = c \left(\cos j \mathbf{n}(t) + \sin j \mathbf{b}(t) \right). \tag{12}$$

Запишем уравнение поверхности прямолинейной пружинно-витой трубы, образованной путем намотки проволоки эллиптического и круглого сечений на эллиптический цилиндр.

В качестве направляющей кривой выберем винтовую линию, расположенную на поверхности эллиптического цилиндра. В качестве образующей – эллипс с полуосями c и d .

При использовании уравнения эллипса в виде (11) получим параметрическое уравнение замотающей поверхности в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_1 \cos t \\ r_2 \sin t \\ bt \end{pmatrix} + \frac{cd \cos j}{m_t(t)m_b(t)\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_1 - r_1(r_2^2 + b^2) \cos t \\ c - r_2(r_1^2 + b^2) \sin t \\ (r_2^2 - r_1^2) b \sin t \cos t \end{pmatrix} + \frac{cd \sin j}{m_b(t)\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_2 b \sin t \\ c - r_1 b \cos t \\ r_1 r_2 \end{pmatrix} \tag{13}$$

При использовании уравнения эллипса в виде (10) получим параметрическое уравнение замотающей поверхности в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_1 \cos t \\ r_2 \sin t \\ bt \end{pmatrix} + \frac{c \cos s}{m_t(t)m_b(t)} \begin{pmatrix} a_1 - r_1(r_2^2 + b^2) \cos t \\ c - r_2(r_1^2 + b^2) \sin t \\ (r_2^2 - r_1^2) b \sin t \cos t \end{pmatrix} + \frac{d \sin s}{m_b(t)} \begin{pmatrix} a_2 b \sin t \\ c - r_1 b \cos t \\ r_1 r_2 \end{pmatrix} \tag{14}$$

где $b \approx d/\pi$, что обеспечивает плотное прилегание витков проволоки.

При использовании круглой проволоки уравнение (14) запишется как:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_1 \cos t \\ r_2 \sin t \\ bt \end{pmatrix} + \frac{c \cos j}{m_t(t)m_b(t)} \begin{pmatrix} a_1 - r_1(r_2^2 + b^2) \cos t \\ c - r_2(r_1^2 + b^2) \sin t \\ (r_2^2 - r_1^2) b \sin t \cos t \end{pmatrix} + \frac{c \sin j}{m_b(t)} \begin{pmatrix} a_2 b \sin t \\ c - r_1 b \cos t \\ r_1 r_2 \end{pmatrix} \tag{15}$$

Здесь $b \approx c/\pi$, что обеспечивает плотное прилегание витков проволоки.

На рис. 2 представлена пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки круглого сечения на эллиптический цилиндр.



Рис. 2. Пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки круглого сечения на эллиптический цилиндр

Запишем уравнение поверхности пружинно-витой трубы, образованной путем намотки проволоки эллиптического и круглого сечений на круговой цилиндр [7].

Очевидно, что параметрические уравнения поверхности пружинно-витой трубы, образованной путем намотки проволоки эллиптического сечения на круговой цилиндр получаются из формул (13) и (14) при $r_1 = r_0, r_2 = r_0$.

При использовании уравнения (11) получим параметрическое уравнение замотающей поверхности в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c r_0 \sin t \\ bt \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{cd \cos j}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c \sin t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{cd \sin j}{\sqrt{r_0^2 + b^2} \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin t \\ c - b \cos t \\ r_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

При использовании уравнения (12) получим параметрическое уравнение замотающей поверхности в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c r_0 \sin t \\ bt \\ 0 \end{pmatrix} + c \cos s \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c \sin t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{d \sin s}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin t \\ c - b \cos t \\ r_0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ где } b \approx d/\pi.$$

При использовании круглой проволоки уравнения (13) и (14) примут вид:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c r_0 \sin t \\ bt \\ 0 \end{pmatrix} + c \cos j \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c \sin t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{c \sin j}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin t \\ c - b \cos t \\ r_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c r_0 \sin t \\ bt \\ 0 \end{pmatrix} + c \cos s \begin{pmatrix} a_0 \cos t \\ c \sin t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{c \sin s}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin t \\ c - b \cos t \\ r_0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ где } b \approx c/\pi.$$

На рис. 3 представлен пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки эллиптического сечения на круговой цилиндр.

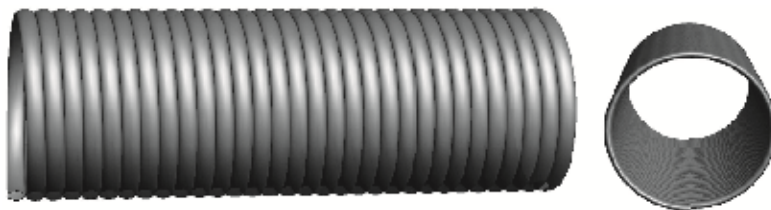


Рис. 3. Пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки эллиптического сечения на круговой цилиндр

Запишем уравнение поверхности пружинно-витой трубы, образованной путем намотки проволоки эллиптического и круглого сечения на эллиптический конус.

В качестве направляющей кривой выберем винтовую линию, расположенную на поверхности эллиптического конуса. В качестве образующей – эллипс с полуосями c и d .

При использовании уравнения (11) получим параметрическое уравнение замотающей поверхности в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_1 M_1(t) \cos t \\ c M_2(t) \sin t \\ bt \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{cd \cos j}{m_a(t) m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_1 M_1(t) \cos t \\ c M_2(t) \sin t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{cd \sin j}{m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} a_1 M_1(t) \sin t - 2btgy \cos t \\ -b(M_1 \cos t + 2btgy \sin t) \\ M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma - b(M_1 - M_2) \cos t \sin t \\ M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma - b(M_1 - M_2) \sin t \end{pmatrix} \quad (16)$$

где $b \gg cd / (\sqrt{c^2 + d^2} \operatorname{tg} \rho)$, что обеспечивает плотное прилегание витков проволоки.

При использовании уравнения (12) получим параметрическое уравнение заматающей поверхности в виде:

$$r(t, j) = \frac{M_1(t) \cos t}{M_2(t) \sin t + \frac{c \cos s}{m_b(t) m_b(t)}} + \frac{c \cos s}{m_b(t) m_b(t)}$$

$$\begin{aligned} & b \operatorname{tg} \gamma \left(M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \sin t + b(M_1 - M_2) M_2 \operatorname{tg} \gamma \cos^2 t \sin t + \\ & - \left(M_1 M_2^2 + b^2 (M_1 + 2M_2 \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \cos t + b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \gamma \cos t \sin^2 t + \\ & b \operatorname{tg} \gamma \left(M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \cos t - b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \gamma \cos^2 t \sin t + \\ & - \left(M_1^2 M_2 + b^2 (M_2 + 2M_1 \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \sin t + b M_1 (M_1 - M_2) \operatorname{tg} \gamma \cos t \sin^2 t + \\ & 0,5b \left(3b(M_1 - M_2) \operatorname{tg} \gamma \cos 2t - (M_1 + M_2) (b \operatorname{tg} \gamma + (M_1 - M_2) \sin 2t) \right) \end{aligned} \quad (17)$$

$$+ \frac{d \sin s}{m_b(t)} \frac{b(M_2 \sin t - 2b \operatorname{tg} \gamma \cos t) - b(M_1 \cos t + 2b \operatorname{tg} \gamma \sin t)}{M_1 M_2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma - b(M_1 - M_2) \cos t \sin t}$$

При использовании круглой проволоки уравнения (16) и (17) примут вид:

$$r(t, j) = \frac{M_1(t) \cos t}{M_2(t) \sin t + \frac{c \sin j}{m_b(t) m_b(t)}} + \frac{c \sin j}{m_b(t) m_b(t)}$$

$$\begin{aligned} & b(M_2 \sin t - 2b \operatorname{tg} \gamma \cos t) - b(M_1 \cos t + 2b \operatorname{tg} \gamma \sin t) \\ & b \operatorname{tg} \gamma \left(M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \sin t + b(M_1 - M_2) M_2 \operatorname{tg} \gamma \cos^2 t \sin t + \\ & - \left(M_1 M_2^2 + b^2 (M_1 + 2M_2 \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \cos t + b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \gamma \cos t \sin^2 t + \\ & + \frac{c \cos j}{m_b(t) m_b(t)} \left(b \operatorname{tg} \gamma \left(M_1 M_2 + 2b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \cos t - b^2 (M_1 - M_2) \operatorname{tg}^2 \gamma \cos^2 t \sin t + \right. \\ & \left. - \left(M_1^2 M_2 + b^2 (M_2 + 2M_1 \operatorname{tg}^2 \gamma) \right) \sin t + b M_1 (M_1 - M_2) \operatorname{tg} \gamma \cos t \sin^2 t + \right. \\ & \left. 0,5b \left(3b(M_1 - M_2) \operatorname{tg} \gamma \cos 2t - (M_1 + M_2) (b \operatorname{tg} \gamma + (M_1 - M_2) \sin 2t) \right) \right) \end{aligned}$$

где $b \gg c / (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma} \rho)$, что обеспечивает плотное прилегание витков проволоки.

На рис. 4 представлен пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки эллиптического сечения на эллиптический конус.

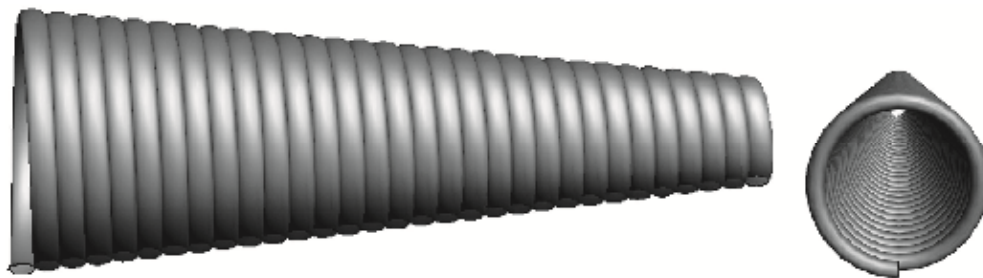


Рис. 4. Пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки эллиптического сечения на эллиптический конус

Запишем уравнение поверхности пружинно-витой трубы типа «конфузор-диффузор», образованного путем намотки проволоки эллиптического и круглого сечения на круговой конус.

В качестве направляющей кривой выберем винтовую линию, расположенную на поверхности кругового конуса. В качестве образующей – эллипс с полуосями c и d .

Тогда при использовании уравнения эллипса (11) получим параметрическое уравнение заметающей поверхности в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t, j) = & \frac{M_0(t) \cos t}{bt} + \frac{cd \cos j}{m_b(t) m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}}, \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \sin t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \cos t \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \cos t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \sin t \\ & - b^2 M_0 tg \gamma \\ & + \frac{cd \sin j}{m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} - \frac{b(M_0 \sin t - 2btgy \cos t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \end{aligned} \quad (18)$$

При использовании уравнения (12) получим уравнение в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t, j) = & \frac{M_1(t) \cos t}{bt} + \frac{d \sin s}{m_b(t)} - \frac{b(M_0 \cos t + 2btgy \sin t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \sin t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \cos t \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \cos t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \sin t \\ & - b^2 M_0 tg \gamma \\ & + \frac{c \cos s}{m_t(t) m_b(t)} - \frac{b(M_0 \sin t - 2btgy \cos t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \end{aligned} \quad (19)$$

При использовании круглой проволоки уравнения (18) и (19) примут вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t, j) = & \frac{M_0(t) \cos t}{bt} + \frac{c \sin j}{m_b(t)} - \frac{b(M_0 \cos t + 2btgy \sin t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \sin t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \cos t \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \cos t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \sin t \\ & - b^2 M_0 tg \gamma \\ & + \frac{c \cos j}{m_t(t) m_b(t)} - \frac{b(M_0 \sin t - 2btgy \cos t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t, j) = & \frac{M_0(t) \cos t}{bt} + \frac{c \sin s}{m_b(t)} - \frac{b(M_0 \cos t + 2btgy \sin t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \sin t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \cos t \\ & btgy (M_0^2 + 2b^2(1 + tg^2 \gamma)) \cos t - M_0 (M_0^2 + b^2(1 + 2tg^2 \gamma)) \sin t \\ & - b^2 M_0 tg \gamma \\ & + \frac{c \cos s}{m_t(t) m_b(t)} - \frac{b(M_0 \sin t - 2btgy \cos t)}{M_0^2 + 2b^2 tg^2 \gamma} \end{aligned} \quad (21)$$

На рис. 5 представлена пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки круглого сечения на круговой конус.



Рис. 5. Пружинно-витая труба, образованная путем намотки проволоки круглого сечения на круговой конус

Запишем уравнение поверхности многозаходной пружинно-витой трубы, образованной путем намотки нескольких проволок круглого сечения на цилиндр [9].

В качестве нескольких направляющих кривых выберем m винтовых линий, расположенных на поверхности кругового цилиндра:

$$\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} a_0 \cos(t + f_m(i)) \\ r_0 \sin(t + f_m(i)) \\ bt \end{pmatrix}, \quad f_m(i) = \frac{2\pi i}{n} \quad (i=0, \dots, m-1), \quad 0 \leq t \leq \pi n, \quad b = cn/\pi.$$

Единичные векторы касательной, нормали и бинормали:

$$\mathbf{t} = \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 r_0 \sin(t + f_m(i)) \\ r_0 \cos(t + f_m(i)) \\ b \end{pmatrix}, \quad \mathbf{n} = \begin{pmatrix} a_0 \cos(t + f_m(i)) \\ -r_0 \sin(t + f_m(i)) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin(t + f_m(i)) \\ b \cos(t + f_m(i)) \\ r_0 \end{pmatrix}$$

При использовании уравнения (12) получим уравнение поверхности в виде

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} a_0 \cos(t + f_m(i)) \\ r_0 \sin(t + f_m(i)) \\ bt \end{pmatrix} - c \cos j \begin{pmatrix} a_0 \cos(t + f_m(i)) \\ r_0 \sin(t + f_m(i)) \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{c \sin j}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a_0 b \sin(t + f_m(i)) \\ b \cos(t + f_m(i)) \\ r_0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

На рис. 6 представлена пружинно-витая труба, образованная путем намотки нескольких (восьми) проволок круглого сечения на круговой цилиндр.

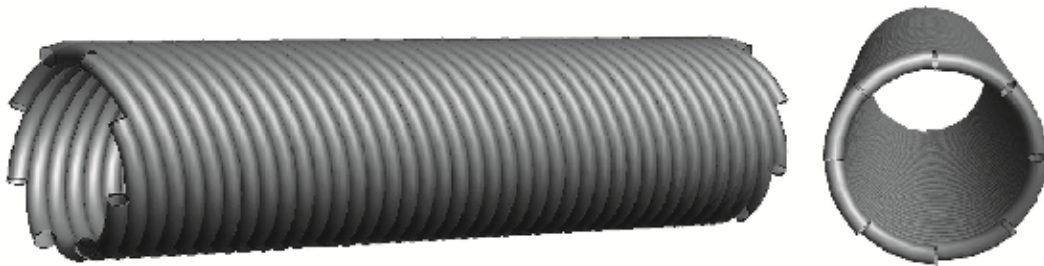


Рис. 6. Многозаходная пружинно-витая труба, образованная намоткой восьми проволок круглого сечения на круговой цилиндр

Для описания поверхности пружинно-витой трубы типа «конфузор-диффузор» направляющей кривой является винтовая линия, расположенная на поверхности кругового конуса:

$$g: x = (r_0 + bt \cos \gamma) \cos t, \quad y = (r_0 + bt \cos \gamma) \sin t, \quad z = bt,$$

где для диффузора $\psi = \psi_d$, $r_0 = r_{0d}$, для конфузора $\psi = \psi_k$, $r_0 = r_{0k}$, а образующей – эллипс с полуосьми c и d .

Тогда

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} (r_0 + bt \cos \gamma) \cos t \\ (r_0 + bt \cos \gamma) \sin t \\ bt \end{pmatrix} + \frac{cd}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} c \cos j \\ d \sin j \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \begin{pmatrix} M \sin t + bt \cos \gamma \cos t \\ M \cos t + bt \cos \gamma \sin t \\ b \end{pmatrix}, \quad d^2 r / dt^2 = \begin{pmatrix} M \cos t - 2bt \cos \gamma \sin t \\ -M \sin t + 2bt \cos \gamma \cos t \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \begin{pmatrix} (M \sin t - 2bt \cos \gamma \cos t) b \\ (M \cos t + 2bt \cos \gamma \sin t) b \\ M^2 + 2b^2 \cos^2 \gamma \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{t} = \frac{1}{m_t} \begin{pmatrix} M \sin t + bt \cos \gamma \cos t \\ M \cos t + bt \cos \gamma \sin t \\ b \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \frac{1}{m_b(t)} \begin{pmatrix} (M \sin t - 2bt \cos \gamma \cos t) b \\ (M \cos t + 2bt \cos \gamma \sin t) b \\ M^2 + 2b^2 \cos^2 \gamma \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{r} = \frac{1}{m_t(t)m_b(t)} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} (M^2 + b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) M \cos t - (M^2 + 2b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) b \operatorname{tg} \gamma \sin t \\ \frac{\partial}{\partial t} (M^2 + b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) M \sin t + (M^2 + 2b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) b \operatorname{tg} \gamma \cos t \\ - Mb^2 \operatorname{tg} \gamma \end{pmatrix}$$

Здесь:

$$M(t) = r_0 + b t \operatorname{tg} \gamma, \quad m_t^2 = M^2 + b^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma), \quad m_b^2 = M^2 b^2 + 4b^4 \operatorname{tg}^2 \gamma + (M^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma)^2.$$

Параметрическое уравнение поверхности пружинно-витой трубы типа «конфузор-диффузор» записывается в виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} M \cos t \\ \frac{\partial}{\partial t} M \sin t \\ bt \end{pmatrix} + \frac{cd}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} (M^2 + b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) M \cos t - (M^2 + 2b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) b \operatorname{tg} \gamma \sin t \\ \frac{\partial}{\partial t} (M^2 + b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) M \sin t + (M^2 + 2b^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) b \operatorname{tg} \gamma \cos t \\ - Mb^2 \operatorname{tg} \gamma \end{pmatrix} + \frac{cd}{\sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \frac{\sin j}{m_b(t)} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} (M \sin t - 2b \operatorname{tg} \gamma \cos t) b \\ \frac{\partial}{\partial t} (M \cos t + 2b \operatorname{tg} \gamma \sin t) b \\ M^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma \end{pmatrix}$$

или в матричном виде:

$$\mathbf{r}(t, j) = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} M \cos t \\ \frac{\partial}{\partial t} M \sin t \\ bt + \frac{cd}{m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \frac{\partial}{\partial t} \sin j (M^2 + 2b^2 \operatorname{tg}^2 \gamma) - \frac{\cos j}{m_t(t)} \frac{Mb^2 \operatorname{tg} \gamma}{\partial t} \end{pmatrix} + \frac{cd \cos j}{m_t(t) m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} M_1 \cos t + M_2 \sin t \\ M_1 \sin t - M_2 \cos t \end{pmatrix} + \frac{cd \sin j}{m_b(t) \sqrt{c^2 \cos^2 j + d^2 \sin^2 j}} \begin{pmatrix} (M \sin t - 2b \operatorname{tg} \gamma \cos t) b \\ (M \cos t + 2b \operatorname{tg} \gamma \sin t) b \end{pmatrix}$$

На рис. 7 представлена пружинно-витая труба типа «конфузор-диффузор».



Рис. 7. Пружинно-витая труба типа «конфузор-диффузор»

Если угол конусности Ψ элементов «конфузор-диффузор» принять равным нулю, то данная модель может быть использована для построения прямых пружинно-витых труб.

Предложенные математические модели, описывающие поверхности пружинно-витых труб, могут быть использованы не только при разработке теплообменных элементов современной теплообменной аппаратуры, но и в строительстве при проектировании различных конструкций, а также при проектировании соединительных поверхностей участков трубопроводов разного диаметра.

Список библиографических ссылок

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. : Химия, 2004. 783 с.

2. Исаев С. Е., Сорокин О. Г., Низин А. Н. Обзор конструктивных особенностей теплообменного оборудования для промышленности // Главный энергетик. 2008. № 6. С. 38–41.
3. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д., Мустакимова С. А. Энергоэффективные теплообменные аппараты на базе пружинно-витых каналов и труб типа «конфузор-диффузор». М. : деп. В ВИНТИ РАН, 2013. № 353-В2013. 103 с.
4. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д., Посохин В. Н. Конструкции эффективных теплообменных элементов для скоростных теплообменников // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2014. № 7. С. 72–75.
5. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д. Змеевиковые теплообменники. Моделирование. Расчет. Казань, 2016. 245 с.
6. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д., Мустакимова С. А. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КГАСУ. 2011. № 4 (18). С. 185–192.
7. Теплообменный элемент: пат. 62694 Рос. Федерация. № 2006143517 ; заявл. 7.12.06 ; опубл. 27.04.07. Бюл. № 12.
8. Теплообменный элемент: пат. 64750 Рос. Федерация. № 2007107173 ; заявл. 28.02.07 ; опубл. 10.07.07. Бюл. № 19.
9. Теплообменный элемент: пат. 170207 Рос. Федерация. № 2016133786 ; заявл. 17.08.16 ; опубл. 18.04.17. Бюл. № 11.
10. Теплообменный элемент: пат. 164319 Рос. Федерация. № 2015134595 ; заявл. 17.08.15 ; опубл. 27.08.16. Бюл. № 24.

Bagoutdinova A.G. – candidate of technical sciences

E-mail: bagoutdinova@rambler.ru

Kazan (Volga region) Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

Vachagina E.K. – doctor of technical sciences

E-mail: vachagina@mail.ru

Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Lobachevsky st., 2/3

Zolotonosov Ya.D. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Mathematical modeling of heat transfer surfaces of spring-twisted channels

Abstract

Problem statement. When developing the heat exchange equipment many methods of an intensification of heat exchange are used. One of perspective is the method when the form of a heat exchange surface changes.

In this regard the class of spring and twisted tubes which have high power efficiency is interesting, allow to modernize and reconstruct the existing heat exchange devices without essential capital expenditure.

Results. In work the mathematical model allowing to describe and construct heat exchange surfaces of pipes of difficult configurations is offered. Varying the parameters entering mathematical model it is possible to conduct a full research and optimization of internal geometry of the considered pipes.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction area is that the proposed heat exchange elements are installed in innovative heat exchangers installed in individual heat points. In addition, the proposed mathematical models describing the surfaces of spring-twisted channels can be used not only in the development of modern heat exchange equipment, but also in construction in the design of various structures, as well as in the design of connecting surfaces of sections of pipelines of different diameters.

Keywords: surface, hydromechanics, heat exchange equipment.

References

1. Kasatkin A. G. Main processes and devices of chemical technology. M. : Chimiya, 2004. 783 p.
2. Isaev S. E., Sorokin O. G., Review of design features of the heat exchange equipment for the industry // *Glavnyy energetik*. 2008. № 6. P. 38–41.
3. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D., Mustakimova S. A. Energy-efficient heat exchangers based on spring-twisted channels and pipes of the «confuser-diffuser» type. M. : dep. VINITI RAN, 2013. № 353-B2013. 103 p.
4. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D., Posokhin V. N. Designs of effective heat exchange elements for high-speed heat exchangers // *Santehnika. Otoplenie. Conditionirovanie*. 2014. № 7. P. 72–75.
5. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D. Coil heat exchangers. Modeling. Calculation. Kazan, 2016. 245 p.
6. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D., Mustakimova S. A. Geometric modeling of composite surfaces of spring-twisted channels of heat-exchange devices // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 4 (18). P. 185–193.
7. Heat exchange element: patent 62694 of the Rus. Federation. № 2006143517 ; decl. 7.12.06 ; publ. 27.04.07. Bull. in № 12.
8. Heat exchange element: patent 64750 of the Rus. Federation. № 2007107173 ; decl. 28.02.07 ; publ. 10.07.07. Bull. in № 19.
9. Heat exchange element: patent 170207 of the Rus. Federation. № 2016133786; decl. 17.08.16 ; publ. 18.04.17. Bull. in № 11.
10. Heat exchange element: patent 164319 of the Rus. Federation. № 2015134595 ; decl. 17.08.15 ; publ. 27.08.16. Bull. in № 24.

УДК 66.041.45

Таймаров М.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: taimarovma@yandex.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

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Теплогенерирующий агрегат с выработкой пиролизного газа

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является исследование теплотехнических характеристик спроектированного и изготовленного комбинированного теплогенерирующего агрегата для использования в системах отопления. Агрегат позволяет получать древесный уголь и пиролизный газ из исходного древесного сырья.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что с повышением температуры пиролиза от 400 °С до 600 °С возрастает содержание водорода в составе пиролизного газа, что вызывает снижение теплотворной способности пиролизного газа, получаемого при температуре 600 °С. Оптимальным значением температуры для получения пиролизного газа является температура 500 °С, при которой интенсивность образования водорода невелика по сравнению с количеством образующегося метана.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в возможности сооружения котельных установок, которые в качестве рабочего топлива будут использовать пиролизный газ. Процесс получения пиролизного газа необходимо проводить при температурах около 500 °С, при которых в составе пиролизного газа доля метана составляет около 20 % по массе, а доля водорода – около 15 %. При использовании пиролизного газа в качестве газообразного топлива, сжигаемого при 600 °С (доля водорода составляет 21 %), необходимы специальные горелки ввиду высокой скорости горения водорода по сравнению со сжиганием метана. Пиролизный газ с повышенным содержанием водорода до 21 % имеет более широкие пределы воспламенения в смеси с воздухом по сравнению с пиролизным газом, полученным при температурах около 500 °С.

Ключевые слова: пиролиз, пиролизный газ, состав, метан, оксид углерода, водород, древесина, температура, теплотворная способность, избыток воздуха, предел воспламенения.

Введение

Использование древесины для теплотехнических целей возможно двумя способами: прямым сжиганием и с применением термохимического разложения. Второй способ подразделяется по подводу теплоты на процессы с внутренним и внешним теплоносителем. В теплоэнергетических агрегатах с внутренним теплоносителем (газогенераторах) горючая часть древесины превращается в газообразное топливо полностью путем воздействия на нее кислорода воздуха, водяного пара и двуокиси углерода или их смесей при высокой температуре. Этот процесс называется газификацией, а получаемый газ – генераторным газом. Прямой процесс газификации характеризуется встречным движением древесины (сверху вниз) и воздуха, а также генераторного газа (снизу вверх). При обратном процессе газификации направление движения воздуха и газа совпадает с направлением движения древесины. Обратный процесс газификации упрощает очистку генераторного газа от смол, пыли, воды и применяется для газификации топлив с большим выходом летучих компонентов [1-4].

В теплоэнергетических агрегатах с внешним теплоносителем термохимическое разложение древесины происходит при нагреве без подвода воздуха, и процесс

называется сухой перегонкой или пиролизом древесины, а образующаяся газообразная смесь называется пиролизным газом. Теплотворная способность генераторного газа ниже, чем пиролизного газа.

При процессе прямого сжигания древесины в области горения протекают две взаимосвязанных и взаимоисключающих стадии – пиролиз древесины и горение продуктов пиролиза, которые неразрывно связаны и не имеют четкой границы между ними. При прямом сжигании древесины, особенно с повышенным содержанием влаги, невозможно получить высокие температуры.

При сжигании пиролизного газа, полученного из древесины, такие температуры вполне достижимы. При сжигании газа требуется меньшее количество избыточного воздуха по сравнению с кусковой древесиной. При этом увеличивается температура горения и полнота использования химической энергии, содержащейся в топливе. Процесс сжигания пиролизного газа технически легче автоматизировать. В рамках Киотского протокола, который подписала Россия, в пользу возобновляемых видов топлива установлены ежегодные сокращаемые квоты на использование минеральных топлив [5-8]. Выход и свойства газообразных и парообразных продуктов пиролиза древесины, помимо химического состава и влажности древесины сильно зависят параметров технологического процесса, в частности от температуры и скорости подвода теплоты для поддержания температурного уровня процесса пиролиза. Полученные в результате пиролиза пары смолы, уксусную кислоту, газы и древесный уголь можно использовать в качестве сырья для получения ценных химических продуктов. При сгорании пиролизного газа выделяется значительное количество теплоты, превышающее затраченную теплоту на нагрев древесины, подвергающейся пиролизу.

Пиролиз древесины осуществляется по двум методам: сухой пиролиз и окислительный.

Метод сухого пиролиза (сухой перегонки древесины) проводится без доступа в процесс кислорода. Процесс, направленный на термохимическое разложение древесины при ее частичном сжигании или под воздействием высоких температур в среде горячих дымовых газов называется окислительным пиролизом. Для сухого пиролиза существует три температурных режима: низкотемпературный при 450-550 °С, среднетемпературный при 800 °С и высокотемпературный при 900-1050 °С. Низкотемпературный пиролиз позволяет получить при максимальном количестве жидкого и твердого остатка (угля) достаточное количество пиролизного газа с максимальным значением теплоты сгорания. Среднетемпературный пиролиз характеризуется повышенным выходом газа с меньшей теплотворной способностью и небольшим количеством кокса и жидкого остатка. Высокотемпературный пиролиз характеризуется минимальным выходом жидких и твердых остатков и максимальным количеством вырабатываемого газа с минимальным значением теплоты сгорания [8-11].

Поэтому совершенствование технологии сжигания с использованием термохимического разложения древесины являются актуальными для практического применения. В данной статье рассматривается технология и агрегат для низкотемпературного пиролиза древесины.

Теоретическое обоснование технологии низкотемпературного пиролиза

Термохимическое разложение древесины при низкотемпературном пиролизе происходит при температурах в диапазоне 200-500 °С с выделением тепла в определенном температурном диапазоне, при котором процесс экзотермический, в связи с чем облегчается прогрев всей массы древесины, загруженной для пиролиза. В области температур 200 °С, начинается выделение газов оксида углерода СО и углекислого газа СО₂. Парогазовая смесь, состоит из газов, которые представляют собой соединения углерода, водорода, пары смолы, уксусной древесной кислоты СН₃СООН и паров воды. Смола – это смесь различных сложных веществ, жидкая, вязкая, твердая при комнатной температуре. Смола горит с выделением большого количества тепла, а при нагревании испаряется, образуя газообразный продукт.

Процесс разложения древесины при пиролизе разделяется на четыре этапа: 1) сушку; 2) начало разложения; 3) образование, испарение и возгонку основного

количества продуктов разложения древесины при 270-450 °С с активным выделением тепла экзотермического процесса; 4) прокаливание угля до конечной температуры обычно не выше 550-600 °С и удаление остатков летучих веществ. Кроме третьего этапа, для всех остальных необходим внешний подвод теплоты. Тепловой эффект процесса термораспада древесины зависит от условий проведения пиролиза и от конструкции теплогенерирующего агрегата. В среднем значение низшего теплового эффекта составляет 1000-1250 кДж/кг или 5-6 % от теплоты сгорания исходной древесины [8-11].

На количество и качество выхода продуктов пиролиза древесины влияют два параметра: температура и скорость пиролиза. С ростом температуры скорость пиролиза увеличивается и наоборот. На скорость пиролиза косвенно влияет размер кусков, порода дерева и влажность древесины. По скорости нагрева сырья различают быстрый, медленный пиролизы и карбонизацию. Длительность процесса термохимической конверсии древесины при быстром пиролизе равна одной секунде, при медленном пиролизе составляет от 5 до 30 минут, при карбонизации – 1...24 часа. В настоящее время низко температурный быстрый пиролиз является перспективной технологией термохимической конверсии древесины со значительным потенциалом, особенно для высокого выхода жидкого топлива и химических продуктов.

Описание экспериментальной установки и условий проведения экспериментов

Схема теплогенерирующего агрегата, изготовленного для экспериментального исследования процессов термохимической конверсии древесины при низкотемпературно пиролизе приведена на рис. 1.

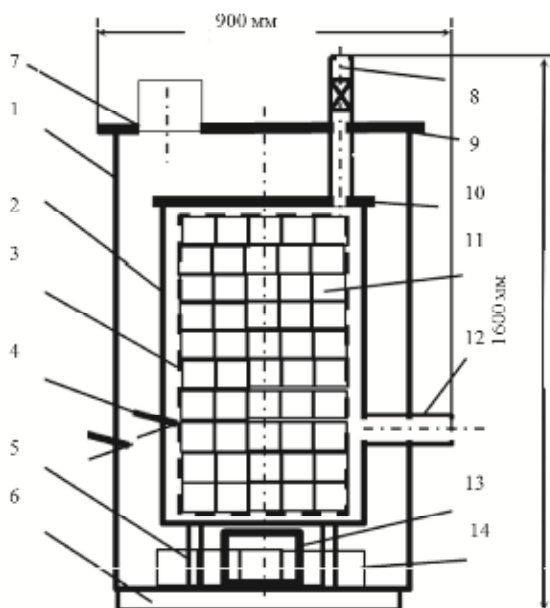


Рис. 1. Схема теплогенерирующего агрегата для термохимической конверсии древесины:
1 – наружный кожух отопительной камеры, 2 – кожух пиролизного реактора, 3 – съемная реторта,
4 – термопара, 5 – опора пиролизного реактора, 6 – огнеупорное основание отопительной камеры,
7 – выходное отверстие под дымовую трубу отопительной камеры,
8 – продувочный патрубок пиролизного реактора, 9 – съемная крышка отопительной камеры,
10 – съемная крышка пиролизного реактора, 11 – кусковая древесина для пиролиза,
12 – патрубок выхода пиролизных газов, 13 – загрузочный топливный люк отопительной камеры,
14 – кусковая древесина для отопления кожуха пиролизного реактора

Теплогенерирующий агрегат (рис. 1) для термохимической конверсии древесины состоит из двух коаксиально расположенных цилиндрических стальных кожухов отопительной камеры 1 и пиролизного реактора 2, закрываемых съемными крышками 9, 10. Кусковая сосновая древесина с влажностью 20 % и с размерами 100×100×100 мм в экспериментах загружается с помощью съемной сеточной стальной реторты в количестве

12 кг вовнутрь кожуха реактора 2. Через люк 13 загружается топливо в виде кусковой древесины 14 в количестве, обеспечивающем непрерывное интенсивное горение в течение двух часов. Первоначальная загрузка составляла 35 кг и осуществлялась, включая концентрическую полость между кожухами 1 и 2. После загрузки топлива и древесины для пиролиза крышки 9, 10 закрывались, ввертывался посредством резьбы в крышке 10 продувочный патрубок 8 и устанавливалась в отверстие 7 съемная дымовая труба (на рис. 1 позицией не обозначена). Производился розжиг отопительной древесины 14 через люк 13. Контроль температуры внутри и снаружи кожуха 2 пиролизного реактора проводился с помощью хромель-алюмелевых термопар 4, расположенных на высоте 20 см от дна реактора в стальных гильзах. Начало стадии сушки древесины и последующих стадий контролировалось через продувочный патрубок 8. Начало выделения пиролизных газов контролировалась по самовоспламенению пиролизного газа через патрубок 12, с помощью которого осуществлялся анализ состава пиролизного газа при помощи газоанализатора «Ока» в исполнении И11. Для поддержания интенсивности процесса низкотемпературного пиролиза по мере выгорания древесины для отопления осуществлялось пополнение ее количества через отверстие 7 при снятой дымовой трубе. Осуществлялось определение выхода летучих веществ путем отбора проб кусковой древесины 11 при снятой дымовой трубе и кратковременно снятых крышках 9, 10 и вывернутом патрубке 8. Эксперименты на агрегате проведены в полевых условиях при температуре наружного воздуха + 1 °С. Систематическая погрешность измерения температуры процесса пиролиза составляла $\pm 1,7\%$, погрешность определения состава пиролизного газа по содержанию кислорода составляла $\pm 1\%$. Низшая теплотворная способность пиролизного газа $Q_{н}^p$ (кДж/м³) определялась как сумма произведений тепловых эффектов компонентов горючих газов на их количество по формуле:

$$Q_{н}^p = 126,4 \text{ CO} + 107,9 \text{ H}_2 + 358,8 \text{ CH}_4 + 590,6 \text{ C}_2\text{H}_4 + 643,6 \text{ C}_2\text{H}_6 + 931,8 \text{ C}_3\text{H}_8 + 1731,7 \text{ C}_6\text{H}_{14}, \quad (1)$$

где CO, H₂, CH₄, C₂H₄ и т.д. – объемное содержание газообразных горючих компонентов в смеси, %.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 приведены экспериментальные данные по зависимости температуры снаружи $t_{сн}$ и внутри $t_{вн}$ пиролизного реактора и доли выхода летучих V^{daf} от времени $t_{п}$ пиролиза.

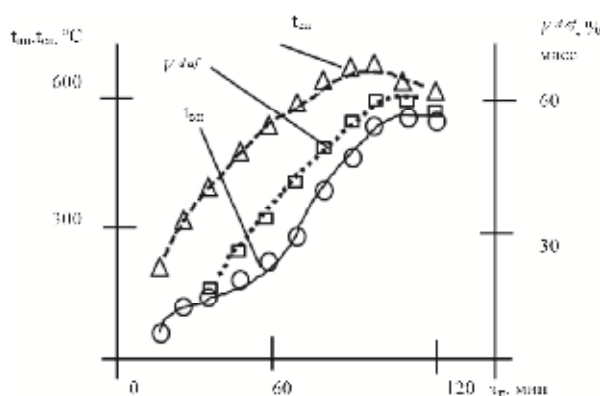


Рис. 2. Зависимость температуры внутри $t_{вн}$ и снаружи $t_{сн}$ реактора, доли выхода летучих V^{daf} от времени $t_{п}$ пиролиза

Как видно из рис. 2, на графике изменения температуры внутри пиролизной реторты $t_{вн}$ в зависимости от времени от начала процесса $t_{п}$ наблюдаются 4 участка:

1. Интервал изменения температур $t_{вн}$ до 140 °С, который длится до 30 мин от начала процесса и при котором удаляется влага из древесины и происходит сушка древесины. Выхода летучих веществ V^{daf} не наблюдается и процесс эндотермический и идет с поглощением теплоты, состав древесины не изменяется. Температура в коаксиальном канале между кожухом отопительной камеры и кожухом реактора $t_{сн}$ превышает температуру $t_{вн}$ в среднем на 150-200 °С. Для сокращения времени процесса

сушки можно увеличить скорость подвода теплоты за счет интенсификации лучистого теплообмена между продуктами горения топлива и кожухом 2.

2. Интервал изменения температур $t_{\text{вн}}$ от 140 °С до 260 °С с длительностью до 60 мин от начала процесса с поглощением теплоты, при котором начинается выделение летучих веществ $V^{d\text{af}}$ в количестве до 25 % при температуре внутри реторты 260 °С с разложением гемицеллюлоз и отдельных фрагментов лигнина и образованием низкомолекулярных продуктов в виде оксида углерода, водорода, углекислого газа. Температура в коаксиальном канале между кожухом отопительной камеры и кожухом реактора $t_{\text{сн}}$ превышает температуру $t_{\text{вн}}$ в среднем на 300 °С.

3. Интервал изменения температур $t_{\text{вн}}$ от 260 °С до 490 °С с длительностью до 90 мин от начала при экзотермическом процессе с выделением теплоты, при котором происходит интенсивное выделение летучих веществ $V^{d\text{af}}$ в количестве до 60 % с разложением целлюлозы и лигнина с образованием основной массы продуктов распада и формирование структуры древесного угля в виде остатка. Температура в коаксиальном канале между кожухом отопительной камеры и кожухом реактора $t_{\text{сн}}$ превышает температуру $t_{\text{вн}}$ в среднем на 200 °С.

4. Интервал изменения температур $t_{\text{вн}}$ от 490 °С до 600 °С с длительностью до 120 мин от начала при суммарном эндотермическом процессе с поглощением теплоты, при котором выход летучих веществ прекращается. В этом интервале происходит прокалка угля с выделением остаточных функциональных групп от углеродного скелета древесины. Температура в коаксиальном канале между кожухом отопительной камеры и кожухом реактора $t_{\text{сн1}}$ превышает температуру $t_{\text{вн}}$ в среднем на 50 °С. Состав пиролизного газа, измеренный газоанализатором на выходе из патрубка 12 при различных температурах $t_{\text{вн}}$ внутри реактора, получен следующий (табл. 1).

Таблица 1

**Состав пиролизного газа и низшая теплотворная способность $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$
при пиролизе древесины в зависимости от температуры**

Температура процесса $t_{\text{вн}}$, °С	Содержание горючих компонентов в составе пиролизного газа, % объемных					Теплотворная способность пиролизного газа $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$, кДж/м ³
	H ₂	CO	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₆ H ₁₄	
200	4,0	0	0	0	0	431,6
300	4,5	0,5	0	0	0	548,75
400	4,6	29	2	2,6	2,3	11290
500	12	21,4	14,3	4,1	3,2	18490
600	21	21,3	14,2	4,0	2,9	18800

Как видно из табл. 1, рост содержания водорода от 12 до 21 % при повышении температуры пиролиза от 500 °С до 600 °С не приводит к существенному росту теплотворной способности пиролизного газа. Сильный рост теплотворной способности $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ наблюдается при повышении температуры от 400 °С до 500 °С и объясняется увеличением содержания метана CH₄, пропана C₃H₈ и гексана C₆H₁₄.

На рис. 3 приведены фотосъемки пламени от горения пиролизного газа на начало интенсивного выделения пиролизного газа при 580 °С и его конец при 600 °С в сравнении с пламенем от горения топливной древесины на выходе 7 (рис. 1) из отопительной камеры. Как видно из рис. 3, пламя от горения пиролизного газа значительно по интенсивности излучения превышает интенсивность излучения пламени от горения топливной древесины, что связано с более высокой теплотворной способностью пиролизного газа равной 17443-17735 кДж/кг (при плотности пиролизного газа 1,06 кг/м³) по сравнению с горением влажной (при влагосодержании 20 %) топливной сосновой древесины равной 14100 кДж/кг. Уменьшение объема пламени при горении пиролизного газа в конце процесса (рис. 3 б) по сравнению с объемом в начале связано с меньшим выходом доли летучих компонентов $V^{d\text{af}}$ в конце процесса при 600 °С по сравнению с началом.

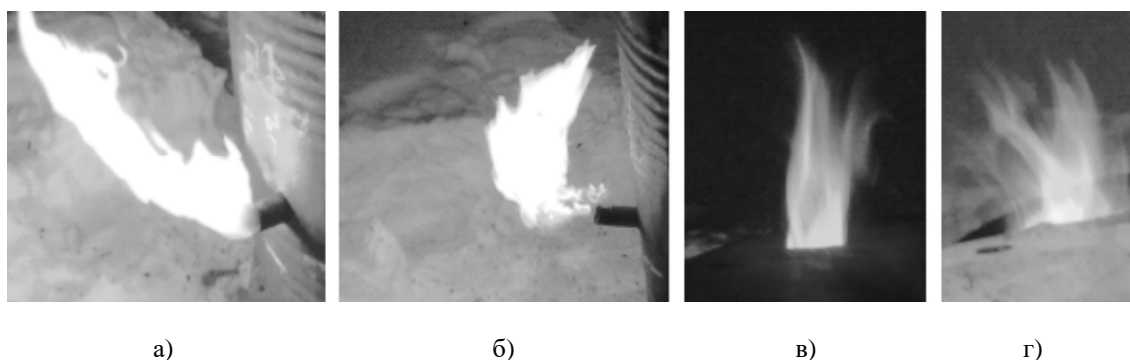


Рис. 3. Вид пламени от горения пиролизного газа на начало интенсивного выделения пиролизного газа при 580 °С (А) и его конец при 600 °С (Б) в сравнении с пламенем от горения топливной древесины на выходе 7 (рис. 1) из отопительной камеры на начало (В) и конец (Г) процесса интенсивного пиролиза

Относительные приращения теплоты сгорания DQ_n^p пиролизного газа и температуры в внутри реактора $Dt_{вн}$ в зависимости от температурного интервала процесса приведены на рис. 4. Как видно из рис. 4, для низко температурного пиролиза основной рост приращений теплоты сгорания DQ_n^p происходит в диапазоне 400...450 °С. Экзотермические реакции пиролиза в этой области дают заметный рост приращений температуры внутри пиролизного реактора $Dt_{вн}$. Повышение скорости подвода теплоты к пиролизному реактору приводит к более значительным приращениям DQ_n^p в области температур 400-450 °С.

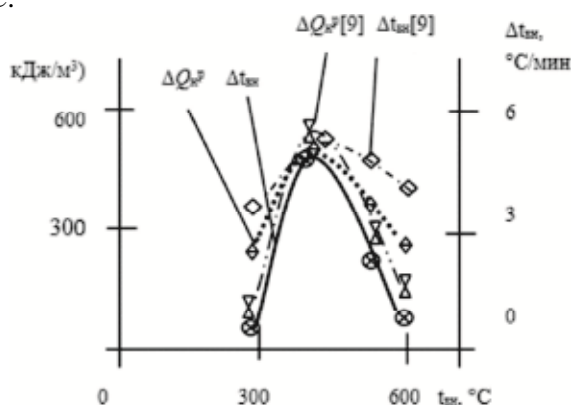


Рис. 4. Характеристики относительных приростов теплоты сгорания DQ_n^p пиролизного газа и приращений температуры $Dt_{вн}$ по промежуткам времени внутри пиролизного реактора для различных температурных интервалов в сравнении с данными других авторов [9]

Энергетический баланс пиролизного реактора при получении пиролизного газа из влажной древесины приведен в табл. 2.

Таблица 2

Энергетический баланс пиролизного реактора при получении пиролизного газа из влажной древесины

Приход			Расход		
Показатель	Значение		Показатель	Значение	
	МДж/кг	%		МДж/кг	%
Теплота химической энергии древесины	14,1	27,2	Теплота химической энергии пиролизного газа	17,7	34,2
Теплота на нагрев древесины	37,7	72,8	Теплота химической энергии угля	32,3	62,4
			Физическая теплота пиролизного газа	1,5	2,9
			Физическая теплота угля	0,3	0,6
			Невязка баланса		- 0,1
Итого	51,8	100	Итого	51,8	100

Как видно из табл. 2, в результате низкотемпературного пиролиза получают конечные качественные горючие продукты в виде пиролизного газа с теплотворной способностью 17,7 МДж/кг и древесного угля с теплотворной способностью 32,3 МДж/кг при использовании в качестве исходного сырья – древесины с влажностью 20 % и с теплотворной способностью 14,1 МДж/кг. Коэффициент использования древесины в качестве топлива для отопления пиролизного реактора составляет 72,8 %, что подтверждает экономичность использования древесины с влажностью 20 % для получения пиролизного газа и древесного угля.

Выводы

1. Для отопительных целей получение пиролизного газа из древесины методом низкотемпературного пиролиза в области температур 400-500 °С является предпочтительным по сравнению с пиролизом в области температур свыше 600 °С, так как приращение теплотворной способности с повышением температуры невелико и подводимая теплота используется на увеличение содержания водорода в составе пиролизного газа.

2. Коэффициент использования древесины с влажностью 20 % в качестве топлива и сырья для работы пиролизного реактора составляет в 72,8 %, что приемлемо для практического применения предложенной схемы и технологии.

Список библиографических ссылок

1. Басков В. Н., Панцхава Е. С. Моторные биотоплива: состояние и перспективы развития технологии в мире и в России // Теплоэнергетика. 2013. № 4. С. 43–47.
2. Султангузин И. А., Замерград В. Э., Карасевич В. А., Албул А. В., Федюхин А. В. Оптимизация использования природного газа и возобновляемых источников энергии в энергетических компаниях // Наука и техника в газовой промышленности. 2013. № 1. С. 63–76.
3. Ahrenfeldt J., Thomsen T. P., Henriksen U., Clausen L. R. Biomass gasification cogeneration. A review of state of the art technology and near future perspectives // Applied Thermal Engineering. 2013. № 50. P. 1407–1417.
4. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory. Burlington: Elsevier, 2010. 352 p.
5. Buljit B., Pinakeswar M., Vijayand S. M. Thermodynamic optimization of biomass gasification for decentralized power generation and Fischere-Tropsch synthesis // Energy. 2010. № 35. P. 2557–2579.
6. François J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // Chemical engineering transactions. 2012. № 29. P. 769–774.
7. Idris S. S., Rahman N. A., Ismail K., Alias A. B., Rashid Z. A., Aris M. J. Investigation on thermochemical behavior of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA) // Bioresource Technology. 2010. № 101. P. 4584–4592.
8. Ramzan N., Ashraf A., Naveed S., Malik A. Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste // Biomass and Bioenergy. 2011. № 35. P. 3962–3969.
9. Rui Lou, Shu Bin Wu. Products properties from fast pyrolysis of enzymatic/mild acidolysis lignin // Applied Energy. 2011. № 88. P. 316–322.
10. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. № 21. P. 371–392.
11. Uisung L., Elango B., Chung J. N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // Applied Energy. 2013. № 101. P. 699–708.

Taymarov M.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: taimarovma@yandex.ru

Kazan State Power 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

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The heat generating unit with the pyrolysis gas generation

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to study the thermal characteristics of a designed and manufactured combined heat-generating unit for use in heating systems. The unit allows to receive charcoal and pyrolysis gas from the raw wood raw material.

Results. The main results of the study are that with an increase in the pyrolysis temperature from 400 °C to 600 °C, the hydrogen content of the pyrolysis gas increases, which causes a reduction in the calorific value of the pyrolysis gas obtained at a temperature of 600 °C. The optimum temperature for producing pyrolysis gas is a temperature of 500 °C, at which the intensity of hydrogen formation is small compared to the amount of methane formed.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of building boiler plants that use pyrolysis gas as the working fuel. The process of pyrolysis gas production must be carried out at temperatures of about 500 °C, in which the share of methane in the pyrolysis gas is about 20 % by mass, and the share of hydrogen is about 15 %. If the pyrolysis gas will use as a gaseous fuel burned at 600 °C (the proportion of hydrogen is 21 %), will need special burners because of the high rate of hydrogen burning compared to the combustion of methane. Pyrolysis gas with an increased hydrogen content of up to 21 % has wider ignition limits in a mixture with air compared to pyrolysis gas obtained at temperatures of about 500 °C.

Keywords: pyrolysis, pyrolysis gas, composition, methane, carbon monoxide, hydrogen, wood, temperature, calorific value, excess air, limit of ignition.

References

1. Baskov V. N., Pantskhava E. S. Motor biofuel: state and development prospects in the world and in Russia // *Teploenergetika*. 2013. № 4. P. 43–47.
2. Sultanguzin I. A., Zamerrad V. E., Karasevich V. A., Albul A. V., Fedyukhin A. V. Optimizing the use of natural gas and renewable energy sources in energy companies // *Nauka i tehnika v gazovoy promishlennosti*. 2013. № 1. P. 63–76.
3. Ahrenfeldt J., Thomsen T. P., Henriksen U., Clausen L. R. Biomass gasification cogeneration. A review of state of the art technology and near future perspectives // *Applied Thermal Engineering*. 2013. № 50. P. 1407–1417.
4. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory. Burlington: Elsevier, 2010. 352 p.
5. Buljit B., Pinakeswar M., Vijayand S. M. Thermodynamic optimization of biomass gasification for decentralized power generation and Fischere-Tropsch synthesis // *Energy*. 2010. № 35. P. 2557–2579.
6. François J., Abdelouahed L., Mauviel G., Feidt M., Rogaume C., Mirgaux O., Patisson F., Dufour A. Estimation of the energy efficiency of a wood gasification CHP plant using Aspen Plus // *Chemical engineering transactions*. 2012. № 29. P. 769–774.
7. Idris S. S., Rahman N. A., Ismail K., Alias A. B., Rashid Z. A., Aris M. J. Investigation on thermochemical behavior of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their

- blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA) // *Bioresource Technology*. 2010. № 101. P. 4584–4592.
8. Ramzan N., Ashraf A., Naveed S., Malik A. Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste // *Biomass and Bioenergy*. 2011. № 35. P. 3962–3969.
 9. Rui Lou, Shu Bin Wu. Products properties from fast pyrolysis of enzymatic/mild acidolysis lignin // *Applied Energy*. 2011. № 88. P. 316–322.
 10. Shen Y., Yoshikawa K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. № 21. P. 371–392.
 11. Uisung L., Elango B., Chung J. N. An experimental evaluation of an integrated biomass gasification and power generation system for distributed power applications // *Applied Energy*. 2013. № 101. P. 699–708.



УДК 628.16.087

Захватов Г.И. – доктор технических наук, профессор

E-mail: avtel@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Роль некоторых дополнительных факторов в процессе электронейтрализации водных эмульсий

Аннотация

Постановка задачи. Статья посвящается исследованию некоторых дополнительных факторов, влияющих на эффективность процесса разделения водных эмульсий методом электронейтрализации. В качестве таких факторов рассматриваются ионная сила водной среды, время предварительной электрообработки эмульсии и время доотстаивания обработанной эмульсии.

Результаты. Установлено, что каждый фактор играет существенную роль в процессе электрообработки электронейтрализационным методом. Показано, что ионная сила водной среды с повышением значений от 0,04 и выше уменьшает эффективность процесса при низкой плотности тока ($0,1 \text{ Адм}^{-2}$). При высокой плотности тока (1 Адм^{-2}) ее влияние незначительно. Сделан практический вывод об использовании повышенных плотностей тока при обработке моющих и обезжиривающих растворов. Более существенно влияние предварительной электрообработки эмульсии данным методом. Результаты показывают, что после предварительной электрообработки эмульсии в тех же условиях, что и последующий процесс, разделение эмульсии происходит более эффективно. С увеличением времени проработки увеличение эффективности постепенно замедляется. Наибольший эффект достигается в первые 4-8 часов. Для установки с горизонтальной электродной системой увеличение эффекта в начальный период происходит более резко. Доотстаивание после электрообработки также повышает эффект разрушения устойчивости эмульсии данным методом. Результаты показывают возрастание эффекта разделения эмульсии путем дополнительного отстаивания в течение первых 3-10 часов.

Выводы. Результаты исследования позволяют существенно повысить эффективность электронейтрализационного метода для его использования в системах водоотведения предприятий строительной индустрии и других объектах. Даны конкретные рекомендации для улучшения качества очистки сточных вод и для регенерации различных технологических растворов.

Ключевые слова: электрообработка, водные эмульсии, очистка сточных вод, электронейтрализационная обработка.

Существующие методы электрообработки водных систем (вода, водные растворы и стоки) играют существенную роль в процессах очистки их от различных загрязнений. Используются, в основном, методы электрокоагуляции и электрофлотации [1-5]. Метод электронейтрализации, хотя и имеет ряд преимуществ, используется сравнительно редко [6-8]. Одной из причин является нетрадиционное направление в этой области, связанное с использованием переменного электрического тока. Работы в этом направлении встречаются крайне редко. Обычно исследуется процесс электрокоагуляции с использованием растворимых электродов. Меньшая изученность электронейтрализационного метода вызывает необходимость изучения влияния различных факторов на процесс электрообработки. Количество этих факторов достаточно велико. Часть из них уже исследовалась автором [9-10]. В этой статье рассматривается роль некоторых дополнительных факторов, связанных со свойствами водной среды и факторов, выявленных в процессе практического использования электронейтрализационного метода: влияние предварительной электрообработки эмульсий и их последующего отстаивания после электрообработки.

Поскольку метод на практике используется, в основном, для очистки сточных вод от нефтепродуктов [6, 7], для исследований были выбраны эмульсии на основе промышленных масел и бензина. Эти компоненты являются одними из наиболее часто встречающихся в сточных водах. Лабораторные испытания проводились как на установках с вертикальной, так и горизонтальной электродной системой, поскольку промышленные установки используют и ту и другую конструкцию. Основной электрический параметр – электродная плотность тока, была выбрана в диапазоне оптимальных значений, установленных ранее на основе экспериментальных данных. По этому же принципу была выбрана межэлектродная дистанция. Линейная скорость движения эмульсии в межэлектродном пространстве является важным гидродинамическим фактором в процессе. Она была выбрана в диапазоне 1-5 см·мин⁻¹, что обеспечивает наибольшую эффективность процесса при прочих равных условиях.

Эмульсии готовились электромеханическим методом. Для отделения неустойчивой части эмульсии после этого выдерживалась в течение суток. Экспериментальные данные получены путем двух-трехкратного дублирования. Установки практически не имели зоны доотстаивания. Для определения эффекта дополнительного отстаивания после электрообработки использовались простейшие отстойники, позволяющие отделить отстаившуюся часть от всплывшего масла или бензина.

Данные по эффекту дополнительного доотстаивания были получены ранее. Здесь они приведены для того, чтобы их обсудить совместно с влиянием других факторов, которые можно отнести к дополнительным, поскольку они лишь косвенно связаны с механизмом процесса. Тем не менее изучение этих факторов также важно, поскольку они, в конечном итоге влияют на эффективность процесса.

На рис. 1 представлены данные, показывающие влияние ионной силы водной среды i на эффективность процесса электрообработки методом электронейтрализации.

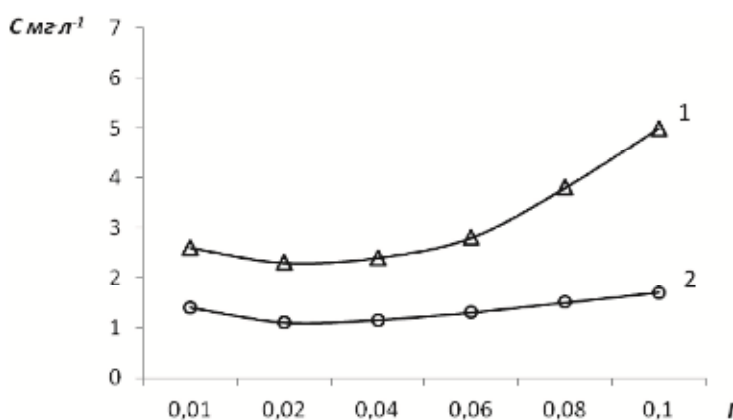


Рис. 1. Зависимость остаточного содержания масла в воде при обработке водных эмульсий масла И-20 от ионной силы воды.
 $C_{нач.} = 46 + 2 \text{ мг·л}^{-1}$, $v = 8 \text{ см·мин}^{-1}$, $d = 8 \text{ см}$. 1 – для $I = 0,1$, 2 – для $I = 1,0 \text{ А·дм}^{-2}$

Ионная сила эмульсии рассчитывалась теоретически. С этой целью использовалась дистиллированная вода, в которой растворилось фиксированное количество хлористого натрия. При относительно небольших концентрациях NaCl ионная сила может быть рассчитана суммированием по отдельным компонентам – ионам натрия и хлора. Индустриальное масло И-40 эмульгировалось в данной воде обычным электромеханическим способом. После этого эмульсия выдерживалась в течение суток. В эксперименте использовались две плотности тока: 0,1 А·дм⁻² и 1,0 А·дм⁻². Они охватывают весь диапазон плотностей тока, используемых на практике.

На рис. 1 приведены данные зависимости остаточного содержания масла И-20 в обработанной методом электронейтрализации эмульсии от ионной силы воды при двух плотностях тока. Влияние ионной силы на эффективность процесса особенно заметно при низкой плотности тока 0,1 А·дм⁻². При этом остаточное содержание масла существенно

возрастает с увеличением ионной силы эмульсии. При высокой плотности тока влияние ионной силы очень незначительно. Полученные результаты можно интерпретировать, исходя из теоретических соображений, связанных с механизмом действия электронейтрализационного метода. Согласно этим представлениям разрушение устойчивости водных эмульсий в переменном электрическом поле объясняется разрушением электрического заряда частиц, препятствующего их флокуляции. Этот электрический заряд образуется за счет специфической адсорбции анионов воды, заряжающих частицы отрицательно. Отрицательный заряд частиц можно обнаружить под микроскопом при наложении на эмульсию постоянного электрического поля. Это было зафиксировано, в частности, на экспериментальном комплексе «Parmoquant-2». Под действием электрического поля все частицы движутся к положительному электроду. В переменном электрическом поле происходит осцилляция заряда частиц, в результате чего связь заряда частиц с самой частицей теряется, она становится нейтральной. Нейтральные частицы, в отличие от одноименно заряженных частиц не отталкиваются, а, наоборот, способны флокулировать за счет термокинетических сил и сил Ван-дер-Ваальса.

Разрушение электрического заряда частиц под действием переменного электрического поля доказано экспериментально. В результате флокуляции частиц устойчивость эмульсии нарушается, поскольку флотационный эффект крупных частиц становится значительно больше термокинетического, определяющего устойчивость эмульсии. Переходя к влиянию ионной силы воды очевидно можно полагать, что электрический заряд частиц эмульсии будет возрастать с увеличением концентрации анионов и последующей адсорбции. Логично полагать, что силовое разрушение такого заряда требует больших энергетических затрат, то есть эмульсия становится более устойчивой. В этом случае разрушаются заряды только у менее заряженных частиц и, как следствие, флокуляция осуществляется у меньшего количества частиц. Следовательно, и разделение эмульсии становится менее полным. В этой связи понятно значительное меньшее влияние ионной силы при высокой плотности тока. Энергетическое воздействие поля при высоких плотностях тока способно разрушить электрический заряд даже у сильнозаряженных частиц.

Полученные результаты позволяют сделать важный практический вывод. В случае использования электронейтрализационного метода для эмульсий с высокой ионной силой необходимо использовать повышенную электродную плотность тока. Это, например, относится к моющим растворам, растворам обезжиривания и другим. Следует отметить, что использование повышенных плотностей тока в этих случаях не будет приводить к высоким энергетическим затратам, так как эти растворы обладают высокой электропроводностью, а следовательно, при электрообработке напряжение не будет высоким.

Опыт практического использования метода для очистки сточных вод от нефтепродуктов привел к констатации влияния еще одного фактора – влияния предварительной обработки водных систем на эффективность процесса очистки. Как было неоднократно установлено, уровень очистки со временем увеличивается. Это потребовало лабораторного исследования этого эффекта. В частности, необходимо было выяснить, какое время необходимо для получения устойчивых результатов. При проведении экспериментов сложностью было получение большого количества устойчивой эмульсии. В этой связи, эмульсия после приготовления выдерживалась не одни сутки а 3 суток. Изменение концентрации органического компонента показало, что в процессе эксперимента изменение концентрации не превышало $0,5 \text{ мг л}^{-1}$.

Для эксперимента использовались эмульсии на основе индустриального масла и бензина И-98. В эксперименте использовались установки с 10-электродной системой. Поскольку на практике используются установки с горизонтальной и вертикальной электродными системами, то и в опытах использовались установки обоих типов. Следует отметить, что в этих установках отсек для дополнительного отстаивания практически отсутствовал. Это было важно для того, чтобы исключить эффект доотстаивания в начальный период, что, как показывается в дальнейшем, имеет существенное значение. Все остальные параметры при электрообработке были выбраны на уровне тех, что и при использовании промышленных установок.

На рис. 2 представлены результаты этих исследований, хотя и не в полном объеме.

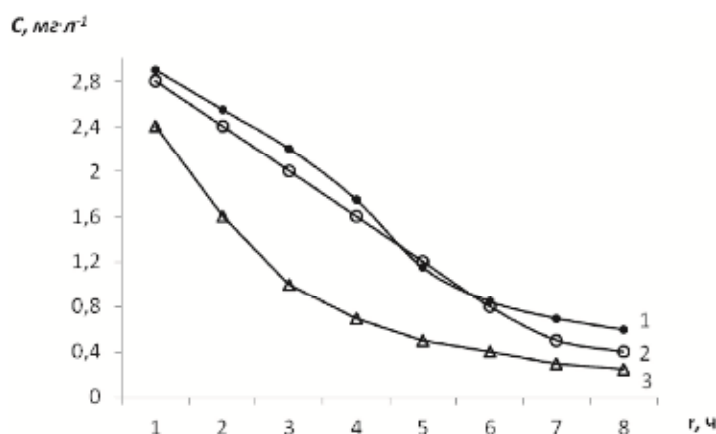


Рис. 2. Влияние времени проработки на остаточное содержание нефтепродуктов:

1 – установка с вертикальными электродами:

обрабатывалась эмульсия масла И-40 с $C_{нач.} = 10,4 \text{ мг/л}$, $v = 1 \text{ см/мин}$, $d = 4 \text{ см}$;

2 – эмульсия бензина И-98 с $C_{нач.} = 10,8 \text{ мг/л}$, $v = 2 \text{ см/мин}$, $d = 4 \text{ см}$;

3 – то же, что и 2, но для установки с горизонтальными электродами

Как видно из приведенных данных, предварительная проработка эмульсии во всех случаях очень существенно улучшает эффективность процесса. Наиболее существенно она сказывается после первых часов электрообработки. Здесь необходимо отметить, что предварительная электрообработка проводилась в тех же условиях, что и основная. Анализ кривых на рис. 2 показывает, что наибольший эффект снижения остаточного содержания органического компонента достигается в первые 2-4 часа, затем процесс постепенно замедляется. Как уже отмечалось, при практическом применении метода наблюдается такая же закономерность. После 6-8 часов предварительной электрообработки достигается максимальный эффект. Если судить по приведенным данным, дальнейшая предварительная электрообработка бесполезна. На практике, однако, возможны исключения, поскольку сточные воды по своему составу и концентрации органических компонентов могут очень сильно изменяться, поэтому результаты анализов могут стабилизироваться после суток непрерывной работы установок.

Как видно из данных рис. 2, для установок с горизонтальной электродной системой эффективность процесса с увеличением времени предварительной электрообработки возрастает более резко и стабилизируется быстрее. Это, очевидно, связано с другой гидродинамикой процесса.

Как можно объяснить столь существенное влияние предварительной электрообработки? На наш взгляд, объяснением этому может служить контактный эффект. Наличие контактного эффекта было установлено экспериментально. С этой проводилась электрообработка эмульсии в установках двух типов. В одной установке электроды устанавливались параллельно движению эмульсии, в другой установке перфорированные электроды устанавливались перпендикулярно движению. Все параметры электронейтрализационной обработки в обеих установках были идентичными. Как показали анализы, после электрообработки, содержание масла в обработанных эмульсиях резко отличается. При этом, эффективность разделения эмульсии в установке, электродная система которой располагалась перпендикулярно движению эмульсии, была в 4 раза выше. Не вызывает сомнений, что контактный эффект в установке, электроды которой располагаются перпендикулярно движению эмульсии гораздо больше, поскольку с электродной поверхностью контактирует почти вся масса эмульсии. В установке же другого типа эмульсия движется параллельно электродной поверхности и контактный эффект наблюдается только у небольшого слоя, прилегающего к электродной поверхности.

В приэлектродной области наблюдается резкий скачок потенциала (зона двойного электрического слоя). Этот скачок потенциала обеспечивает энергетическое воздействие на частицы эмульсии намного большее, чем в объеме. Таким образом, разрушение электрического заряда частиц в приэлектродной зоне должно проходить в этом случае

наиболее эффективно. А это является основным механизмом разрушения устойчивости эмульсии методом электронейтрализации. Тогда возникает вопрос, почему этот эффект постепенно усиливается во времени и лишь при достижении определенного временного интервала стабилизируется. Объяснением этому явлению может служить экспериментально обнаруженный факт образования пленки на электродной поверхности («замасливание» электродов). Этот факт наблюдается при выполнении регламентных работ после выемки электродных модулей из установок, проработавших год или более. Толщина пленки довольно мала (значительно меньше 1мм.). Таким образом, можно констатировать что на электродных поверхностях происходит адсорбция масла или другого компонента эмульсии. Таким образом, можно сделать вывод, что электронейтрализованные частицы эмульсии на поверхности электрода сорбируются и образуют поверхностную пленку. Образование поверхностной пленки усиливает адсорбцию, уже, в данном случае, самой пленкой. Очевидно, с течением времени эффективность процесса возрастает с увеличением слоя поверхностной пленки, пока ее толщина не стабилизируется. Стабилизация слоя может быть вызвана флотирующим эффектом наружного слоя пленки, в связи с этим наступает какое-то равновесие и процесс стабилизируется.

Дополнительным фактором, увеличивающим, в конечном счете, эффективность процесса электронейтрализации, является дополнительное отстаивание после электрообработки. Влияние такого фактора показано на рис. 3.

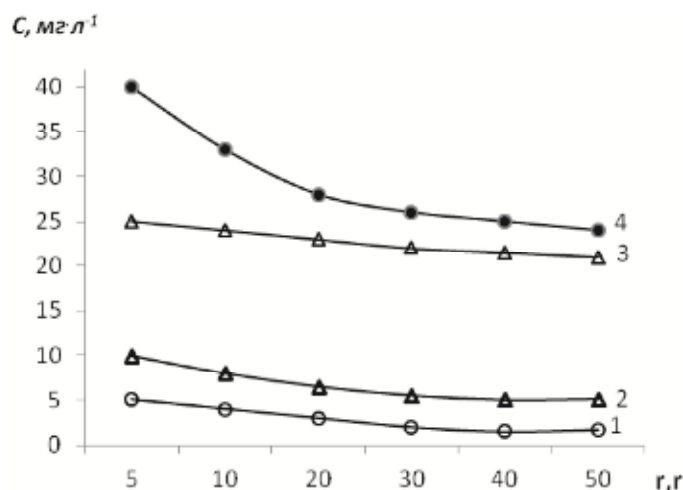


Рис. 3. Кинетика отстаивания эмульсии масла И-40 (кривые 1, 4), И октана – (2, 3).
3, 4 – естественное отстаивание; 1, 2 – после электрообработки в условиях:
 $I = 0,4 \text{ А дм}^{-2}$, $v = 5 \text{ см мин}^{-1}$, $d = 5 \text{ см}$. $C_{\text{нач.}} = 68 \text{ мг л}^{-1}$ – эмульсия октана;
 $C_{\text{нач.}} = 91 \text{ мг л}^{-1}$ – эмульсия масла И-40

Для сравнения здесь же приведены кривые естественного отстаивания эмульсий масла И-40 и октана (кривые 3, 4). Как при естественном отстаивании, так и после электрообработки (кривые 1, 2) эффект наблюдается в течение первых 20-30 часов. Однако наибольшее изменение наблюдается в течение первых 5-10 часов. Объяснение этого эффекта для обоих случаев может быть, по-видимому, одинаковым. В процессе отстаивания происходит флокуляция наиболее крупных частиц, что приводит к их последующей флотации, и тем самым, увеличивается эффект разделения эмульсии. Для разных видов эмульсий он может быть разным – более или менее выраженным, но временной фактор, скорей всего, будет ограничен 20-30 часами. Это подтверждает правильность выбранного временного интервала (одни сутки) после эмульгирования. Можно также сделать и практический вывод: для повышения эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов желательнее, если есть возможность, использовать дополнительный отстойник.

Выводы. Влияние всех трех исследованных дополнительных факторов на процесс разделения эмульсий типа «масло-вода» электронейтрализационным методом достаточно существенно. Рассмотренные факторы непосредственно не связаны с механизмами

процесса и их влияние определяется другими явлениями, сопутствующими процессу. Особенно велика роль предварительной электрообработки данным методом. Наибольшая эффективность достигается в течение первых 3-5 часов электрообработки. Это объяснено контактным эффектом – разрушением поверхностного заряда частиц в приэлектродной зоне с образованием адсорбционной пленки на поверхности электрода.

Величина ионной силы воды также влияет на эффективность процесса. С возрастанием ионной силы эффективность процесса электрообработки снижается. Это объяснено увеличением заряда частиц за счет возрастания адсорбции анионов воды частицами эмульсии, что повышает их устойчивость. Однако при высоких электродных плотностях тока влияние ионной силы на процесс весьма незначительно. Это позволяет сделать вывод, объясняющий этот факт тем, что энергетическое воздействие электрического поля при высоких плотностях тока достаточно для электронейтрализации заряда даже у сильно заряженных частиц. Отсюда следует вывод о необходимости использования повышенных плотностей тока для электрообработки данным методом мутных растворов, растворов обезжиривания и других растворов, образующих эмульсии.

Дополнительное отстаивание после электрообработки также увеличивает эффект разделения эмульсии. В этом случае отстаивание наиболее существенно сказывается в первые 20-30 часов. В связи с этим обстоятельством рекомендовано при наличии возможности, использовать дополнительный отстойник.

Список библиографических ссылок

1. Ouaisa Y. A., Chabani M., Amrane A., Bensmaili. Remoral of tetracycline by electrocoagulation: kinetic and isotherm modeling through adsorption // Round of Environment Chemistry Engineering. 2011, № 2. P. 177–181.
2. Vasudevan S., Lakshmi. G. Sozhan J. Electrochemically assisted coagulation for the removal of boron from water using zinc anode // Desalination. 2013, № 310. P. 122–129.
3. Nondi B. K., Patel S. Removal of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminium electrodes: experimental, kinetics, modeling // Separation Science technology. 2014, № 49. P. 601–612.
4. Mansour S. E., Hasilb H. A., Khalaf H. A. Removal of cobalt from drinking water by alternating current electrocoagulation techniques // Journal of Applied Science. 2012, № 12. P. 787–792.
5. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies // Desalination. 2010, № 250. P. 573–577.
6. Захватов Г. И., Никитин Ю. В. Использование электронейтрализационного метода очистки стоков от нефтепродуктов на предприятиях электроэнергетики // Энергетик. 2015, № 7. С. 33–35.
7. Захватов Г. И. Опыт очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ в энергетике // Известия КГАСУ. 2013. № 4. С. 251–256.
8. Захватов Г. И. Регенерация растворов как метод создания замкнутых технологических циклов // Известия КГАСУ. 2011, № 2. С. 262–265.
9. Захватов Г. И. Влияние pH среды на устойчивость водных эмульсий при электрообработке // Успехи современной науки. 2016. № 11. т. 14. P. 170–173.
10. Захватов Г. И. Влияние электрических и физических факторов на процесс электронейтрализационной очистки водных эмульсий // Научные исследования. 2016. № 10. С. 15–23.

Zakhvatov G.I. – doctor of technical science, professor

E-mail: avtel@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The role of some addition factors in electro neutralization process of water emulsions

Abstract

Problem statement. The article have a course to investigate some addition factors, influencing on the efficiency dividing of water emulsions by electro neutralization method. Such factors as the ion power of environment, the time of preliminary electro treatment of emulsion and the time of supplementary settlement are regarding.

Results. It is established, that every factor play a considerable role in electro treatment process by electroneutralization method. It is shown that ion power of water inviroment decrease the process efficiency with value 0,04 and more. For law current density ($0,1 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$). For higher current densities ($1 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$) her influence is negligible. The practical conclusion is made about using the greater current densities for treatment of detergent and degrades solutions. The preliminary treatment of emulsions by this method has more essential meaning. The results are showing that after preliminary treatment of emulsions in such conditions as next process the dividing of emulsion is more effective. The increasing of efficiency is gradually decreasing with the rise working time. The most effect is reaching for 4-8 hours. The increasing of efficiency occurs more sharply for supplies with horizontal electrode system. The supplement after electro treatment increase effect of emulsions dividing too. The results are showing the increasing of emulsion stability destruction for first 3-10 hours.

Conclusions. The results of investigation shall allow increase essentially of electroneutralization method efficiency for its using in canalization systems of building enterprises and another object. The effective recommendations are doing for improvement of quality for waste water cleaning and regeneration of different technology solutions.

Keywords: electro treatment, water emulsions, cleaning of waste water, electroneutralization treatment.

References

1. Ouaisa Y. A., Chabani M., Amrane A., Bensmaili. Remoral of tetracycline by electro-coagulation: kinetic and isotherm modeling through adsorption // Round of Ensiroment Chemistry Engineering. 2011, № 2. P. 177–181.
2. Vasuderan S., Lakshmi g., Sozhan J. Electrochemically assisted coagulation for the remoral of boron form water using zinc anode // Desalination. 2013, № 310. P. 122–129.
3. Nondi B. K., Patel S. Remoral of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminium electrodes: experimental, kinetics, modeling // Separation Science technology. 2014, № 49. P. 601–612.
4. Mansour S. E., Hasilb H. A., Khalaf H. A. Remoral of cobalt from drinking water by ansaternating current electrocoagulation techniques // Journal of Applied Science. 2012, № 12. P. 787–792.
5. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat esynthtic solution and textile wastewater, two case studies // Desalination. 2010, № 250. P. 573–577.
6. Zakhvatov G. I., Nikitin Y. Y. Using of electro neutralization method for waste water cleaning from oil products at power enterprises // Energetik. 2015, № 7. P. 31–33.
7. Zakhvatov G. I. The experience of waste water cleaning from oil products and weight substances at power industry // Izvestiya KGASU. 2013. № 4. P. 251–256.
8. Zakhvatov G. I. The regeneration of solutions as method of closed technology cycle creating // Izvestiya KGASU. 2011. № 2. P. 212–216.
9. Zakhvatov G. I. The influence of pH environment on the water emulsion stability at the electro treatment // Uspehi sovremennoi nauki. 2016. № 11. t. 14. P. 170–173.
10. Zakhvatov G. I. The influence of electric and physical factors on the process of water emulsion cleaning by electroneutralization // Nauchnii issledovaniya. 2016, № 10. P. 15–23.



УДК 691.421

Богданов А.Н. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru

Абдрахманова Л.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: laa@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование влияния поверхностно-активных веществ на свойства глинистого сырья

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы явилось исследование влияния поверхностно-активных веществ различной природы на реологические свойства глинистой массы на этапе массоподготовки.

Результаты. Введение ПАВ в ультрадозах позволило улучшить пластичность кирпичных суглинков, что позволяет в технологии кирпичного производства отказаться от применения нескольких видов глин для коррекции свойств глинистой массы, заменив пластичные глины на добавки из состава малотоннажной строительной химии.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в снижении издержек производства строительной керамики за счет роста объемов выпуска продукции, снижения объемов грузоперевозок и снижении энергозатрат на сушку сырца.

Ключевые слова: глинистое сырье, ПАВ, суглинки, суспензия.

Сильно отощенные глинистые массы под применение метода пластического формования, широко используемые для выпуска стеновой керамики, необходимо модифицировать, в первую очередь, для увеличения пластичности. Одним из основных методов регулирования реологических свойств глинистых масс является введение более жирных глин с лучшими пластическими характеристиками, например, мергелей, причем паропрогрев глиняного бруса при формовании, наряду с оптимизацией керамической шихты, позволяет сократить сроки на сушку и обжиг сырца, а также теплотраты на единицу продукции. В качестве пластифицирующих добавок, в основном, рекомендуется применение высокопластичных «жирных» глин, однако залежи их постепенно истощаются.

С развитием технологий, наращивает объемы производство малотоннажной строительной химии, в число которой входят поверхностно-активные вещества (ПАВ). Одновременно, расширяется и область применения ПАВ в области строительного материаловедения. Так, разрабатываются новые методы введения и модификации строительных материалов различных областей применения поверхностно-активными веществами (ПАВ) различной природы и строения, например [1-2].

Не остается в стороне и производство грубой строительной керамики, где также ведутся исследования в области модификации глинистого сырья ПАВами. К примеру, в работах [3-5] подробно описано введение в глинистую массу различных добавок пластифицирующего и отощающего действия. Штакельбергом Д.И., например, в 1989 году получены положительные результаты при оценке морозостойкости строительной керамики при модификации суперпластификатором С-3.

Модификация добавками, повышающими пластичность глинистых масс особенно важна при использовании в производстве малопластичных суглинков. Модификация на стадии массоподготовки, отражающаяся на качестве формования изделий, а также на процессы сушки сырца требует подбора пластифицирующих добавок с учетом структуры исходной глины и условий ее взаимодействия с водой.

Для глинистой массы, как и для большинства капиллярно-пористых коллоидных при увлажнении характерно набухание, при котором, помимо увеличения адсорбционной влаги, во многих случаях увеличение в объеме влажного тела, сопровождается

увеличением размеров, а соответственно и влагосодержания самих капилляров, стенки которых эластичны (Лыков А.В. «Теория сушки»). Как раз, к основным формам связи сорбированной влаги можно отнести адсорбционную и капиллярную. Обратный процесс, сопровождаемый уменьшением размеров, характерен для сушки. Удаление жидкости из тела сопровождается нарушением ее связи с глинистой породой, на что затрачивается определенная энергия, оцененная Лыковым А.В.

Процесс сушки основан на влагопереносе внутри тела сырца, парообразовании и испарении влаги с поверхности материала в окружающую среду. При соприкосновении влажного сырца с теплоносителем, влага на поверхности начинает диффундировать в окружающую среду, создавая перепад влагосодержания с нижележащими слоями, обеспечивая диффузионное перемещение влаги из внутренних слоев. Таким образом, сушка характеризуется непрерывной миграцией влаги из внутренних слоев к поверхности сырца, вследствие чего уменьшается влажность материала.

Для глин характерно достаточно быстрое испарение влаги с поверхности и медленный влагоперенос из нижележащих слоев, т.е. зачастую миграция влаги внутренних слоев материала, сильно отстает от испарения влаги с поверхностных слоев, что в результате приводит к образованию сушильных напряжений в объеме материала, влекущих возникновение структурных сушильных деформаций. В результате Лыковым А.В. в книге «Теория сушки», отражающей фундаментальные исследования в области сушки различных по природе материалов, был сделано заключение, что образование трещин и полное разрушение влажных материалов происходит под действием касательных напряжений, а направление их развития, скорость и величина есть функция зависимости соотношения нормальных и касательных напряжений. Поэтому быстрый прогрев при сушке глинистых материалов, вызывая температурный градиент между поверхностными и более глубокими слоями, приводит к растрескиванию и разрушению материала. При этом поверхность материала разогревается гораздо сильнее, передавая тепло внутрь сырца, и как следствие в первом периоде сушки желательно обеспечить перенос влаги в виде жидкости, а не в виде пара, постепенно изменяя данное соотношение, варьируя скоростью и температурой теплоносителя.

Таким образом, изменяя состояние воды, взаимодействующей с глиной, возможно изменение реологических свойств глинистой массы, сушильных свойств сырца и, в целом, эксплуатационных характеристик черепка.

В связи с вышеизложенным, в данной работе рассматривается влияние модифицирующих добавок на реологические свойства глинистого сырья на одном из важнейших этапов производства керамического кирпича – массоподготовки.

Предлагаемый подход – модификация глинистой шихты поверхностно-активными веществами (ПАВ) существенно меняет суть этапа массоподготовки. Вместо использования для приготовления шихты нескольких видов глин и суглинков, для коррекции свойств глинистой массы предлагается проводить модификацию низкокачественных малопластичных, чувствительных к сушке суглинков малыми количествами ПАВ, способными в зависимости от природы резко изменить условия взаимодействия воды с глинистыми минералами и примесями в породе, и в силу этого оптимизировать процессы сушки.

Подобная модификация призвана исключить или сильно ограничить применение, становящегося дефицитным «качественного» высокопластичного глинистого сырья, особенно в многотоннажном производстве «грубой» стеновой керамики.

Из всего многообразия ионогенных ПАВ были отобраны: лигносульфонат технический (ЛСТ), сульфонафталинформальдегид (С-3), поликарбоксилаты (ПК) на основе акриловой (этенкарбоновой) кислоты с привитыми боковыми цепями полиэтиленгликоля. Структура молекул ПАВ отличается не только химической природой, но и конфигурацией молекул. Например, конфигурация молекул ЛСТ приведена на рис. 1. Такая конфигурация молекул, присущая только для ЛСТ в отличие от С-3 и ПК, ограничивает подвижность воды, но при этом увеличивается ее лиофобность.

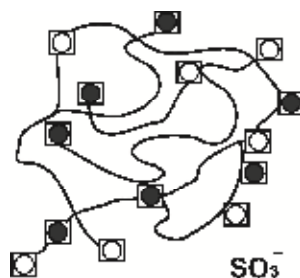


Рис. 1. Конфигурация молекул ЛСТ (водорастворимое сульфоропроизводное лигнина) [6]

Введение ПАВ в ультрадозах 0,01 % позволило значительно улучшить пластические свойства масс. ПАВ на основе поликарбоксилатов оказываются более эффективными, нежели ПАВ предыдущих поколений. Эффективность же лигносульфонатов проявляется при больших концентрациях (1 %). Самый слабый пластифицирующий эффект показали полиметиленафталинсульфонаты.

Предполагается, что взаимодействие молекул ПАВ и глинистых частиц в водной среде может идти по трем схемам:

1. Адсорбция молекул ПАВ на стенки капилляров;
2. Адсорбция молекул ПАВ из раствора на поверхность глинистых частиц;
3. Диффузия растворов ПАВ в межслоевое пространство глинистых частиц.

Не исключено, что адсорбция может сопровождаться и хемосорбцией молекул ПАВ на поверхность глинистых частиц, что вызывает сближение молекул ПАВ с глинистой частицей, приводящее к вытеснению воды из диффузного, а возможно и мономолекулярного слоев, расширяя границу раскатывания, и в результате улучшая пластические свойства глин [7].

Повышение пластических свойств глинистой массы приводит к качественным изменениям внешнего вида отформованных изделий, улучшая поверхность граней сформованных изделий. Кроме того, появляется возможность введения в глинистую шихту большего количества более дешевого отощителя – заполнителя – как замена части глинистого сырья, что, в конечном счете, приводит к снижению себестоимости готовых изделий. Кроме того, лучшие пластические характеристики глинистой массы позволяют снизить и нормальную формовочную влажность бруса, уменьшив при этом сушильные деформации, приводя к упрочнению черепка.

ПАВ в глинистую массу вводили в виде водного раствора для затворения. Модификация ЛСТ привела к увеличению текучести суспензии (табл. 1), причем концентрация ЛСТ практически не оказывает влияния на текучесть. Поликарбоксилаты, наоборот, значительно понизили текучесть суспензии, вязкость которой с течением времени возрастает, при больших концентрациях вплоть до прекращения истечения.

Таблица 1

Влияние ПАВ на условную вязкость глинистой суспензии

Количество ПАВ в глинистой суспензии (50 глина + 50 вода), %	Условная вязкость, сек	Условная вязкость, (через 30 минут), сек
-	21	23
0,01 поликарбоксилата	23	27
0,01 лигносульфоната	16	16
0,1 поликарбоксилата	28	нет истечения
0,1 лигносульфоната	17	18

Изменения в системе глинистых суспензий при модификации, вероятнее всего обусловлены изменением состояния воды в присутствии ПАВ. Для оценки поведения воды в присутствии ПАВ использовался метод импульсного ЯМР. В присутствии ПАВ подвижность молекул воды во всех случаях снижается (рис. 2а), причем видно, что молекулярная подвижность воды в присутствии лигносульфонатов затормаживается более, чем в 3 раза, в сравнении с поликарбоксилатами. В результате лигносульфонаты в большей

степени приводят к упорядоченности молекул воды, чем поликарбоксилаты, что находит отражение при взаимодействии модифицированных молекул воды с частицами глины.

В глинистых суспензиях при модификации (рис. 2б) во всех случаях наблюдается снижение подвижности в сравнении с суспензией чистой глины. В присутствии лигносульфонатов наблюдается неоднородность спада, свидетельствующая о разной степени связности молекул воды в составе суспензии.

Таким образом, оказалось, что увеличивают текучесть глинистой суспензии те ПАВ, которые в большей степени снижают подвижность молекул воды.

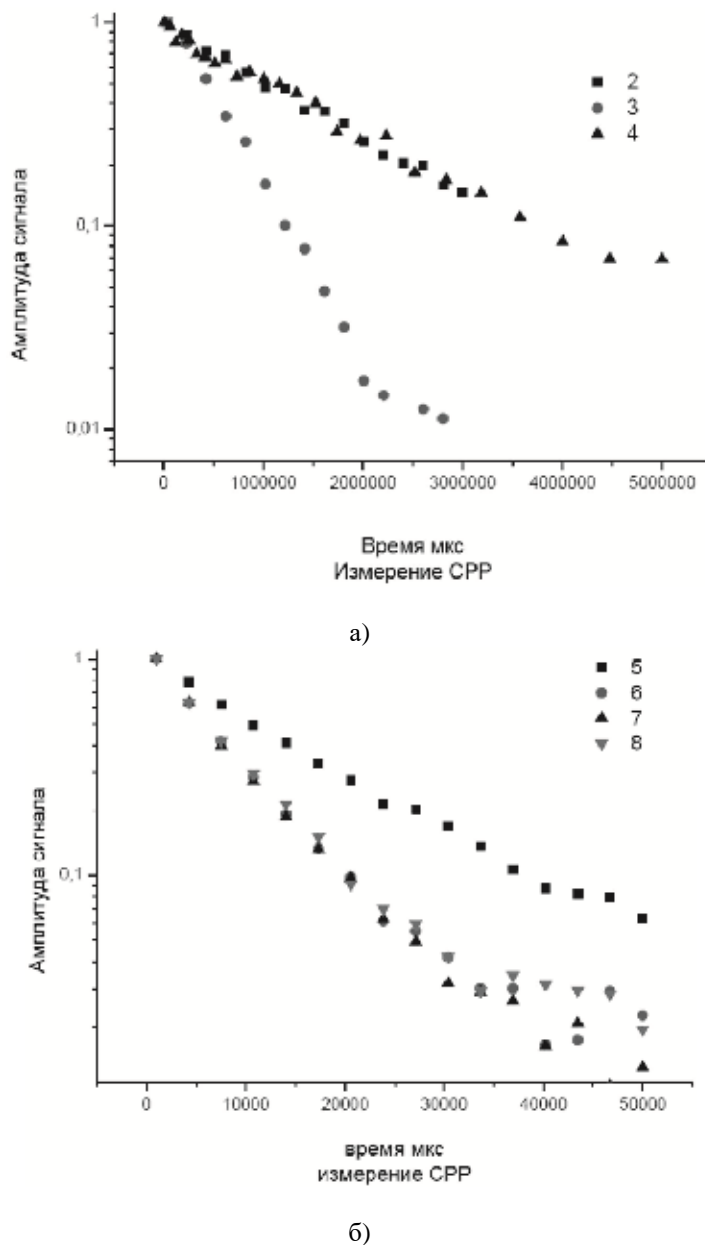


Рис. 2. Спады спин-решеточной релаксации СРР T_1 при температуре 22 °С:
 а) для 5 %-ных растворов в воде: 3 – лигносульфонаты; 2, 4 – поликарбоксилаты;
 б) для глинистых суспензий: 5 – исходная; 7 – лигносульфонаты 0,01 %;
 7, 8 – поликарбоксилаты 0,01 %

Адсорбция молекул ПАВ из растворов на поверхность глинистых частиц и примесей в составе глин в первую очередь зависит от смачиваемости. Смачиваемость дистиллированной водой и растворами ПАВ изучалась на пробах суглинков и кварцевого песка (кремнезема), содержащегося в глинистой массе до 80 %, как в свободной форме,

так и в качестве строительного материала кристаллической решетки глинистой частицы. Чем меньше величина ΔH , тем лучше смачиваемость твердых частиц жидкостью.

Результаты определения энтальпии смачивания (табл. 2) показывают, что смачиваемость непосредственно глинистых частиц в присутствии ПАВ улучшается, в то время как энтальпия смачивания кварцевого песка растет. Таким образом, в шликере адсорбция молекул ПАВ идет, в первую очередь, на поверхности глинистых частиц, что приводит к повышению эластичности капилляров в сырце и находит отражение на процессах при его сушке.

В результате, адсорбцией молекул ПАВ на глинистых частицах объясняется и выявленный эффект загустевания глинистой суспензии при модификации поликарбоксилатами. Флокуляция глинистого шликера растет по мере адсорбции молекул ПАВ на поверхность глинистых минералов, выстилающих частицы кварца и других примесей. Молекулы же ЛСТ, не способные образовывать подобных водородных связей, восстанавливают при адсорбции на гранях глинистых частиц отрицательный потенциал тем самым, повышая текучесть шликера.

Таблица 2

Энтальпия смачивания глин водными растворами ПАВ

Суглинок	Величина энтальпии смачивания, Дж/г		
	Дистиллированной водой	1 % раствором поликарбоксилата	1 % раствором лигносульфоната
	+2,72	-0,67	+0,60
Кварцевый песок	+1,60	+2,70	+2,70

Средние размеры глинистых частиц модифицированных суспензий с течением времени изменялись незначительно, но при этом отмечается рост приращения объема нижнего слоя суспензии после ее расслаивания, особенно в присутствии поликарбоксилатов, что обусловлено возможностью агрегирования глинистых частиц молекулами ПАВ за счет образования межмолекулярных водородных связей. Выявлены различия в скорости седиментации для исходной и модифицированных глинистых суспензий (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики глинистых суспензий

Количество ПАВ в глинистой суспензии (50 глина + 50 вода), %	Средний размер частиц в суспензии, мкм		Время расслоения, мин	Время полной седиментации, мин
	Исходная суспензия	5 суток хранения		
-	12,67	17,63	10	745
0,01 поликарбоксилата	10,52	13,76	2	412
0,01 лигносульфоната	11,21	12,92	40	7300

Наилучшая сохраняемость суспензии обеспечивается в присутствии лигносульфонатов. Для поликарбоксилатов характерно значительное сокращение времени начала расслоения. Очевидно, относительно «тяжелые» молекулы поликарбоксилатов, адсорбируясь на глинистых частицах и агрегируя их, ускоряют седиментацию последних, вызывая достаточно быстрое расслоение суспензии. Это отражается и на снижении набухающей способности глин при ПАВ модификации, что в принципе является характерным поведением глин в слабокислой среде [8].

Различия поведения глинистой суспензии при модификации позволяет судить о процессах, протекающих при взаимодействии ПАВ и глинистых частиц. В условиях пластического формования наиболее вероятны первые два процесса взаимодействия ПАВ

с глинистыми частицами, а именно, адсорбция молекул ПАВ на стенки капилляров и адсорбция молекул ПАВ из раствора на поверхность глинистых частиц.

Таким образом, выявленные различия в зависимостях поведения воды при модификации глин ПАВ, позволяют объяснить те различия в основных параметрах сушки, которые были выявлены для модифицированных образцов [9, 10], а именно, сушку модифицированного сырца можно проводить при более низких температурах. Введение ПАВ в состав отощенного глинистого сырья приводит к увеличению критического влагосодержания с 14 до 22 %, являющегося следствием более быстрого завершения усадочных явлений.

Список библиографических ссылок

1. Нуриев М. И., Халиуллин М. И., Рахимов Р. З., Гайфуллин А. Р., Хайрварина А. М., Стоянов О. В. Влияние пластифицирующих добавок на свойства гипсоцементнопуццоланового вяжущего // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 6. С. 119–122.
2. Makarov D. B., Krasinikova N. M., Morozov N. M., Ayupov D. A., Borovskikh I. V., Khokhryakov O. V., Yagund E. M. and Khozin V. G. Improving the Quality of Materials for Highway Construction // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 11. P. 3035–3041.
3. Маркова С. В., Кормина И. В., Турлова О. В. Влияние «Литопласт М» в комплексном разжижителе на свойства глинистых суспензий // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 1/2. С. 45–48.
4. Penner D., Lagaly G. Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions // Appl clay sci. 2001. № 19. P. 131–142.
5. Wang J., Samasundaran P. Adsorption and conformation of carboxymethylcellulose at solid liquid interfaces using spectroscopic, AFM and allied techniques // J Colloid interface Science. 2005. № 291 (1). P. 75–83.
6. Юхневский П. И. О механизме пластификации цементных композиций добавками // Строительная наука и техника: научно-технический журнал. 2010. № 1-2. С. 64–69.
7. Осипов В. И., Соколов В. Н., Еремеев В. В. Глинистые покрытия нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.
8. Храменков М. Г. Элементы физико-химической механики природных пористых сред. Казань: Издательство Казанского математического общества, 2003. 178 с.
9. Богданов А. Н., Абдрахманова Л. А., Хозин В. Г. Модификация глинистых масс пластифицирующими добавками: Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию «Научное развитие технологий и инновации» (XXI научные чтения) / БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. С. 46–49.
10. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A., Khozin V. G. Modification of clay raw materials by polyfunctionals additions: materials 19 Internatinal Baustofftagung / Bauhaus-Universitat. Weimar, 2015. P. 1295–1300.

Bogdanov A.N. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru

Abdrakhmanova L.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: laa@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Research of influence of surface-active substance on properties of clay raw materials

Abstract

Problem statement. The aim of the work was to study the influence of surface-active substance (SAS) of various nature on rheological properties of clay weight at a mass preparation stage.

Results: SAS introduction in ultra-doses has allowed to improve the plasticity of brick loams that allows to renounce in technology of brick production the application of several types of clays for correction of properties of clay weight, having replaced plastic clays with additives from structure of low-tonnage construction chemistry.

Conclusions: The importance of the received results for branch of production of construction ceramics consists in decrease in costs of production due to the growth of volumes of production, decrease in volumes of cargo transportation and decrease in energy consumption on raw drying.

Keywords: clay raw materials, surfactant, loams, suspension.

References

1. Nureyev M. I., Haliullin M. I., Rakhimov R. Z., Gayfullin A. R., Hayrvarina A. M., Stoyanov O. V. Influence of the plasticizing additives on properties cement concrete binder // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. Kazan, 2015. T. 18. № 6. P. 119–122.
2. Makarov D. B., Krasnikova N. M., Morozov N. M., Ayupov D. A., Borovskikh I. V., Khokhryakov O. V., Yagund E. M., Khozin V. G. Improving the Quality of Materials for Highway Construction // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 11, P. 3035–3041.
3. Markova S. V., Kormina I. V., Turlova O. V. Influence of «Litoplast M» in complex flux oil on properties of clay suspensions // Ogneupory i tekhnicheskaya keramika. 2012. № 1/2. P. 45–48.
4. Penner, D., Lagaly G. Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions // Appl clay sci. 2001. № 19. P. 131–142.
5. Wang, J., Samasundaran P. Adsorption and conformation of carboxymethylcellulose at solid liquid interfaces using spectroscopic, AFM and allied techniques // J Colloid interface Science. 2005. № 291 (1). P. 75–83.
6. Yukhnevsky P.I. About the mechanism of plasticization of cement compositions additives // Stroitel'naya nauka i tekhnika: nauchno-tekhnicheskii zhurnal. 2010. № 1-2. P. 64–69.
7. Osipov V. I., Sokolov V. N., Yermeyev V. V. Clay tires of oil and gas fields. M. : Science, 2001. 238 p.
8. Hramchenkov M. G. Elements of physical and chemical mechanics of natural porous environments. Kazan : Publishing house of the Kazan mathematical society, 2003. 178 p.
9. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A., Hozin V. G. Modification of clay masses the plasticizing additives : Materials of the Anniversary international scientific and practical conference devoted to the 60 anniversary of «High technologies and innovations» (the XXI scientific readings) / BGTU of V.G. Shukhov. Belgorod, 2014. P. 46–49.
10. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A., Khozin V. G. Modification of clay raw materials by polyfunctionals additions : materials 19 Internatinal Baustofftagung / Bauhaus-Universitat. Weimar, 2015. P. 1295–1300.

УДК 691541

Зарезнов Д.А. – аспирант

E-mail: zareznov.amex@mail.ru

Сагдиев Р.Р. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru

Шелихов Н.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: shelihov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Низкообжиговые гидравлические вяжущие с добавками минерализаторами

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования выявить возможность повышения физико-механических показателей низкообжиговых гидравлических вяжущих при помощи добавок минерализаторов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении наиболее эффективных добавок минерализаторов интенсифицирующих процесс обжига вяжущих.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении возможности повышения технических показателей низкообжиговых гидравлических вяжущих добавками минерализаторами, что позволит частично заменить более дорогостоящий портландцемент в строительстве.

Ключевые слова: романцемент, минерализаторы, обжиг, карбонатно-глинистое сырьё, гидравлические вяжущие.

Введение

Проблема вяжущих гидравлических веществ в строительстве обусловлена высокой стоимостью цемента, несмотря на их высокие характеристики, а также ограниченностью сырьевой базы. Для снижения стоимости производства гидравлических вяжущих и вовлечения ранее непригодной сырьевой базы можно использовать низкообжиговые гидравлические вяжущие. Основное достоинство этих вяжущих невысокая температура обжига, благодаря которой расходуется меньше топлива при обжиге и возможность применять доломитизированное карбонатно-глинистое сырьё – непригодное для производства цемента. Несмотря на все достоинства низкообжиговых гидравлических вяжущих они были забыты с появлением более прочного портландцемента. В настоящее время низкообжиговые гидравлические вяжущие производятся ограниченным объемом в основном для реставрационных работ [1, 2].

Развитие индустрии строительных материалов привело к появлению новых технологий и методов позволяющих регулировать свойства материалов в нужном направлении и теперь могут найтись области для применения низкообжиговых гидравлических вяжущих.

Если рассмотреть возможные пути улучшения низкообжиговых гидравлических вяжущих, то можно выделить три наиболее важных направления:

1. Модификация низкообжиговых гидравлических вяжущих на уровне обжига [3, 4];
2. Модификация низкообжиговых гидравлических вяжущих на уровне помола [5];
3. Модификация низкообжиговых гидравлических вяжущих на уровне применения.

В данной работе будет рассмотрено только модификация низкообжиговых гидравлических вяжущих на уровне обжига.

Модификация низкообжиговых гидравлических вяжущих на уровне обжига

Наиболее эффективным способом интенсификации физико-химических процессов в печи является применение минерализаторов. Роль минерализаторов сводится к ускорению твердофазных реакций, снижению температуры появления жидкой фазы и улучшению ее свойств. Минерализаторами называют вещества, которые активно участвуют в образовании минералов и сами частично входят в их состав.

Впервые понятие «минерализатор» было введено Сент-Клер де Виллем и Мишель Леви, они стали называть минерализаторами ускорители реакций в геохимических и физико-химических процессах. Затем определение «минерализатор» было применено М. М. Хрущевым при описании синтезов искусственных минералов.

Согласно определению А. С. Гинзберга под минерализатором следует понимать «небольшие количественные добавки», независимо от их фазового состояния, которые не входят в конечном счете в состав синтезируемого тела, а только своим присутствием, действуя физически или химически, участвуя в ряде промежуточных реакций, способствуют протеканию физико-химического процесса в обычных условиях в ограниченном температурном интервале».

По В. Эйтелю и В. Вейлю, действие минерализаторов, в основном, сводится, в частности по отношению к твердым фазам, к нарушению молекулярного химического равновесия, образованию «аддиционных» соединений, дающих подвижные комплексные ионы, и к воздействию на поверхностное натяжение, благодаря чему уменьшается прочность пространственной решетки и облегчается реакция между твердыми фазами.

Р. Барта насчитывает 15 различных способов воздействия минерализаторов на реакции между твердыми веществами и делит все минерализаторы на три большие группы:

1. Минерализаторы, влияющие на образование центров кристаллизации;
2. Минерализаторы, влияющие на скорость кристаллизации;
3. Минерализаторы, влияющие на кристаллические решетки и соответственно на свойства кристаллических тел (в том числе так называемые поверхностные, структурные и диффузионные минерализаторы).

Действие минерализаторов схематично можно представить в виде двух кривых, характеризующих протекание процесса при определенном температурном режиме (рис. 1).



Рис. 1. Характер кривых кинетики процесса минералообразования:
1 – с минерализаторами; 2 – без применения минерализаторов

Рассматривая вопросы, связанные с ходом реакций минералообразования при обжиге, в первую очередь необходимо учитывать те главнейшие факторы, которые существенно влияют на скорость протекания этих реакций. Сюда относятся:

1. Химический и гранулометрический составы реагирующих веществ;
2. Удельная поверхность компонентов, состояние кристаллической решетки, реакционная активность реагирующих веществ;
3. Температуры, при которых протекают реакции.

Введение минерализатора в сырьевую смесь может, не вызывая плавления, привести к возникновению или изменению состава твердых растворов в ней. Это вызывает, например, при образовании твердых растворов внедрения и вычитания (рис. 2) существенное разрушение кристаллических решеток [Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высш. школа, 1980. 472 с].

Наиболее изученные минерализаторы

Поскольку изучение действия минерализаторов осуществлялось на портландцементе их эффективность по отношению к низкообжиговым гидравлическим вяжущим может быть оценена с некоторыми допущениями. Низкообжиговые

гидравлические вяжущие производят обжигом ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$) сырья, которое также используется в производстве портландцемента. Приведенные в данной работе минерализаторы вводились в количестве 0-5 %, а сырьевые смеси обжигались при температуре $1200\text{-}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

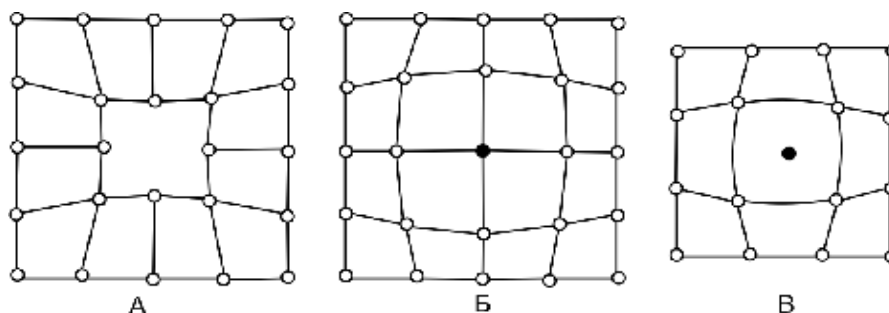


Рис. 2. Искраженные кристаллические решетки при образовании твердых растворов: А – вычитания, Б – замещения, В – внедрения

Плавиновый шпат

Влияние плавинового шпата на спекание клинкера и производительность печей исследовали многие авторы: И. Сатарина, Б.В. Волконского, П.Ф. Коновалова, С.Д. Макашева, С.Д. Огорокова и др. Было установлено, что при введении 0,5-1 % CaF_2 ускоряются все стадии процесса обжига: раньше начинается и быстрее проходит декарбонизация известняка, быстрее протекают реакции белитового и алитового периода, повышается прочность до 5 %. Введение примерно 1 % плавинового шпата в сырьевую смесь заводов, работающих на трудно-спекаемом сырье, позволяет повысить производительность печей на 5-10 % и одновременно уменьшить удельный расход топлива. Современное исследование авторов А.В. Черкасова, Д.А. Мишина, С.А. Перескока также показывает увеличение производительности печей на 3 %, при сохранении качества вяжущего [6].

Кремнефтористый натрий

При введении Na_2SiF_6 производительность печи возрастает примерно на 7,5 %, одновременно на 3 % сокращается удельный расход топлива, активность клинкера при этом повысилась с 52 до 66 МПа (по данным Н.В. Шахматова и Н.Н. Николайчика).

Опыты по применению кремнефтористого натрия в качестве минерализатора при обжиге белого цемента были проведены С.А. Грачьяном, С.А. Заруцким, А.И. Степановой и др. При этих опытах было отмечено, что производительность печи возросла на 10 %, а уде удельный расход топлива снизился на 2,5 %. Улучшилось качество клинкера, что отразилось на снижении содержания свободной извести в клинкере с 3 до 1 % и в повышении коэффициента белизны с 78 до 81 %.

Различные химические соединения

С.Д. Огороковым, С.Л. Голышко-Вольфсон и др. была проведена большая работа по изысканию новых минерализаторов для обжига клинкера.

Ими были изучены пять классов химических соединений: хлориды, карбонаты, фосфаты, нитраты и сульфаты, а также окислы металлов. В каждом из этих классов исследовались соответствующие соли восьми металлов: натрия, калия, магния, кальция, бария, цинка, алюминия и железа.

Минерализующее действие изученных соединений, если сравнить его с минерализующим действием фтористого кальция, неодинаково и весьма сильно зависит от температуры обжига: как правило, при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ у изученных солей оно меньше, чем у CaF_2 ; наоборот, при $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ для многих солей оно выше, чем у CaF_2 .

Из пяти исследованных групп солей наименее эффективны хлориды; среди них нет ни одной соли, которая превосходила бы фтористый кальций. На второе место должны быть поставлены карбонаты, но они также уступают фтористому кальцию.

На третьем и четвертом местах располагаются фосфаты и нитраты, среди которых имеются соли, более эффективные, чем CaF_2 (соли цинка, алюминия и железа).

Наибольшим минерализующим действием характеризуются сульфаты. Они все, за исключением сульфатов бария и кальция, по эффективности превосходят фтористый кальций (сульфат кальция близок к CaF_2).

Из восьми изученных катионов наиболее эффективны цинк, железо (двух- и трехвалентное) и алюминий; наименее – барий.

Апатит

Лабораторными исследованиями в институте Гипроцемент было установлено минерализующее действие апатита $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$

С добавкой апатита пористость материала увеличивается на 6 %, средний минералогический состав изменяется следующим образом: содержания алита увеличивается на 2 %, а содержание белита снижается на 3 %.

Данные свидетельствуют о более полной кристаллизации клинкерных минералов, полученных при обжиге материала с апатитом. Качество цемента из клинкера, полученного при обжиге с минерализатором, практически не отличается от цемента из клинкера обычного обжига.

Гипс

По сообщению Ю.В. Терлыга и В. Блонокой, введение гипса, может улучшить образование обмазки на футеровке печи.

Было установлено, что эта добавка оказывает минерализующее действие, в связи с чем гипс как минерализатор начали систематически.

Введение гипса (в количестве 0,6-0,8 % по серному ангидриду), подаваемого в сырьевые мельницы через тарельчатые питатели, позволило значительно улучшить состояние обмазки на футеровке, повысило ее стойкость. Стойкость футеровки на печах возросла до 120 суток. Производительность печей повысилась с 19,5 до 20,6 т/ч.

Минералогический состав клинкера изменился: при обычной сырьевой смеси клинкер содержал алита 58 %, белита 12 %, промежуточного вещества 30 % и свободной извести 0,1 %, тогда как при добавке гипса, соответствующей содержанию 0,8 % серного ангидрида в сырьевой смеси, клинкер состоял из 61 % алита, 7 % белита, 32 % промежуточного вещества при полном отсутствии свободной извести.

Улучшилась и структура клинкера. Вместо алита и белита неправильной формы алит кристаллизуется в виде шестигранных призм. При этом преобладают зерна с четкой кристаллизацией, тогда как зерна белита имеют округлую форму. Качество цемента при этой добавке также повысилось.

Хлористый натрий

М.Н. Розов, Б.Н. Нудельмап и И.Т. Уварова с учетом опыта исследования роли различных соединений в диссоциации карбоната кальция провели вместе с работниками института АзНИИЦемент на Беговатском и Чимкентском заводах эксперименты. Изучалось влияние добавки 0,7-1 % NaCl (к сухой сырьевой смеси). Было установлено: что она ускоряет диссоциацию карбоната а большей степени, чем все изученные ими ранее соединения. На обоих заводах было отмечено повышение производительности печей на 6-7 %.

Так, величина потери при прокаливании материала, отобранного из люка в зоне диссоциации карбоната кальция, составлявшая до введения добавки 29 %, а при добавке NaCl – 14 %.

Минеральный состав клинкера во время указанных испытаний, а также результаты физико-механических испытаний цемента, полученного при добавке NaCl в данной работе недостаточны для оценки качества цемента по отношению к бездобавочному.

Медеплавильные шлаки

На одном из цементных заводов в порядке опыта в качестве минерализатора были использованы медные шлаки медеплавильного завода. Полученные клинкеры с добавкой

медеплавильного шлака при исследовании их структуры показали лучшую кристаллизацию, чем клинкер без этой добавки.

Наилучший результат был получен при обжиге смеси с 3 % медеплавильного шлака. При исследовании структуры клинкера было установлено, что форма кристаллов алита хорошо развита и они имеют правильные кристаллографические очертания.

Минералогический состав клинкера при добавлении 3 % медеплавильного шлака в сравнении с клинкером изменился следующим образом: содержание алита увеличилось с 41 до 52 %, а содержание белита уменьшилось с 30 до 27 %.

Фосфогипс

Известно что для интенсификации процесса обжига цементного клинкера можно применять фосфогипс. В присутствии фосфогипса цементы имели повышенную активность нормальные сроки схватывания и легче размалывались. Увеличение прочности портландцемента в возрасте составило: 7 суток 14 %, 28 суток 19 %. Также было отмечено увеличение производительности мельниц¹.

Барит

Л.Н. Грикевичем было установлено влияние барита на минералообразование при обжиге портландцементного клинкера. $BaSO_4$ диссоциирует при температуре 1510 °С, но в смеси к кислотными окислами начинает взаимодействовать уже при температуре 1100-1200 °С. При наличии восстановительной среды разлагается при температуре 772 °С. Присутствуя даже в небольших количествах барит значительно ускоряет процесс связывания извести, снижает температуру протекания твердофазовых реакций. Было установлено что окисью бария насыщается не только белит, но он также входит в состав алюмоферритной части клинкера. Барий содержащий клинкер отличался высокой активностью при низком (35-45 %) содержании алита, прочность в возрасте 28 суток достигала 61 МПа.

В работах И.Н. Новоселовой проведены обширные исследования влияния барита на портландцементы. Получены следующие результаты: разработана энерго- и ресурсосберегающая технология производства цемента при температуре 1200 °С, добавка баритового отхода приводит к формированию двухкальциевого силиката в β и α' модификациях, происходит уменьшение микротвердости основных клинкерных фаз, повышение активности цемента в возрасте 3 суток на 18-35 %, в 28 суток на 10-15 % [7, 8].

Фторид лития

В исследовании возможности получения алитового клинкера при температуре ниже 1200 °С Т.А. Коледаевой изучена возможность применения LiF для снижения температуры обжига клинкера. Установлено следующее: гидравлическая активность синтезированного LiF -содержащего клинкера оказалась значительно ниже, чем у заводского портландцемента на протяжении всего интервала твердения, для повышения прочности необходимо кратковременное низкотемпературное легирование которое позволяет повысить активность обожжённого при 1100 °С клинкера в 1,5 раза и довести до 70-80 % прочности заводского цемента, ввиду низкой температуры обжига синтезированный клинкер представляет собой рыхлый, слабо спечённый, легко размалываемый материал, что позволит сэкономить до 30-40 % электроэнергии при помолу цемента. Экономия топлива в процессе обжига низкотемпературного клинкера составит 10-15 % [9, 10].

Заключение

1. Обобщение полученных исследователями многочисленных данных позволяет в настоящее время значительно полнее представить эффективность применения минерализаторов. Изменения в процессе обжига и минералообразования, которые возникают в сырьевой смеси в присутствии некоторых соединений и веществ, ускоряющих

¹Волконский Б.В., Коновалов П.Ф., Макашев С.Д. Минерализаторы в цементной промышленности.

диссоциацию карбонатов, снижающих температуры твердофазовых реакций обеспечивают образование качественных гидравлических вяжущих веществ необходимых для строительства.

2. Однако механизм действия минерализаторов во время реакций минералообразования при обжиге весьма сложен и требует дальнейшего серьезного изучения.

3. Несмотря на то, что все данные приведены из работ по портландцементам, они будут актуальны и для низкообжиговых гидравлических вяжущих, т.к. некоторые минерализаторы взаимодействуют с двухкальциевым силикатом и алюмоферитами.

4. Целесообразно выбирать минерализаторы (или их смеси, 2-х или более) активно взаимодействующие с двухкальциевым силикатом, ускоряющими диссоциацию карбонатов.

Список библиографических ссылок

1. Walker R. Pavi'a S. Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime-pozzolan // *Materials and Structures*. 2011. № 44. P. 1139–1150.
2. Sutherland R. *Chime Historic Concrete: The Background to Appraisal*. // Thomas Telford. 2013. P. 46–52.
3. Svinka V., Bidermanis L., Svinka R., Lindina L., Cimmers A., Timma I. Thermochemical Reactions of Clay Minerals for Production of Honeycomb Ceramics // *Scientific Journal of Riga Technical University «Material Science and Applied Chemistry»* 2011. Vol. 24. P. 56–60.
4. Tantawy M. Influence of Silicate Structure on the Low Temperature Synthesis of Belite Cement from Different Siliceous Raw Materials // *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2015. № 3. P. 98–106
5. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Стоянов О. В., Яковлев Г. И. Differential thermal analysis of clays of different composition // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. № 5. С. 80–83.
6. Черкасов А. В., Мишин Д. А., Перескок С. А. Использование плавикового шпата для увеличения производительности цементной вращающейся печи // *Технологии бетонов*. 2014. № 7. С 24–25.
7. Лугинина И. Г., Гребеник И. Н. Влияние баритового отхода на размалываемость клинкера с повышенным содержанием оксида магния // *Цемент и его применение*. 2012. № 1. С. 213–216.
8. Гребеник И. Н. Влияние отходов производства баритовых концентратов на структуру клинкера с повышенным содержанием оксида магния: сборник докладов Международной научно-практической конференции «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов» / Белгор. Гос. Технол. Ун-т. Белгород, 2010. С. 36–40.
9. Барбанягрэ В. Д., Коледаева Т. А. Низкотемпературный синтез портландцементного клинкера // *Цемент и его применение*. 2010. № 4. С. 111–114.
10. Коледаева Т. А., Барбанягрэ В. Д. Влияние LiF на низкотемпературный синтез портландцементного клинкера и активность цемента // *Техника и технология силикатов*. 2011. № 2. С. 20–25.

Zareznov D.A. – post-graduate student

E-mail: zareznov.amex@mail.ru

Sagdiev R.R. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru

Shelikhov N.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: shelihov@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Low-bending hydraulic binders with mineralizers

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the possibility of increasing the physico-mechanical characteristics of low-bake hydraulic binders with the help of mineralizer additives.

Results. The main results of the study are to determine the most effective mineralizer additives that intensify the burning process of binders.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry to establish the possibility of increasing the technical performance of low-bending hydraulic knitting additives with mineralizers, which will partially replace the more expensive Portland cement in construction.

Keywords: romantsement, mineralizers, calcination, carbonate-clay raw materials, hydraulic binders.

References

1. Walker R. Pavi'a S. Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime-pozzolan // *Materials and Structures*. 2011. № 44. P. 1139–1150.
2. Sutherland R. *Chime Historic Concrete: The Background to Appraisal*. // Thomas Telford. 2013. P. 46–52.
3. Svinka V., Bidermanis L., Svinka R., Lindina L., Cimmers A., Timma I. Thermochemical Reactions of Clay Minerals for Production of Honeycomb Ceramics // *Scientific Journal of Riga Technical University «Material Science and Applied Chemistry»* 2011. Vol. 24. P. 56–60.
4. Tantawy M. Influence of Silicate Structure on the Low Temperature Synthesis of Belite Cement from Different Siliceous Raw Materials // *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2015. № 3. P. 98–106.
5. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Stoyanov O. V., Yakovlev G. I. Differential thermal analysis of clays of different composition // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. № 5. P. 80–83.
6. Cherkasov A. V., Mishin D. A., Pereskok S. A. Use of fluorspar to increase the productivity of cement rotary kiln // *Tekhnologii betonov*. 2014. № 7. P. 24–25.
7. Luginina I. G., Grebenik I. N. Influence of barite waste on the grinding of clinker with an increased content of magnesium oxide // *Tsement i ego primeneniye*. 2012. № 1. P. 213–216.
8. Grebenik I. N. Influence of production waste of barite concentrates on the structure of clinker with an increased content of magnesium oxide: the collection of reports of the International Scientific and practical conference «Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the building materials industry» / Belgor. Gos. Tekhnol. Un-t. Belgorod, 2010. P. 36–40.
9. Barbanyagre V. D., Koledayeva T. A. Low-temperature synthesis of Portland cement clinker // *Tsement i ego primeneniye*. 2010. № 4. P. 111–114.
10. Koledayeva T. A., Barbanyagre V. D. Influence of LiF on low-temperature synthesis of Portland cement clinker and cement activity // *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2011. № 2. P. 20–25.

УДК 66.669

Лапин И.В. – аспирант, ассистент

E-mail: 89003222142@mail.ru

Кузнецов В.Г. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: aschess@yandex.ru

Аминова Г.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a_guzel@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Новые модификации металлов в современном производстве

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования рассмотреть внедрение высокоперспективных новейших материалов в строительных отраслях производства. Создать эффективные пористые материалы, которые обладают уникальными характеристиками, полезными не только для производства, но и во многих сферах жизнедеятельности человека.

Результаты. Основные результаты исследования – способы получения пенометаллов различными технологиями, виды обработки изделий. Показаны характеристики пористых структур для дальнейшего формирования открытых и закрытых пор, также получение закрытоячеистого и открытоячеистого алюминия.

Выводы. Значимость использования в строительной отрасли сильно расширит область применения металлических пен в виде несгораемых перегородок и облицовочного материала в фасадных элементах зданий, легких и огнестойких кабин лифтов, повышение жесткости полых профилей, для упрочнения анкеров в бетонных стенах, в производстве теплостойких демпфирующих материалов и многое другое. Основным фактором является дальнейшее усовершенствование технологии и снижение стоимости пенометаллов.

Технический интерес представляет пропитка пористого материала (пенометалла) различными жидкими веществами.

Ключевые слова: пористые материалы, пенометаллы, открытые и закрытые поры, прессование, спекание.

Сегодня мы заинтересованы добиваться улучшения эффективности производства и повышения качества выпускаемой продукции и это является главной задачей во всех областях жизнедеятельности. Для выполнения этой задачи необходимо внедрение более высокоперспективных процессов и создание новейших материалов, в первую очередь в области строительства.

Одним из представителей таких новейших материалов, по сравнению с обычными металлами являются пенометаллы, либо пористые металлы.

Пенометаллами являются металлы (сплавы) сетчато-ячеистой структуры, имеющих крайне низкую плотность (примерно 75-95 % ее объема составляют пустоты) в сочетании с высокой удельной жесткостью и шумопоглощением, низкой теплопроводностью, что очень важно для строительной сферы производства. Их плотность гораздо меньше даже по сравнению с древесиной, а прочность – гораздо выше. Пенометаллы прекрасно поглощают ударную энергию, т.е. обладают демпферными свойствами. Эти материалы хорошо обрабатываются резанием, их можно легко соединять с другими деталями с помощью крепежных элементов или склеивать с полимерами, фанерой или стеклом. Пенометаллы обладают хорошими акустическими характеристиками, демпфирующими свойствами, коррозионной стойкостью, свариваемостью, допускают многократную регенерацию. Этот металл имеет настолько легкий вес, что способен плавать на поверхности водных жидкостей, по прочности при этом превышая в несколько раз обычные металлы, негигроскопичный (не склонный к поглощению воды).

Металлическим пенам присуще и совершенно неожиданное свойство – они не расплавляются даже при температуре плавления исходного металла. Такие материалы, в

основном, выдерживают многократные нагревы до значительных температур без изменения свойств, что позволяет их использовать как трудновоспламеняемый, негорючий материал.

Прочность изделий из них можно значительно повысить поверхностной обработкой – прокаткой, ковкой, штамповкой и другими видами калибрования.

Наиболее распространены пенометаллы на основе алюминия (рис. 1-2) и никеля (рис. 3).

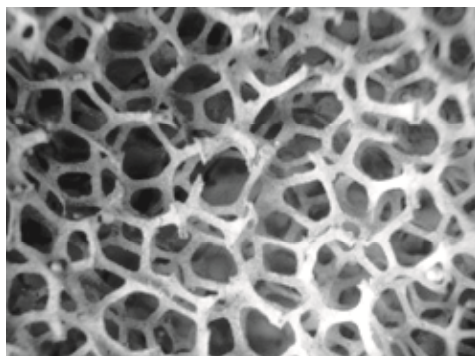


Рис. 1. Микроструктура пеноалюминия [3]

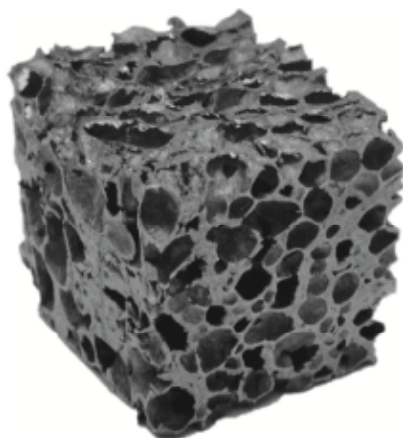


Рис. 2. Пеноалюминий, полученный порошковым методом [1]

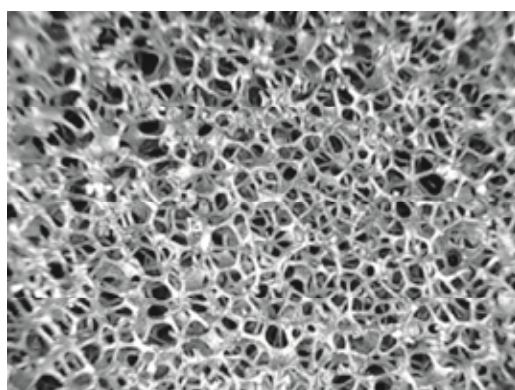


Рис. 3. Микроструктура пеноникеля [3]

Одним из наиболее передовых методов получения пенометаллических изделий, которые имеют множество достоинств, является порошковая металлургия. Ее технологии дают возможность получить изделия с заданными составом и характеристиками, какие иногда трудно или невозможно решить литейным способом. Высокая производительность (механизация, автоматизация) и высокая экономичность (до 60 %)

сделали этот метод высокоэффективным. В технологию порошковой металлургии входит: получение металлического порошка или смеси, формование, спекание и дополнительная обработка порошковых изделий, то есть использование порошкового вещества как исходного материала и нагрев его до температуры ниже точки плавления основного металлического порошка $T_p = (0,4-0,6)T_{пл}$.

Fraunhofer Institute (Германия) является основной мировой разработчик технологии производства пеноалюминия порошковым методом [2].

Физические и механические свойства готовых порошковых изделий зависят от условий их изготовления: давления, прессования, температуры, времени и атмосферы спекания, а также от состава компонентов и других факторов.

Прессованием порошков получают полуфабрикаты (прессовки, брикеты) с размерами, необходимыми для изготовления изделий с учетом деформаций при последующих операциях (спекание, калибрование и т. п.). Прочность, плотность в результате увеличения контакта увеличивается в зависимости от температуры и времени спекания, где происходит процесс развития скрепления и формирования изделия, полученного при нагреве спрессованного порошка. Важным условием спекания является безокислительное условие нагрева изделий.

После спекания изделия подвергаются калибровке для увеличения физико-механических свойств и образования конечных геометрических размеров и форм, наложения покрытий и защиты от коррозии изделий.

Для повышения физико-механических свойств спеченных изделий производят прессование и спекание повторно, что позволяет получить изделия с наибольшей плотностью. Затем производят термо- или химико-термическую обработку.

Спеченное изделие можно подвергнуть ковке, прокатке, штамповке, при повышенных температурах, для снижения пористости и повышения пластичности.

Порошковые металлы (ПМ) изготавливают из приготовленной шихты, подвергают прессованию в форму и спекают заготовки в защитной среде или в вакууме. К ним относятся твердые сплавы, композитные материалы, анти – и фрикционные сплавы, спеченные порошковые черные и цветные металлы.

Антифрикционные порошковые металлы – это хорошо обрабатываемые и износостойкие материалы с низким коэффициентом трения.

Металлические порошки бывают как из черных металлов (железо, сталь), так из цветных металлов (алюминий, медь, никель, хром, кобальт, вольфрам, молибден, титан).

Для их измельчения применяют различные процессы – это дробление (крупное, среднее, мелкое) и измельчение (тонкое и сверхтонкое), которое производится путем удара, истирания, раскалывания и раздавливания. Крупное дробление имеет размер кусков после измельчения порядка 100-300 мм, а сверхтонкое измельчение – 0,1-75 мкм.

На (рис. 4) показан еще один вид пенометалла на основе меди.

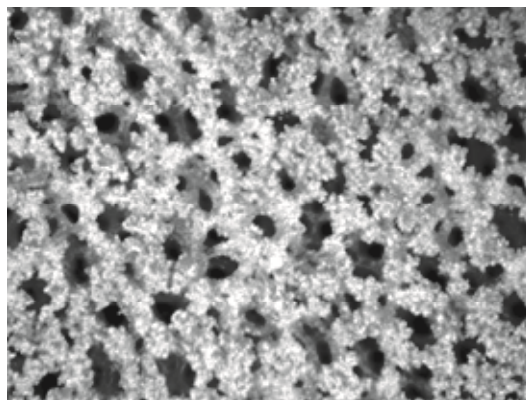


Рис. 4. Микроструктура пеномеди [3]

В основном применяют физико-химический способ получения металлических порошков: получение оксидов, выделение порошка из водного раствора соли, химическое изменение состава сырья. Этот способ является наиболее экономичным, благодаря

дешевизне сырья. Химический состав порошков определяется содержанием основного металла или компонента и примесей. Физические свойства порошков характеризуются формой и размером фракции, насыпной плотностью, образованием кристаллической решетки. С добавлением графита или свинца уменьшается износ изделия.

Основными характеристиками, определяющими физико-механические свойства ПМ, являются физико-механические свойства материала стенок пор, относительная плотность: ρ/ρ_s (где ρ – плотность, ρ_s – плотность материала, из которого сформированы стенки пор), а также структура пор (открытые ячейки или закрытые поры). Иногда вместо относительной плотности для характеристики ПМ используется величина пористости $m=1-\rho/\rho_s$. Плотность образцов пеноалюминия, получаемых в настоящее время, составляет 300...1900 кг/м³, что соответствует пористости от 0,89 до 0,31 [4].

Технологические свойства определяются текучестью, прессуемостью и спекаемостью порошков. Текучесть влияет на производительность при заполнении форм в прессовании и неоднородность плотности заготовок. Пластичность материала влияет на прессуемость, размер, форму и повышается с добавлением поверхностно-активных веществ. При помощи порошковой металлургии получают конструкционные композитные, фрикционные материалы.

Высокопористые материалы из металлов изготавливают путем спекания порошков, предварительно прессуя. В процессе спекания для образования пор вводят специальные вещества.

В соответствии с патентом Fraunhofer Institute (Pat. DE 4101630 A1 от 12.12.1991) основные операции изготовления панелей из пеноалюминия: смешивание металлического порошка с пенообразователем (TiH₂) и подача на стол пресса; горячая прессовка (полосы или прутка); горячая карточная прокатка полосы на лист толщиной 5-6 мм, затем холодная карточная прокатка на тонкий лист (1-3 мм), далее осуществляется вспенивание заготовки.

Технология Fraunhofer Institute (Германия) характерна некоторыми недостатками: сложность и многооперационность технологического процесса; невозможность производства крупногабаритных панелей из пеноалюминия размером более 1000×1000×12-24 мм и ограничение в объемах производства; высокая себестоимость пеноалюминия, что вызвано многостадийностью производства [5].

Сэндвич-панели (рис. 5) состоят из двух листов металла с наружной стороны изделия и внутреннего слоя пенометалла, изготовленного из пеноалюминиевого сплава. Эти панели являются высококачественным стройматериалом с улучшенными демпфирующими свойствам и жесткостными характеристиками.

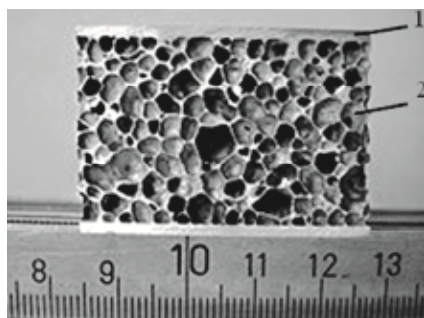


Рис. 5. Сэндвич-панель с пеноалюминием: 1 – металлический лист, 2 – пенометалл [6]

Области применения сэндвич-панелей из пеноалюминия [6]:

- 1) в строительстве – пожаробезопасная облицовка фасадов стен, перегородок, лифтов, профилей жесткости, полы и потолки с защитой от электромагнитных излучений;
- 2) в транспорте – перегородки, полы, внутренняя облицовка в авиатранспорте, судах, в железнодорожных вагонах; для автомобиля – бамперы, кожуха, шумоизоляция, фильтрующий наполнитель глушителя;
- 3) в промышленности – шумозащитные кожуха, теплоизоляционные и фильтрующие элементы, катализаторы.

Существует несколько технологий получения пенометаллов:

- это введение газа (воздух, азот, аргон) непосредственно в жидкий металл;
- смешивание песчано-глинистой смеси и полимерного порошка с выжиганием полимера и наполнение под давлением литейной формы жидким металлом. Подобный метод применим для Al, Mg, Ni, Cr и Cu сплавов [3];
- получение ПМ путем введения в расплав порофоров (веществ, образующих пузырьки – порообразователей) т.е. вспенивающего вещества, обеспечивающего образование пор.

Литейный (жидкофазный) способ получил широкое применение, как самый продуктивный и недорогой [7]. Литейный способ производится по следующей технологической схеме:

- расплав металла;
- ввод загущающих частиц в жидкий металл;
- ввод порофора в расплав или продувку его газом;
- заливка в форму;
- охлаждение пенометалла в форме.

В мировой практике пользуются популярностью два способа получения пеноалюминия: литейный (рис. 6) (компания Sumat – Канада, Alcan – Канада, Norsk Hydro – Норвегия и др.) и порошковый (компании Fraunhofer Institute – Германия, ОАО ВИС – Россия и др.) [8].

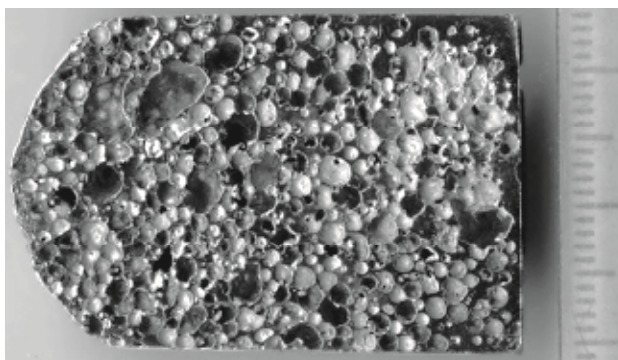


Рис. 6. Отливка пеноалюминия, полученная литейным методом [9]

При производстве пенометалла из цинка и сплава (Al – 4,0 %; Cu – 1,0 %; Zn – ост.) в качестве порообразователя применяются гидриды титана, магния, циркония, для сплава (Al – 12,0 %, Si) – TiH₂[6], для сплава (Si – 9,0 %; Mg – 0,5 %; Cu – 0,2 %; Al – ост.) – CaCO₃, мрамор и TiH₂, для сплава (Si – 12,0 %; Mg – 1,0 %; Ni – 2,5 %; Al – ост.) – углекислый газ [10].

Разработаны и технологии, предоставляющие возможность получать металлы с ячеистой структурой, такие как порошки цинка или сплава (Al – 4,0 %; Cu – 1,0 %; Zn – ост.) смешивают с порообразователями гидрид титана или гидрид магния, далее прессуют в заготовки холодным, затем горячим прессованием, помещают его в форму и нагревают ее выше температуры ликвидуса. При этом выделяется водород, образуя пену в расплаве, заполняет форму, которую быстро охлаждают [11].

В последнее время проявляется большой интерес к пористым материалам на основе алюминия, которые обладают множеством уникальных свойств.

Например, ниже представлены 2 способа получения ПМ из алюминия:

1) в расплав при 680 °С вводят 1,5 % кальция, несколько минут перемешивают. В жидком металле выделяются оксид кальция CaO, алюминат кальция CaAl₂O₄ и, возможно, интерметаллид Al₄Ca, происходит сгущение металл. Далее металл переливают в форму и вводят 1,6 % гидрида титана TiH₂, который разлагаясь выделяет водород и вспенивает металл заполняя форму. Затем изделие удаляется из формы [12].

Существующая в этом методе проблема стабилизации (устойчивости) жидкой пены успешно разрешается введением в расплав частиц с более высокой температурой, чем у вспениваемого металла, что исключает слияние пузырьков. Степень их действия зависит

от размера, смачиваемости и формы, образующихся внутри и на поверхности перемычек. Наибольшая стабилизация пены при производстве пеноалюминия происходит при введении наночастиц оксида алюминия Al_2O_3 .

2) в расплав алюминия А7 в шамотно-графитовом тигле, разогретым до 800 °С, засыпают мраморный порошок в количестве 5 % масс при этом одновременно перемешивая, устанавливают тигель в печь с выдержкой 10 мин при 800 °С. Затем тигель вынимается и расплав перемешивается в течение 3-х мин и ставится в печь на 15 мин при 850 °С, далее тигель извлекается из печи и охлаждается на воздухе. После затвердевания металлическое изделие удаляется из тигля. Доминирует шаровидная форма пор, их величина от 0,5 до 10,0 мм, с равномерно распределенными по объему порами, их плотность составляет $0,83 \text{ г/см}^3$, а пористость 70 % [13].

Пенометаллы испытывают по прочности на сжатие, прогиб или пробой. Механические свойства ПМ характеризуются также массой, размерами, видом и характером распределения пор по объему.

Различают закрытоячеистый и открытоячеистый пористый алюминий.

Материал с закрытыми порами получается путем вспенивания алюминия порофорами, а материал с открытыми порами, получается литейным методом с использованием удаляемого наполнителя или путем гальванического покрытия на пенополиуретане, который потом удаляют.

Закрытоячеистый пеноалюминий обладает теплоизоляционными и звукопоглощающими свойствами, а также свойством, которое может быть использовано для демпфирования удара. Преимуществами являются такие его характеристики как электрическая и термическая проводимость, отличное энергоабсорбирующее свойство, разный температурный диапазон и негорючесть материала. Применяется для обеспечения жёсткости конструкции, как теплоизолирующий материал, в строительстве в виде несгораемых перегородок и облицовочного материала, кабин лифтов и прочее.

Плотность открытоячеистого (пористого) алюминия $0,9-1,2 \text{ г/см}^3$, что составляет 55-67 % пористости. Материал обладает высокой жесткостью, проницательностью, негорючестью, высокой стойкостью к температурным изменениям, неигроскопичностью и др. Пористый алюминий имеет большую внутреннюю поверхность, составляющую при плотности $1,1 \text{ г/см}^3$ от 1 до $2 \text{ м}^2/\text{г}$ [14], что учитывается для дальнейшего использования в теплообменниках.

Хотя пенометаллы в своей основе являются металлическими, по свойствам они заметно различаются от исходных металлов. Это новые материалы, которые еще мало применяются в строительстве и других областях науки и техники, здравоохранения, где пористая основа ускоряет производственные процессы, спасает от аварий, тушит пожары, поглощает пыль, грязь и шум, охраняет природу и лечит людей.

Таким образом, дальнейшее усовершенствование технологии и снижение стоимости пенометаллов сильно увеличит область применения металлической пены в строительной отрасли.

Металлическая пена является материалом будущего, обладающая уникальными свойствами.

Технический интерес представляет пропитка пористого материала (пенометалла) различными жидкими веществами.

В этом случае необходимо использовать методы получения пенометаллов с большим количеством сквозных пор. Методы определения пористости хорошо известны. Оптимальные размеры пор для каждого вещества зависят от его физико-химических свойств (вязкости, прилипаемости, температуры и т.д.), что определяется экспериментальными способами.

Список библиографических ссылок

1. Свойства пеноалюминия. 2016 URL: <http://nvcemt.ru/a83352-svoystva-penoaluminiuma.html> (дата обращения: 28.04.2017).
2. Fraunhofer IFAM. // 2010.URL: <http://www.ifam.fraunhofer.de/> (дата обращения: 29.04.2017).

3. Пеноматериалы (пенометаллы). 2013. URL: <http://ekokataliz.ru/penomaterials/> (дата обращения: 22.04.2017).
4. Бутарович Д. О., Смирнов А. А., Рябов Д. М. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства // Известия высших учебных заведений. 2011. № 7. С. 53–58.
5. Сарафанов М. А. Новая технология и оборудование для получения конструкционных материалов на основе пеноалюминия // Тяжелое машиностроение. 2011. № 2. С. 34–38.
6. Aluminiumfoamsandwich (пеноалюминиевая сэндвич – панель) // Wikipedia, the free encyclopedia. 2014. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_foam_sandwich (дата обращения: 25.04.2017).
7. Иванов Д. О. Перспективные методы получения пеноалюминия // Металлургия машиностроения. 2008. № 6. С. 35–38.
8. Вспененный алюминий // 2015. URL: <http://www.cosmus.ru/stat/Vspennyialuminiivposlednie.html> (дата обращения: 25.03.2017).
9. Canadian Manufacturing – Cymat // URL: <http://www.canadianmanufacturing.com/> (дата обращения: 28.05.2017).
10. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
11. Способ получения пенометалла : пат. 2046151 Рос. Федерация. № 5011037/02 ; заявл. 11.07.1990 ; опубл. 20.10.1995. 22 с.
12. Kovacik J., Simancik F. Comparison of zinc and aluminium foam behaviour // Kovove materialy. 2004. Vol. 42. № 2. P. 79–90.
13. Vanhart J. Manufacturing routes for metallic foams // J. of metals. 2000. Vol. 52. P. 22–27.
14. Крушенко Г. Г., Редькин В. Е., Ардамин В. А. Технологии получения и применение пенометаллов в технике // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники: материалы VI Всерос. научно-техн. конф / ОмГТУ. Омск, 2011. С. 116–118.
15. Цукров С. С. Пеноалюминий // Уральский рынок металлов. 2009. № 11. С. 30–35.

Lapin I.V. – post-graduate student, assistant

E-mail: 89003222142@mail.ru

Kuznetsov V.G. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: aschess@yandex.ru

Aminova G.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: a_guzel@mail.ru

Kazan State Technological University

The organization address: 420015, Russia, Kazan, K. Marks st., 68

New modifications of metals in modern production

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to consider the introduction of highly promising new materials in the construction industries. Create effective porous materials that have unique characteristics that are useful not only for production, but also in many spheres of human activity.

Results. The main results of the study are the methods for the production of foam metals by various technologies, types of processing of products. The characteristics of porous structures for the further formation of open and closed pores are shown, as well as the production of closed-cell and open-celled aluminum.

Conclusions. The importance of use in the construction industry will greatly expand the scope of application of metal foams in the form of fireproof partitions and facing material in facade elements of buildings, light and fireproof elevator cabins, increase the rigidity of hollow profiles, strengthen anchors in concrete walls, manufacture heat-resistant damping materials and

much more. The main factor is the further improvement of technology and the reduction of the cost of the ferro-metals.

Of technical interest is impregnation of a porous material (foammatal) with various liquid substances.

Keywords: porous materials, metal foams, open and closed pores, pressing and sintering.

References

1. Properties of foam aluminum // 2016 URL: <http://nvcent.ru/a83352-svoystva-penoaluminiumiya.html> (reference date: 28.04.2017).
2. Fraunhofer IFAM. 2010. URL: <http://www.ifam.fraunhofer.de/> (reference date: 29.04.2017).
3. Foam materials (foams). 2013. URL: <http://ekokataliz.ru/penomaterials/> (reference date: 22.04.2017).
4. Butarovich D. O., Smirnov A. A., Ryabov D. M. Penoaluminium as an energy-absorbing material and its mechanical properties // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii*. 2011. № 7. P. 53–58.
5. Sarafanov M. A. New technology and equipment for the production of structural materials based on foam aluminum // *Heavy engineering*. 2011. № 2. P. 34–38.
6. Aluminiumfoamsandwich (foam-aluminum sandwich panel) // Wikipedia, the free encyclopedia. 2014. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_foam_sandwich (reference date: 24.04.2017).
7. Ivanov D. O. Promising methods of obtaining foam aluminum, *Metallurgy of Mechanical Engineering*. 2008. № 6. P. 35–38.
8. Foamed aluminum // 2015. URL: <http://www.cosmus.ru/stat/Vspenennyialyminiiyposlednie.html> (reference date: 25.03.2017).
9. Canadian Manufacturing – Cymat. URL: <http://www.canadianmanufacturing.com/> (reference date: 28.05.2017).
10. Method for manufacturing a steel support of polyhedral cross-section: pat. 2556603 Russian Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.14 ; publ. 10.07.15, Bul. № 19. 5 p.
11. Method for producing a foam metal : pat. 2046151 Ros. Federation. № 5011037/02 ; Claimed. 11.07.1990 ; Publ. 20.10.1995. 22 c.
12. Kovacic J., Simancik F. Comparison of zinc and aluminum foam behavior // *Kovove materialy*. 2004. Vol. 42. № 2. P. 79–90.
13. Banhart J. Manufacturing routes for metallic foams // *J. of metals*. 2000. Vol. 52. P. 22–27.
14. Krushenko G. G., Redkin V. E., Ardamin V. A. Technologies of production and use of foam metals in engineering // *Problems of development, manufacture and operation of rocket-space and aviation equipment: materials VI All Russian scientific and technical conference / OmGTU. Omsk*, 2011. P. 116–118.
15. Tsukrow C. C. Foam Aluminum // *Ural'skiy rynek metallov*. 2009. № 11. P. 30–35.

УДК 678.643.425.033:620.193.8

Строганов В.Ф. – доктор химических наук, профессор

E-mail: svf08@mail.ru

Сагадеев Е.В. – доктор химических наук, профессор

E-mail: sagadeev@list.ru

Вахитов Б.Р. – аспирант

E-mail: vbrcorp@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Применение модельных сред для оценки биостойкости минеральных строительных материалов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования - подбор состава модельной среды для оценки биостойкости минеральных строительных материалов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что экспериментально обоснован и предложен состав модельной среды (состоящей из одноосновной уксусной, двухосновной щавелевой и трехосновной лимонной кислот) для моделирования процессов биоповреждения минеральных строительных материалов. Оценена роль индивидуальных карбоновых кислот в моделировании процессов биоповреждения цементно-песчаных растворов.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в итоге проведенных исследований подобран состав модельной среды для оценки биостойкости минеральных строительных материалов. Установлено, что присутствие уксусной кислоты в модельной смеси карбоновых кислот необходимо минимизировать или полностью исключить при замене ее другим сочетанием карбоновых кислот.

Ключевые слова: цементно-песчаный раствор, уксусная кислота, щавелевая кислота, лимонная кислота, модельная смесь карбоновых кислот.

Как известно, проблема биологической коррозии минеральных строительных материалов, изделий и конструкций на их основе является весьма актуальной и многогранной [1, 2]. Различные виды биодеструкторов: бактерии [3], плесневые грибы [2], а также мхи, лишайники, водоросли и растения заселяя поверхность минеральных строительных материалов, обуславливают их разрушение. На долю микроорганизмов приходится более 40 % всех биоповреждений в строительной отрасли [2]. Это обстоятельство вызывает необходимость проведения исследований по изучению механизмов и стадий биодеструкции [4, 5] и разработке методов увеличения прочностных характеристик минеральных строительных материалов [6].

Как отмечалось ранее [2, 7], экспериментальные исследования биоповреждения строительных материалов с использованием штаммов микроорганизмов в силу объективных причин: трудо- и материалозатратны, опасны для здоровья экспериментаторов и не позволяют изучать кинетику процессов биокоррозии. В этой связи для проведения исследований процессов биоповреждения строительных материалов нами предлагается и используется косвенный метод оценки биостойкости строительных материалов в растворах карбоновых кислот, моделирующих продукты метаболизма плесневых грибов [2, 8]. Для аппаратного обеспечения предложенного метода разработано несколько запатентованных вариантов кинетической лабораторной установки, позволяющей испытывать строительные материалы на биостойкость в широком интервале температур и pH среды [9, 10]. Используемые модельные среды представляют собой водные растворы одно-, двух- и трехосновных карбоновых кислот (уксусная, щавелевая, янтарная, глутаровая, яблочная, винная, лимонная и др.) различной концентрации [11]. Однако известно, что плесневые грибы в процессе своей жизнедеятельности продуцируют более широкий спектр карбоновых кислот различной основности [2]. Поэтому, при моделировании процессов биоповреждения минеральных

строительных материалов предпочтительнее использовать не индивидуальные кислоты, а смесь карбоновых кислот, качественный и количественный состав которых соответствует культуральной жидкости плесневых грибов и может быть идентифицирован методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [12].

Ранее в работе [7] при моделировании в течение 28 суток (согласно ГОСТ 9.048-89) при температуре 25 °С процессов биоповреждения цементно-песчаных растворов (ЦПР), применялась модельная среда состоящая из одноосновной уксусной, двухосновной щавелевой и трехосновной лимонной кислот. Состав модельной среды подбирался в строго определенном количественном соотношении (табл. 1) и имел значение pH = 3 (рекомендуемое в литературе для карбоновых кислот [2]).

Таблица 1

Состав модельной среды для испытания образцов ЦПР на биостойкость в течении 28 суток при температуре 25 °С [7]

Компоненты смеси	Концентрация кислот в смеси (об. %)
Уксусная кислота	33,0
Щавелевая кислота	50,0
Лимонная кислота	17,0

Однако в процессе экспозиции образцов ЦПР в модельной среде в лабораторной кинетической установке выяснился неожиданный эффект: сложность автоматического удерживания pH среды на заданном уровне. Значение pH модельной среды постоянно сдвигалось в щелочную область и для удержания pH на заданном уровне требовалось периодически подливать свежую модельную среду, что не только увеличило ее расход, но и снижало точность проведения эксперимента. Обнаруженный эффект, по-видимому, объясняется тем, что в процессе экспозиции образцов ЦПР в модельной среде происходило взаимодействие (комплексообразование) уксусной кислоты с вымываемыми в раствор солями Ca^{2+} с образованием хорошо растворимой в воде соли ацетата кальция $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (рис. 1).

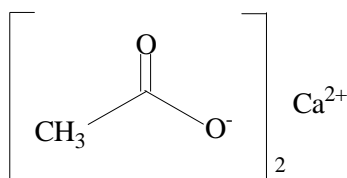


Рис. 1. Структура ацетата кальция

В связи с тем, что соль ацетата кальция образована основанием средней силы и слабой органической кислотой, то ее гидролиз протекает по аниону с образованием гидроксид-ионов (OH^-):

Первая стадия гидролиза

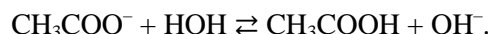
Молекулярное уравнение:



Полное ионное уравнение:

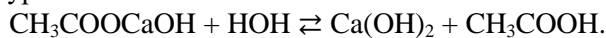


Краткое ионное уравнение:



Вторая стадия гидролиза

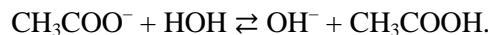
Молекулярное уравнение:



Полное ионное уравнение:



Краткое ионное уравнение:



Таким образом, образующиеся в ходе гидролиза ацетата кальция гидроксид-ионы, сильно подщелачивают модельную среду.

Следует отметить, что в отличие от уксусной кислоты, другие компоненты модельной среды - щавелевая и лимонная кислоты в процессе экспозиции образцов ЦПР в среде образуют нерастворимые в воде соли: оксалат кальция CaC_2O_4 (рис. 2) и цитрат кальция $\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$ (рис. 3), которые в процессе проведения эксперимента по оценке биостойкости ЦПР оседают на образцах или на дне испытательной емкости лабораторной кинетической установки.

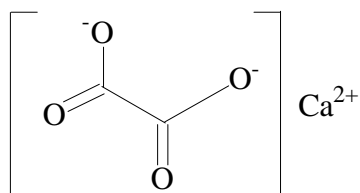


Рис. 2. Структура оксалата кальция

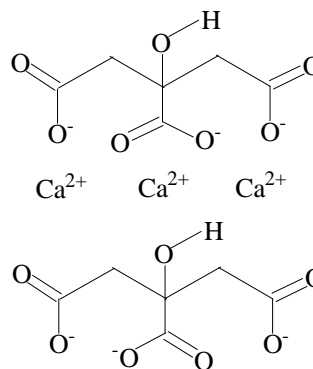


Рис. 3. Структура цитрата кальция

Структура оксалата кальция (рис. 2) и цитрата кальция (рис. 3) идентифицирована ИК-спектрально на основании анализа частот валентных колебаний свободных и связанных (участвующих в образовании хелатных комплексов с ионами Ca^{2+}) гидроксильных групп, полос валентных колебаний карбонильных групп $\text{C}=\text{O}$ и карбоксилат-анионов COO^- . Установлено отсутствие частот валентных колебаний свободных карбоксильных групп COOH , что, по видимому, свидетельствует об их участии в реакции комплексообразования с ионами Ca^{2+} .

С целью уменьшения отрицательного влияния установленного эффекта, был скорректирован количественный состав модельной среды (табл. 2) и сокращено время экспозиции образцов ЦПР.

Известно, что согласно правилу Вант-Гоффа повышение температуры модельной среды на каждые десять градусов в 2-4 раза ускоряет процесс биодеструкции минеральных строительных материалов, что позволяет сократить время проведения испытаний. Дальнейшее изучение процессов биодеструкции ЦПР проводилось в течение 8 суток при температуре модельной среды $40\text{ }^\circ\text{C}$ и $\text{pH} = 3$. В связи с повышением температуры среды с 25 до $40\text{ }^\circ\text{C}$ и сокращением времени экспозиции образцов ЦПР с 28 до 8 суток проведена экспериментальная корректировка процентного состава компонентов исходной модельной среды при удержании уровня $\text{pH} = 3$. При данном количественном соотношении карбоновых кислот сильно уменьшилось образование водорастворимой соли ацетата кальция и значение pH среды стабилизировалось на одном уровне. Это очевидно можно объяснить только преобладающим влиянием трехосновной гидроксикарбоновой лимонной кислоты, концентрация которой в смеси была увеличена в два раза за счет уменьшения концентрации двухосновной щавелевой кислоты. Предложенный вариант состава модельной среды приведен в табл. 2.

Таблица 2

Состав модельной среды для испытания образцов ЦПР на биостойкость в течении 8 суток при температуре $40\text{ }^\circ\text{C}$

Компоненты смеси	Концентрация кислот в смеси (об. %)
Уксусная кислота	45,5
Щавелевая кислота	21,7
Лимонная кислота	32,8

В данной модельной среде проведено изучение биостойкости образцов ЦПР на основе портландцементов М500 ЦЕМ I 42,5 Н и М400 ЦЕМ II/А-П 32,5 Н в лабораторной кинетической установке, согласно описанному в работах [9, 11].

На рис. 4 представлены кинетические зависимости $R_{изг} = f(t)$ изменения прочностных характеристик образцов ЦПР после экспозиции в модельной среде при температуре 40 °С.

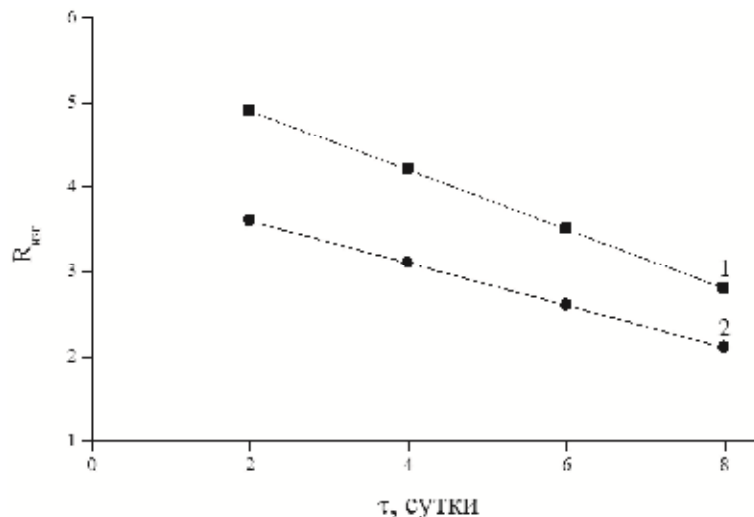


Рис. 4. Изменение прочности на изгиб образцов ЦПР во времени при экспозиции в модельной среде:

1 – портландцемент М500 ЦЕМ I 42,5 Н; 2 – портландцемент М400 ЦЕМ II/А-П 32,5 Н

На рис. 5 представлены кинетические зависимости $R_{сж} = f(t)$ изменения прочностных характеристик образцов ЦПР после экспозиции в модельной среде при температуре 40 °С.

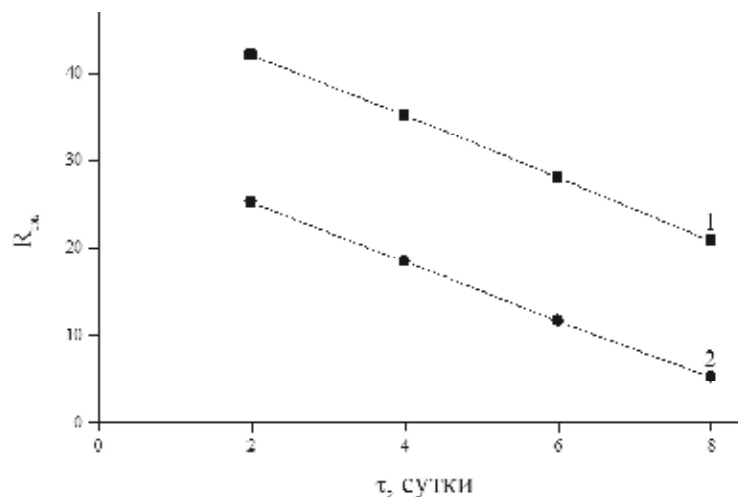


Рис. 5. Изменение прочности на сжатие образцов ЦПР во времени при экспозиции в модельной среде:

1 – портландцемент М500 ЦЕМ I 42,5 Н; 2 – портландцемент М400 ЦЕМ II/А-П 32,5 Н

При анализе полученных кинетических зависимостей наблюдается уменьшение прочностных характеристик ЦПР при экспозиции в модельной смеси, что свидетельствует о протекании процесса разрушения образцов. Следует отметить, что во всех случаях наблюдается линейный характер зависимостей $R_{изг} = f(t)$ и $R_{сж} = f(t)$. При этом коэффициент корреляции установленных зависимостей r составляет не менее 0,999, а значение стандартного отклонения S_d равно 0,01 и менее. Линейный (а не изначально

предполагаемый полиномиальный) характер установленных зависимостей, по-видимому, объясняется тем, что со вторых суток проведения кинетического эксперимента скорость процессов взаимодействия (комплексообразования) компонентов модельной среды с образцами ЦПР становится практически постоянной. При вымывании солей Ca^{2+} из образцов ЦПР происходит их взаимодействие с карбоновыми кислотами среды с образованием нерастворимых в воде солей оксалата и цитрата кальция. По мере выхода солей кальция в среду, мелкокристаллический кварцевый песок ссыпается с вертикально стоящих образцов ЦПР и оседает на дно испытательной емкости кинетической установки. Таким образом, для взаимодействия со средой открываются новые участки поверхности образцов ЦПР и процесс взаимодействия с модельной средой многократно продолжается. При этом общая площадь всех образцов ЦПР, участвующих в реакции взаимодействия с фиксированным объемом модельной среды в течение восьми суток практически не меняется, что, по-видимому, и обуславливает постоянную скорость процесса взаимодействия кальциевых солей ЦПР с компонентами модельной среды и линейный характер кинетических зависимостей падения прочностных характеристик.

Количественно процесс взаимодействия ЦПР со средой (табл. 3) представлен в данных потери прочности образцов ЦПР после экспозиции в модельной среде, которые подтверждают кинетические зависимости.

Таблица 3

**Изменение прочностных характеристик ЦПР после экспозиции в течение 8 суток
в модельной среде при 40 °С**

Марка портландцемента для изготовления ЦПР	Потеря прочности, %	
	$DR_{изг}$	$DR_{сж}$
M500 ЦЕМ I 42,5 Н	60,6	51,4
M400 ЦЕМ II/A-II 32,5 Н	68,2	83,9

Для сравнения с данными табл. 3, в табл. 4 представлены значения потери прочности образцов ЦПР после экспозиции в среде уксусной кислоты, а в табл. 5 - после экспозиции в среде лимонной кислоты.

Таблица 4

**Изменение прочностных характеристик ЦПР после экспозиции в течение 8 суток
в среде уксусной кислоты при 40 °С**

Марка портландцемента для изготовления ЦПР	Потеря прочности, %	
	$DR_{изг}$	$DR_{сж}$
M500 ЦЕМ I 42,5 Н	35,2	37,4
M400 ЦЕМ I 32,5 Н	37,9	49,8

Таблица 5

**Изменение прочностных характеристик ЦПР после экспозиции в течение 8 суток
в среде лимонной кислоты при 40 °С**

Марка портландцемента для изготовления ЦПР	Потеря прочности, %	
	$DR_{изг}$	$DR_{сж}$
M500 ЦЕМ I 42,5 Н	47,9	54,9
M400 ЦЕМ II/A-II 32,5 Н	74,2	62,5

На основе анализа данных табл. 3-5 можно сделать вывод о том, что биостойкость ЦПР, определяется не только маркой портландцемента и временем экспозиции в модельной среде, но и ее химическим составом. Следует также отметить, что значения потери прочности ЦПР как на изгиб, так и на сжатие после экспозиции в модельной среде смеси кислот и в среде индивидуальной лимонной кислоты достаточно близки между

собой. Например, потеря прочности на изгиб ЦПР на основе портландцемента М400 ЦЕМ II/A-II 32,5 Н в модельной среде составляет 68,2 %, а в среде лимонной кислоты - 74,2 %. Потеря прочности на сжатие ЦПР на основе портландцемента М500 ЦЕМ I 42,5 Н в модельной среде составляет 51,4 %, а в среде лимонной кислоты - 54,9 %. В тоже время, следует отметить, что значения потери прочности ЦПР как на изгиб, так и на сжатие после экспозиции в среде индивидуальной уксусной кислоты оказались значительно меньше, чем в модельной среде смеси кислот. На основании анализа кинетических данных можно сделать вывод, что основной вклад в процесс биоповреждения ЦПР при экспозиции в модельной среде трех кислот, по-видимому, вносит комплекс лимонной и щавелевой кислот проявляющих, таким образом, эффект синергизма (взаимоусиление).

Таким образом, на основании полученных результатов исследований следует отметить, что присутствие уксусной кислоты в модельной смеси карбоновых кислот необходимо минимизировать или полностью исключить при замене ее другим сочетанием карбоновых кислот. Применение щавелевой и лимонной кислот в новых перспективных вариантах модельных смесей для оценки биостойкости минеральных строительных материалов, по-видимому, является наиболее целесообразным.

Список библиографических ссылок

1. Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde Ch. C. Introduction to biodeterioration. Cambridge University Press, Cambridge. 2004. 252 p.
2. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов: монография. Казань : КГАСУ, 2014. 200 с.
3. Anichi S. E., Abu G. O. Biodeterioration of pipeline concrete coating material by iron oxidizing and sulphate reducing bacteria // Journal of petroleum and environmental biotechnology. 2012. V. 3. № 1. P. 1- 5.
4. Marquez J. F., Sanchez-Silva M., Husserl J. Review of reinforced concrete biodeterioration mechanisms: Abstracts of the VIII International conference on fracture mechanics of concrete and concrete structures / Toledo, Spain, 2013. P. 1- 9.
5. Silva M. R., Naik T. R. Biodeterioration of concrete structures in coastal zone: Abstracts of the 3rd international conference on sustainable construction materials and technology / Kyoto, Japan, 2013. P. 1- 8.
6. Ибрагимов Р. А., Изотов В. С. Влияние механохимической активации вяжущего на физико-механические свойства тяжелого бетона // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 17- 19.
7. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Проблемы биоповреждения минеральных строительных материалов в модельных средах // Известия КГАСУ. 2014. № 3 (29). С. 140- 147.
8. Способ испытания строительных материалов на биостойкость : патент № 2471188 Рос. Федерация. № 2011142738/15 ; заявл. 21.10.2011 ; опубл. 27.12.2012. Бюл. № 36. 5 с.
9. Лабораторная установка для испытания образцов строительных материалов на биостойкость в модельных средах : патент № 151772 Рос. Федерация. № 2014106685/15; заявл. 21.02.2014 ; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. 2 с.
10. Лабораторная установка для испытания образцов строительных материалов на биостойкость в модельных средах: патент № 170410 Рос. Федерация. № 2016123279; заявл. 10.06.2016; опубл. 24.04.2017. Бюл. № 12. 1 с.
11. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В., Вахитов Б. Р. Исследование устойчивости цементно-песчаных растворов при экспозиции в среде карбоновых кислот: лимонной и щавелевой // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (33). С. 153- 158.
12. Yakovleva G. Yu., Zajnullina A. R., Stroganov V. F., Sagadeev E. V., Vahitov B. R., Bayazitova A. A., Okunев R. V., Ilinskaya O. N. Assessment of biodamage resistance of various concrete grades // International journal of pharmacy and technology. V. 8. №. 4. 2016. P. 24291- 24299.

Stroganov V.F. – doctor of chemical sciences, professor

E-mail: svf08@mail.ru

Sagadeev E.V. – doctor of chemical sciences, professor

E-mail: sagadeev@list.ru

Vahitov B.R. – post-graduate student

E-mail: vbrcorp@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Application of model mediums for the biostability assessment of mineral construction materials

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to select the composition of the model medium for assessing the biostability of mineral construction materials.

Results. The main results of the study are that experimentally justified and proposed the composition of the model medium (consisting of monobasic acetic, dibasic oxalic and tribasic citric acids) for modeling the processes of biodeterioration of mineral construction materials. The role of individual carboxylic acids in the modeling of biodeterioration processes of cement-sand mortars is estimated.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that as a result of the studies carried out, the composition of the model environment for the assessment of the biostability of mineral construction materials was selected. Found that the presence of acetic acid in carboxylic acids model mixture should be minimized or completely eliminated by replacing it with another combination of carboxylic acids.

Keywords: cement-sand mortar, acetic acid, oxalic acid, citric acid, model medium of carboxylic acids.

References

1. Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde Ch. C. Introduction to biodeterioration. Cambridge University Press, Cambridge. 2004. 252 p.
2. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Introduction to the biodeterioration of construction materials: monograph. Kazan : KGASU, 2014. 200 p.
3. Anichi S. E., Abu G. O. Biodeterioration of pipeline concrete coating material by iron oxidizing and sulphate reducing bacteria // Journal of petroleum and environmental biotechnology. 2012. V. 3. № 1. P. 1- 5.
4. Marquez J. F., Sanchez-Silva M., Husserl J. Review of reinforced concrete biodeterioration mechanisms: Abstracts of the VIII International conference on fracture mechanics of concrete and concrete structures / Toledo, Spain, 2013. P. 1- 9.
5. Silva M. R., Naik T. R. Biodeterioration of concrete structures in coastal zone: Abstracts of the 3rd international conference on sustainable construction materials and technology / Kyoto, Japan, 2013. P. 1- 8.
6. Ibragimov R. A., Izotov V. S. Influence of mechanochemical activation of binder on physico-mechanical properties of heavy concrete // Stroitel'nyye materialy. 2015. № 5. P. 17- 19.
7. Stroganov V.F., Sagadeev E.V. The problems of biodeterioration of mineral construction materials in model test // Izvestiya KGASU, 2014, № 3 (29). P. 140- 147.
8. The test method of construction materials on biostability : patent 2471188 of the Rus. Federation. № 2011142738 ; decl. 21.10.2011 ; publ. 27.12.12. Bull. in № 36. 5 p.
9. The laboratory setup for testing samples of construction materials on the biostability in modeling mediums : patent № 151772 of the Rus. Federation. № 2014106685/15 ; decl. 21.02.2014 ; publ. 20.04.2015. Bull. in № 11. 2 p.
10. The laboratory setup for testing samples of construction materials on the biostability in modeling mediums : patent № 170410 of the Rus. Federation. № 2016123279 ; decl. 10.06.2016 ; publ. 24.04.2017. Bull. in № 12. 1 p.
11. Stroganov V. F., Sagadeev E. V., Vahitov B. R. The investigation of the stability of cement-sand mortar during the exposure in the carboxylic acids medium: citric and oxalic acids // Izvestiya KGASU, 2015, № 3 (33). P. 153- 158.
12. Yakovleva G. Yu., Zajnullina A. R., Stroganov V. F., Sagadeev E. V., Vahitov B. R., Bayazitova A. A., Okunev R. V., Ilinskaya O. N. Assessment of biodamage resistance of various concrete grades // International journal of pharmacy and technology. V. 8. № 4. 2016. P. 24291- 24299.

УДК 691.327

Шелихов Н.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: shelihov@kgasu.ru

Смирнов Д.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: denis27111974@yandex.ru

Мавлиев Л.Ф. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Сагдиев Р.Р. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Обследование материалов исторических конструкций при восстановлении Собора Казанской иконы Божьей Матери

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования выявить физико-технические свойства и состояния найденных остатков исторических полов и кирпичной кладки Пещерного храма собора Казанской иконы Божьей Матери, а также возможности их использования в постоянном и многолюдном режиме эксплуатации храма.

Результаты. Основные результаты состоят в исследовании строительных материалов с применением стандартных методов и методов неразрушающего контроля и установления характеристик руинированных остатков бетонного пола и кирпичной кладки Пещерного храма собора Казанской иконы Божьей Матери.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли архитектуры состоит в установлении характеристик и состава мелкозернистого бетона остатков покрытия пола для оценки возможности реставрации Пещерного храма собора Казанской иконы Божьей Матери.

Ключевые слова: руинированные остатки, бетонные полы, кирпичная кладка, обследование зданий.

Введение

Президентом Татарстана Р.Н. Миннихановым 4 ноября 2015 г. был подписан Указ № УП-1066 «О создании Болгарской исламской академии и воссоздании Собора Казанской иконы Божьей матери».

2 декабря 2015 г. своё благословение на это дал Святейший Патриарх Московский и всея Руси Кирилл, поставивший на эскизном проекте собора резолюцию: «Благословляю воссоздание Казанско-Богородицкого монастыря, которое является восстановлением исторической справедливости и залогом братского взаимопонимания и совместного мирного жития православных и мусульман на земле Татарстана».

Собор Казанской иконы Божьей Матери [1-5] был заложен в 1798 г. на месте снесенного по ветхости древнего каменного собора 1595 года, построенного на месте обретения в 1579 г. чудотворной Казанской иконы Божьей Матери.

На месте непосредственного обретения чудотворной иконы было решено реконструировать под часовню и храм подвальные помещения собора. Работы были завершены к весне 1913 г. Открытие храма, названного по положению «Пещерным», состоялось 20 апреля 1913 г. В 1932 году храм был разрушен.

Проектом воссоздания собора Казанской иконы Божьей Матери в качестве действующего храма предусмотрено воссоздание и Пещерного храма с часовней. Однако, в процессе строительных работ на Пещерном храме возникли противоречия.

С одной стороны при проведении археологических раскопок Собора в 2016 были обнаружены исторические полы по грунтовому основанию, которые включены в «предмет охраны» и не подлежат демонтажу, а также остатки кирпичных стен и кладочного раствора.

С другой стороны предусмотренное проектом воссоздания собора устройство теплых полов требует частичного демонтажа исторических полов.

Для разрешения этого противоречия необходимо исключение из списка «предмета охраны» пункта – «исторические полы» или замены его на «фрагментарное сохранение отдельных участков исторических полов». Достаточным основанием для этого являются результаты оценки состояния бетона исторических полов [6-8].

Цель работы

Целью настоящей работы являются установление физико-технических свойств и состояния найденных остатков исторических полов и кирпичной кладки, а также возможности их использования в постоянном и многолюдном режиме эксплуатации храма.

Экспериментальная часть

1. Визуальный осмотр, отбор проб и методика исследования руинированных остатков «Пещерного» храма

Визуальный осмотр и отбор проб для определения физико-механических характеристик проводился сотрудниками КГАСУ совместно со специалистами «ГУП «Татинвестгражданпроект», и представителями ООО «Евростройхолдинг+».

При обследовании руинированных остатков «Пещерного храма» установлено, что во всех помещениях на высоту примерно от 0,5 до 1,8 м сохранена старая кладка из керамического кирпича со штукатурным раствором (рис. 1). Выше этого уровня стены продолжены современной кладкой из керамического кирпича.

Видимые трещины по штукатурному раствору наблюдаются только в левой части помещения часовни (рис. 2). Также имеются незначительные участки отслоения штукатурного раствора в помещении часовни у стен иконостаса, по всей видимости, вызванные механическими воздействиями на него в процессе строительства.



Рис. 1. Сохранившаяся и новая кирпичная кладка

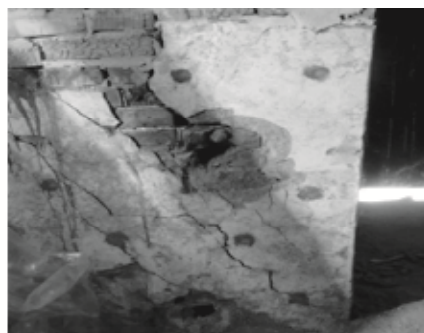


Рис. 2. Видимые трещины по штукатурному раствору

Для определения характеристик материалов стен проводилось выборочное контрольное зондирование кладки.

Пробы материалов для зондирования отбирались из различных слоев конструкции для последующего определения влажности, средней плотности, прочности и деформативных свойств.

Образцы керамического кирпича с остатками кладочного раствора были отобраны на участке в основании арочного свода и на участке в основании бетонного пола. Образцы штукатурного раствора были отобраны с колонны и со стены иконостаса в помещении часовни.

Прочность кирпича, кладочного и штукатурного раствора дополнительно оценивали с помощью методов неразрушающего контроля прибором ИПС (метод ударного импульса).

На каждом участке производилось по 15 единичных измерений. Среднеквадратическое отклонение результатов измерений составило не более 9 %. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты неразрушающего контроля

№ п/п	Исследуемый материал	Участки	Прочность при сжатии, $R_{сжс}$ МПа
1	Керамический кирпич	2	16,5
		3	17,0
		4	11,9
		12	11,8
2	Кладочный раствор	8	12,8
3	Штукатурный раствор	5	9,0
		6	7,6
		7	7,5
		9	8,5
		10	7,7
		11	8,0

Для определения несущей способности грунта и бетонного пола применялся метод основанный на прямых измерениях амплитуды перемещения штампа и ударной силы, действующей на круглый жесткий штамп. Измерения производили прибором «ZORN» (рис. 3), позволяющий определить динамический модуль деформации, который при отсутствии необратимых деформаций грунта совпадает с динамическим модулем упругости, табл. 2.

Таблица 2

Результаты штамповых испытаний

№ п/п	Исследуемый материал	Участки	Динамический модуль упругости на поверхности слоя E_D , МПа
1	Поверхность бетонного пола	18	118,5
		19	119,1
		20	93,8
2	Поверхность грунта под слоем бетона с обломочными включениями боя керамического кирпича и щебня из осадочных пород.	14	79,2
3	Поверхность грунта на глубине 25 см с незначительным содержанием обломочных включений боя керамического кирпича и щебня из осадочных пород.	14а	32,1



Рис. 3. Штамповые испытания прибором «ZORN»

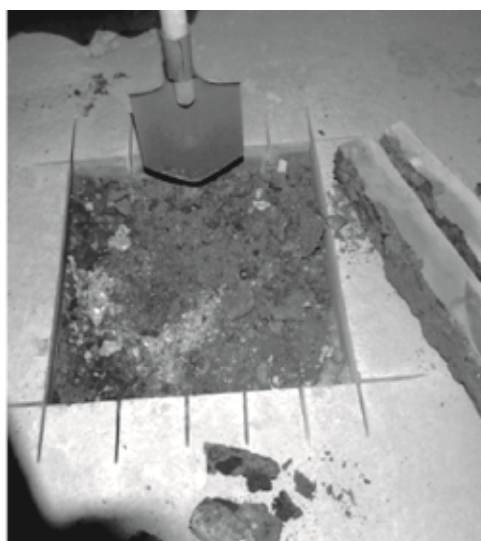


Рис. 4. Отбор проб бетона из покрытия пола

Для оценки прочностных и деформативных характеристик материала бетонного пола на участке (13) было отобрано 5 образцов (рис. 4). Образцы выпиливались из пола с помощью углошлифовальной машины «Makita». Ширина и высота образцов колеблется в интервале от 3-7 см, длина 40 см. Образцы отобранных проб (керамического кирпича, штукатурного и кладочного раствора, бетонного пола) были доставлены в лаборатории КГАСУ:

1. Лаборатория кафедры «Строительных материалов»;
2. Лаборатория ИДНПЦ.

Перед испытаниями отобранные пробы материалов предварительно высушивались до постоянной массы сначала при температуре 60°C в течение 4 часов, а затем при 85°C в течение еще 6 часов (рис. 5).

После определения влажности из отобранных проб с помощью камнерезного станка «Cedima» (рис. 6) вырезались образцы правильной формы в виде куба или параллелепипеда.



Рис. 5. Высушивание образцов



Рис. 6. Подготовка образцов

Определялись параметры состояния материалов стандартными методами. Так как получить образец правильной геометрической формы из отобранных проб кладочного раствора не было возможности, его плотность определяли методом гидростатического взвешивания.

У образцов керамического кирпича дополнительно определялось водопоглощение. Результаты определения прочности на сжатие штукатурного раствора приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения прочности штукатурного раствора на сжатие

№ п/п	Участок	Геометрические размеры, см		Площадь, см ²	Нагрузка, кг	Прочность при сжатии, кг/см ²
		а	в			
1	15	3,51	3,57	12,5	795	63,44
2		3,66	4,11	15,0	1075	71,46
3		3,03	3,85	11,7	780	66,86
4		3,69	4	14,8	1014	68,70
5		3,71	3,89	14,4	1085	75,18
6		3,38	3,8	12,8	810	63,06
7		3,47	3,89	13,5	994	73,64
8	16	3,4	4,4	14,96	1095	73,2
9		3,4	4,35	14,79	1170	79,11
10		2,95	3,95	11,653	935	80,24

Поскольку толщина слоя штукатурного раствора на стене иконостаса в помещении часовни была недостаточной (10-18 мм) образцы проб склеивали между собой (рис. 7) цементно-песчаным раствором состоящего из равных по массе частей цемента марки 400 и песка, просеянного через сито с сеткой № 1,25 (В/Ц = 0,40-0,42).



Рис. 7. Склеенные образцы штукатурного раствора

Образцы штукатурного раствора погружали в воду на 1 мин. Затем на горизонтальную поверхность одной пробы штукатурного раствора наносили слой раствора толщиной не более 5 мм и сверху на раствор укладывали вторую пробу штукатурного раствора. Через 3 суток выдержки в помещении при температуре $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60-80 % склеенные пробы штукатурного раствора распиливались на образцы правильной кубической формы и испытывались на сжатие.

Результаты определения прочности бетонного пола на сжатие приведены в табл. 4, а на растяжения при изгибе в табл. 5.

Таблица 4

Результаты определения прочности бетонного пола на сжатие

№ п/п	Участок	Геометрические размеры, см		Площадь, см^2	Нагрузка, кг	Прочность при сжатии, $\text{кг}/\text{см}^2$
		а	в			
1	13	6,8	6,4	43,5	6285	144,42
2		6,5	6,5	42,3	6400	151,48
3		6,7	6,5	43,6	8000	183,70

Таблица 5

Результаты определения прочности бетонного пола на растяжение при изгибе

№ п/п	Участок	Геометрические размеры, см		Расстояние между опорами, см	Нагрузка, кг	Прочность на растяжение при изгибе, $\text{кг}/\text{см}^2$
		в	h			
1	13	9,1	6,1	20	142	12,58
2		6,9	6,7	20	115	11,14
3		8,4	6,2	20	124	11,52

Результаты определения прочности керамического кирпича на сжатие приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты определения прочности керамического кирпича на сжатие

№ п/п	Участок	Геометрические размеры, мм		Площадь, см^2	Нагрузка, кг	Прочность при сжатии, $\text{кг}/\text{см}^2$
		а	в			
1	1	68	76	51,7	3000	58,0
2		60,5	74	44,8	2210	49,3
3		78	70	54,6	2700	49,5
4	17	62	63,5	39,4	5960	151,3
5		60	65	39,0	6220	159,5
6		59	61	36,0	6710	186,4

2. Анализ состава отобранных проб бетонного пола и штукатурного раствора

Анализ состава бетона исторических полов и кладочного раствора проводился на отобранных пробах.

Визуальный осмотр

Для полов применялся мелкозернистый бетон без крупного заполнителя. Установлено, что макроструктура бетона неоднородная. Нижние слои имеют включения битого кирпича, кусков карбонатных пород и других случайных материалов.

По всей толщине бетон карбонизирован. При обработке соляной кислотой наблюдается вскипание, что свидетельствует о наличии в бетоне карбонатной составляющей. Обработка сколов бетона фенолфталеином показала отсутствие щелочной среды, т.е. наличия CaO и MgO.

Определение вещественного состава

Отобранные пробы бетона дробились до крупности 5 мм с помощью молотка или пресса. Раздробленный таким образом бетон рассыпается ровным слоем и подвергался квартованию до количества 0,5 кг, после чего высушивался при температуре 110°C до постоянной массы (обозначили как B₁).

Подготовленные пробы на поддоне переносились в муфельную печь «Sno1-1300» (рис. 8), нагревались до температуры 550°C и выдерживались в течение 3 ч. После термообработки пробы охлаждались и взвешивались (обозначили как B₂)

В процессе выдержки бетона при температуре 550°C происходит дегидратация цементного камня и удаление химически связанной воды (обозначили как В). [9]

Поскольку для полной гидратации гидравлически активных минералов цемента необходимо 18-23 % воды, а также учитывая более 100 летнюю выдержку бетона (полная гидратация), количество цемента можно определить как:

$$Ц = 100 \cdot В / (18 \div 23), \quad (1)$$

где В = (B₁ – B₂) количество химически связанной воды в бетоне.



Рис. 8. Муфельная печь «Sno1-1300»

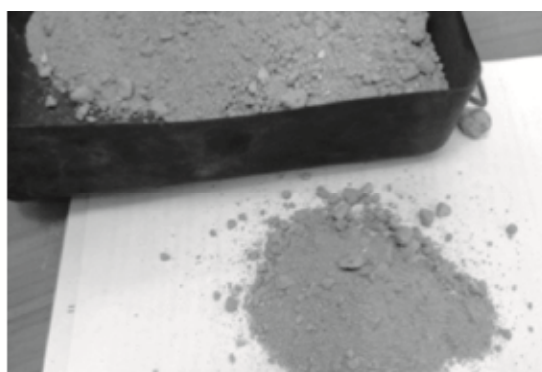


Рис. 9. Проба бетона после обжига

При термообработке бетон распадается на составные части, чему способствует легкое постукивание и разминание обожженных частиц (рис. 9).

Количество заполнителя определили как:

$$П = B_1 - Ц - В. \quad (2)$$

Одной из составляющих бетона является карбонатная фаза, количество которой определялось по результатам вторичного обжига бетона при температуре 1000°C. Потери при этом будут соответствовать количеству выделившегося CO₂, а количество карбонатной фазы определится по реакции разложения:



При вторичном обжиге бетона и штукатурки количество разложившейся карбонатной фазы, определенной по реакции разложения, значительно меньше расчетного количества заполнителя, из чего следует, что заполнитель не карбонатный.

Разложившаяся при обжиге карбонатная фаза образовалась из извести, вследствие её карбонизации за более чем 100 летний период.

Результаты определения вещественного состава бетона исторических полов представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты определения вещественного состава бетона

Показатели	Значения		
	1	2	
Масса высушенной пробы, г	270,78		Термообработка усредненной пробы бетона при температуре 550°C в муфельной печи в течение 3 часов
Масса прокаленной пробы, г	246,77		
Потери при прок. 550°C, г	24,01		
Количество хим. связ. воды, г	24,01	8,8 %	
Количество вяжущего, г	120,05	44,4 %	
Количество заполнителя, включая карбонатную фазу, г	126,63	46,7 %	
Масса высушенной пробы, г	246,77		Термообработка пробы бетона при температуре 1000°C в муфельной печи в течение 3 часов
Масса прокаленной пробы, г	257,91		
Потери при прок. 1000°C, г	10,89		
Потери при прок. 1000°C, %	4,4		
Количество карбонатной фазы, г	24,75	9,14 %	
Количество заполнителя, г	101,88	37,62 %	

Результаты и обсуждение

Ниже представлены результаты лабораторного обследования руинированных остатков «пещерного» храма.

Разброс показателей по прочности может быть вызван различными условиями твердения и эксплуатации, а также неоднородностью свойств использованных при строительстве материалов.

Конструкция полов в помещениях «Пещерного храма» выполнена в виде бетонной стяжки по грунту из мелкозернистого бетона. Грунтовое основание под полы должно обеспечивать восприятие распределенной нагрузки, передающейся через подстилающий слой, исходя из условий прочности и максимального снижения величины вертикальных деформаций поверхности пола.

Согласно СП 29.13330.2011 не допускается применять в качестве основания под полы торф, чернозем и другие растительные грунты, а также слабые грунты с модулем деформации менее 5 МПа.

Влажность проб отобранных с разных участков отличается, что говорит разности влажностного режима в помещении храма.

Так, например, влажность керамического кирпича в основании пола алтаря храма выше, чем у керамического кирпича в помещении насосной. А влажность штукатурного раствора колонны в алтаре храма, выше влажности штукатурного раствора отобранного со стены иконостаса в помещении часовни.

Среднее значение плотности кирпича, отобранного в помещении насосной, 1641 кг/м³, а у кирпича, отобранного с основания пола в алтаре храма – 1712 кг/м³.

Среднее значение плотности штукатурного раствора – 1732 кг/м³.

Среднее значение плотности кладочного раствора – 1812 кг/м³.

С учетом полученных результатов средняя прочность бетонного пола на сжатие составила 159,87 кг/см², среднеквадратическое отклонение результатов испытания

$S = 14,8$, коэффициент вариации 9 %, класс бетона по прочности на сжатие В12,5.

Согласно полученных результатов средняя прочность бетонного пола на растяжение при изгибе составила 11,75 кг/см², среднеквадратическое отклонение результатов испытания $S = 0,53$, коэффициент вариации 4,5 %, класс бетона по прочности на растяжение при изгибе В_{тб} 0,8

Первоначальный состав бетона исторических полов:

Заполнитель – 37,62 %;

Вяжущее – 44,40 %;

Известь – 9,14 %;

Вода min 8,8 % (указано количество воды для полной гидратации цемента).

Результаты определения вещественного состава штукатурного раствора представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты вещественного состава штукатурного раствора

Показатели	Значения		
	1	2	
Масса высушенной пробы, г	437,39	Термообработка усредненной пробы штукатурного раствора при температуре 550°С в муфельной печи в течение 3 часов	
Масса прокаленной пробы, г	405,74		
Потери при прокаливании, г	31,65		
Количество хим. связ. воды, г	31,65		7,2 %
Количество вяжущего, г	158,25		36,2 %
Количество заполнителя включая карбонатную фазу г	247,45		56,5 %
Масса высушенной пробы, г	405,74	Термообработка пробы штукатурного раствора при температуре 1000°С в муфельной печи в течение 3 часов	
Масса прокаленной пробы, г	391,31		
Потери при прок. 1000°С, г	34,43		
Потери при прок. 1000°С, %	9,2		
Количество карбонатной фазы, г	78,25		17,9 %
Количество заполнителя, г	169,20		38,68 %

Первоначальный состав штукатурки:

Заполнитель – 38,68 %;

Вяжущее – 36,20 %;

Известь – 17,9 %;

Вода min – 7,2 % (указано количество воды для полной гидратации вяжущего).

Заклучение и рекомендации

Проектирование полов должно осуществляться с учетом эксплуатационных воздействий на них, специальных требований (безыскровость, антистатичность, беспыльность, ровность, износостойчивость, теплоусвоение, звукоизолирующая способность, скользкость) и климатических условий места строительства.

В качестве показателя несущей способности пола в работе принята величина модуля деформации на поверхности бетонного покрытия (рис. 10).

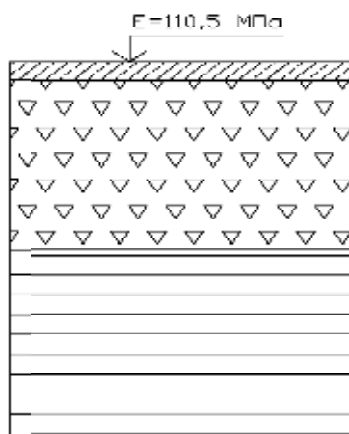


Рис. 10. Конструкция пола

Согласно техническому заданию на покрытие пола воздействует только нагрузка от пешеходов. Количество одновременно находящихся в помещении – 200 человек. Интенсивность механических воздействий на полы следует принимать по СП 29.13330.2011 «Полы» (табл. 9). В соответствии с приведенным нормативным документам интенсивность механических воздействий – «умеренная».

Таблица 9

Интенсивность механических воздействий на полы

Механические воздействия	Интенсивность механических воздействий			
	весьма значительная	значительная	умеренная	слабая
Движение пешеходов на 1 м ширины прохода, чел./сут	-	-	500 и более	Менее 500
Движение транспорта на гусеничном ходу на одну полосу движения, ед./сут	10 и более	Менее 10	-	-
Движение транспорта на резиновом ходу на одну полосу движения, ед./сут	Более 200	100 - 200	Менее 100	Движение ручных тележек
Движение тележек на металлических шинах, перекатывание круглых металлических предметов на одну полосу движения, ед./сут	Более 50	30 - 50	Менее 30	-
Движение транспорта на металлических колесах с ободьями из полимерных материалов, ед./сут	Более 100	50 - 100	Менее 50	-
Удары при падении с высоты 1 м твердых предметов массой, кг, не более	10-20	5 - 10	2 - 5	Менее 2
Волочение твердых предметов с острыми углами и ребрами	Соответствует	-	-	-
Работа острым инструментом на полу (лопатами и др.)	Соответствует	-	-	-

Толщину и прочность материалов сплошных покрытий и плит покрытия пола следует назначать также по СП 29.13330.2011 (табл. 10). Согласно приведенной таблице требуемая толщина цементобетонного пола должна составлять 25 мм, класс бетона – В22,5.

Таблица 10

Параметры полов

Материал покрытия пола	Интенсивность механических воздействий на пол							
	весьма значительная		значительная		умеренная		слабая	
	Толщина покрытия, мм	Класс бетона или прочность материала, МПа	Толщина покрытия, мм	Класс бетона или прочность материала, МПа	Толщина покрытия, мм	Класс бетона или прочность материала, МПа	Толщина покрытия, мм	Класс бетона или прочность материала, МПа
1	2							
1. Бетоны								
цементный	50	B40	30	B30	25	B22,5	20	B15
мозаичный			30	40	25	30	20	20
поливинилацетатный или латексный			30	40	20	30	20	20
кислотостойкий			40	25	30	20	20	20
асфальтобетон			50	-	40	-	25	-
сталефибробетон	40	B35	30	B25	25	B20	20	B15

Продолжение таблицы 10

2. Цементно-песчаный раствор				30	30	20	20
3. Поливинилацетат-цементноопилочный состав				20	-	15	-
4. Наливной состав на основе синтетических смол				4	-	2-4	-
5. Ксилолит				20	-	15	-
6. Цементно-бетонные плиты		40	B30	30	B22,5	30	B15
7. Мозаично-бетонные плиты		40	40	30	30	20	20
8. Керамические плитки						9-13	-
9. Керамические кислотоупорные плиты		50	-	30-35	-	15-20	-
10. Керамогранит						> 8	-

По результатам испытаний средний модуль упругости на поверхности бетонного пола составил – 110,5 МПа, поверхности грунта под слоем бетона с обломочными включениями боя керамического кирпича и щебня из карбонатных пород – 79,2 МПа, поверхности грунта на глубине 25 см с незначительным содержанием обломочных включений боя керамического кирпича и щебня из карбонатных пород – 32,1 МПа.




Согласно проекта реконструкции нагрузка на пол в «пещерном» храме равна нагрузке от одновременного нахождения 200 человек. Однако, отсутствуют нормативы для расчета пола только от движения пешехода.

В действующем СП 29.13330.2011 «Полы» расчет проводится на действие вертикальных нагрузок от технологического оборудования, складываемых материалов и транспортных средств. Поэтому расчет осуществлен согласно методике действующего нормативного документа «Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд» в программном продукте Robur-Roadbed 4.3.

В качестве расчетной принята нагрузка АК10 (100 кН на ось). Зная модули упругости на поверхности имеющихся слоев, их толщины, а также прочностные характеристики бетона проведен расчет модуля упругости на поверхности пола. Модули упругости самих материалов подобраны из справочной литературы.

Таблица 11

Расчетные параметры пола

№ слоя	Условное обозначение	Наименование	Модули упругости материала, МПа	Толщина слоя, см	Расчетный модуль упругости на поверхности, МПа
1		Бетон мелкозернистый	10000	3	110,5
2		Грунт под слоем бетона с обломочными включениями боя керамического кирпича и щебня из карбонатных пород	280	25	79,2
3		Грунт с незначительным содержанием обломочных включений боя керамического кирпича и щебня из карбонатных пород	32	0	32,1

Результаты расчета конструкции пола представлены в табл. 11. Проведенный расчет подтвердил несущую способность пола определенную экспериментальным путем.

Таким образом, модуль упругости на поверхности пола (в работе принят как показатель несущей способности пола) составил 110,5 МПа (1126,8 кгс/см²), что в целом обеспечивает его несущую способность с учетом возможных нагрузок (одновременное нахождение в храме 200 человек).

Однако, в соответствии с требованиями СП 29.13330.2011, прочность бетона для покрытия пола должна быть не ниже класса В22,5. В то время как средняя прочность отобранных проб бетона из покрытия пола составила всего 160 кг/см², что соответствует классу бетона В12,5 и не удовлетворяет требованиям СП 29.13330.2011 [10].

Заключение

1. Штукатурный раствор в храме имеет приблизительно одинаковые физико-механические свойства и состав. Средняя плотность составила 1732 кг/м³. Прочность на сжатие по данным неразрушающего контроля составляет 8,0 МПа, а по результатам испытаний образцов 7,1 МПа. Приблизительный состав штукатурного раствора цемент 36,2 % известь 17,9 %, мелкий заполнитель (песка) 38,68 %, количество прогидратированной воды 7,2 %.

2. Кладочный раствор по данным неразрушающего контроля имеет среднюю прочность 12,8 МПа, а плотность 1812 кг/м³.

3. Кирпич, отобранный с основания пола в алтаре храма, отличается по своим характеристикам от кирпичей, из которых были выполнены стены храма. Он обладает более плотной структурой меньшим показателем водопоглощения и большей прочностью.

4. Прочность кирпича взятого с основания пола алтаря храма составила 166 кг/см², плотность 1712 кг/м³, водопоглощение 11,3 %.

5. Прочность кирпича взятого с основания свода в помещении насосной 52 кг/см², плотность 1641 кг/м³, водопоглощение 13,8 %.

6. Конструкция бетонного пола включает в себя основание из уплотненного грунта с включениями боя керамического кирпича и щебня из карбонатных пород (с динамическим модулем упругости 32 МПа), слой уплотненных обломков боя керамического кирпича, щебня из карбонатных пород и грунта толщиной в среднем 25 см (с динамическим модулем упругости 79,2 МПа) и мелкозернистый бетон толщиной в среднем 3 см (с динамическим модулем упругости 110,5 МПа).

7. Мелкозернистый бетон пола имеет следующий приблизительный состав: заполнитель 37,62 %, цемент 44,40 %, известь 9,14 %, количество прогидратированной воды 8,8 %.

8. Плотность мелкозернистого бетона пола составила 1897 кг/см³, прочность при сжатии 16 МПа, прочность при изгибе 1,2 МПа.

9. Несущая способность пола с учетом возможных нагрузок обеспечивается. Однако прочность пола не соответствует требованиям СП 29.13330.2011.

Список библиографических ссылок

1. Айнутдинов Р., Чудинова Т. Ансамбль Богородицкого монастыря // Дизайн и Новая Архитектура. 2004. № 15. С. 100–103.
2. История Казанско-Богородицкого монастыря. URL: http://kazan-obitel.ru/history_monastery/ (дата обращения: 12.06.2017).
3. Елдашев А. Воссоздание собора Казанской иконы Божией Матери Казанского Богородицкого монастыря: акт исторической справедливости. URL: http://www.tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=58014 (дата обращения: 12.06.2017).
4. Елдашев А. Казанский Богородицкий монастырь: вехи истории. URL: http://tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=60726 (дата обращения: 12.06.2017).

5. Елдашев А. Чудотворный Казанский образ Богородицы в судьбах России. URL: http://tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=60621 (дата обращения: 12.06.2017).
6. Ghadban S.S., Ashhab M. Stone restoration practice in palestinian territories: a case study from jerusalem // *Journal of Architectural Conservation*. 2011. Vol. 17. Issue 3.
7. Pere Roca. Restoration of historic buildings: conservation principles and structural assessment // *International Journal of Materials and Structural Integrity*. 2011. Vol. 5. № 2. P. 151–167.
8. Bertolini L., Carsana M., Gastaldi M., Lollini F., Redaelli E. Corrosion assessment and restoration strategies of reinforced concrete buildings of the cultural heritage // *Materials and Corrosion*. 2011. Vol. 62. Issue 2. P. 146–154.
9. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Стоянов О. В., Яковлев Г. И. Differential thermal analysis of clays of different composition // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. № 5. С. 80–83.
10. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд. // URL: <http://mtsk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=14425> (дата обращения: 12.06.2017).

Shelikhov N.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: shelihov@kgasu.ru

Smirnov D.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: denis27111974@yandex.ru

Mavliev L.F. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Sagdiev R.R. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: ruslan-kgasu@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

A survey of historical structures when restoration of the Cathedral of the Kazan icon of the Mother of God

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to reveal the physico-technical properties and conditions of the found remnants of the historical floors and masonry of the Cave Cathedral of the Kazan Icon of the Mother of God, as well as the possibility of using them in the constant and crowded mode of operation of the temple.

Results. The main results are the study of building materials using standard methods and methods of nondestructive testing and establishing the characteristics of the ruined remains of the concrete floor and the brickwork of the Cave Cathedral of the Kazan Icon of the Mother of God.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry of architecture is to establish the characteristics and composition of fine-grained concrete flooring residue to assess the possibility of restoration of the Cave Cathedral of the Kazan Icon of the Mother of God.

Keywords: ruined residues, concrete floors, masonry, inspection of buildings.

References

1. Aynutdinov R., Chudinova T. Ensemble of the Bogoroditsky Monastery // *Dizayn i Novaya Arkhitektura*. 2004. № 15. P. 100–103.
2. The history of the Kazan-Bogoroditsky Monastery // URL: http://kazan-obitel.ru/history_monastery/ (reference date: 12.06.2017).

3. Yeldashev A. Recreation of the Cathedral of the Kazan Icon of the Mother of God of the Kazan Bogoroditsky Monastery: an Act of Historical Justice. URL: http://www.tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=58014 (reference date: 12.06.2017).
4. Yeldashev A. The Kazan Bogoroditsky Monastery: Milestones of History. URL: http://tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=60726 (reference date: 12.06.2017).
5. Yeldashev A. Miraculous Kazan image of the Mother of God in the fate of Russia. URL: http://tatarstan-mitropolia.ru/all_publications/publication/?id=60621 (reference date: 12.06.2017).
6. Ghadban S. S., Ashhab M. Stone restoration practice in palestinian territories: a case study from jerusalem // Journal of Architectural Conservation. 2011. Vol. 17. Issue 3.
7. Pere Roca. Restoration of historic buildings: conservation principles and structural assessment // International Journal of Materials and Structural Integrity. 2011. Vol. 5. № 2. P. 151–167.
8. Bertolini L., Carsana M., Gastaldi M., Lollini F., Redaelli E. Corrosion assessment and restoration strategies of reinforced concrete buildings of the cultural heritage // Materials and Corrosion. 2011. Vol. 62. Issue 2. P. 146–154.
9. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gayfullin A. R., Stoyanov O. V., Yakovlev G. I. Differential thermal analysis of clays of different composition // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. № 5. P. 80–83.
10. Methodical recommendations for the design of rigid road clothes. URL: <http://mtsk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=14425> (reference date: 12.06.2017).



УДК. 621.01

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

Оптимизация пространственных устройств

Аннотация

Постановка задачи. Так как пространственные группы аппаратов с мешалкой и группы пространственных смесителей являются новыми разработками техники, необходимо проверить их по критериям развития техники и провести оптимизацию по всем критериям. Особенность этих устройств в том, что они имеют особую структуру-звенья и оси их шарниров расположены пространственно, соединения звеньев только на стандартных подшипниках качения, угловые и линейные параметры взаимосвязаны определенным образом, несоблюдение которых приводит к неработоспособности. В развитии таких устройств наблюдался огромный разрыв между теоретическими исследованиями и практическим использованием в технике, так как ученые не могли изготовить в металле ни модели, ни натурные образцы.

Результаты. Оптимизированы: основные составляющие критерий развития, форма и размер емкости, скольжение и отрыв частиц, давление подвижных звеньев на станину, частота вращения, степень неоднородности смеси, взаимосвязи параметров устройств, режимы работы.

Выводы. Новые группы пространственных аппаратов с мешалкой и смесители созданы от идеи до внедрения в производство. Разработаны и оптимизированы с учетом критериев развития до высокоэффективных, универсальных, малоэнергоёмких, многофункциональных устройств.

Ключевые слова: критерии развития, оптимизация, шарниры вращательные, пространственные смесители, аппараты с мешалкой.

Введение

Оптимизация в жизни людей занимает одно из важнейших задач. Человек сознательно или неосознанно всегда стремится к оптимизации действия. Оптимизация действия, объекта или его отдельной характеристики означает выбор из множества возможностей. Этот выбор осуществляется в соответствии с принятыми критериями.

Мы можем назвать существенное свойство этого действия - отношение к критерию, либо минимизация затрат, либо максимизация эффекта. Оптимизация возможна лишь тогда, когда существуют различные варианты и принятые критерии выбора.

Из истории развития техники известно, что среди ее параметров и показателей всегда имеются один или несколько таковых, которые на протяжении длительного времени имеют тенденцию монотонного изменения или поддержания на определенном уровне при достижении своего предела.

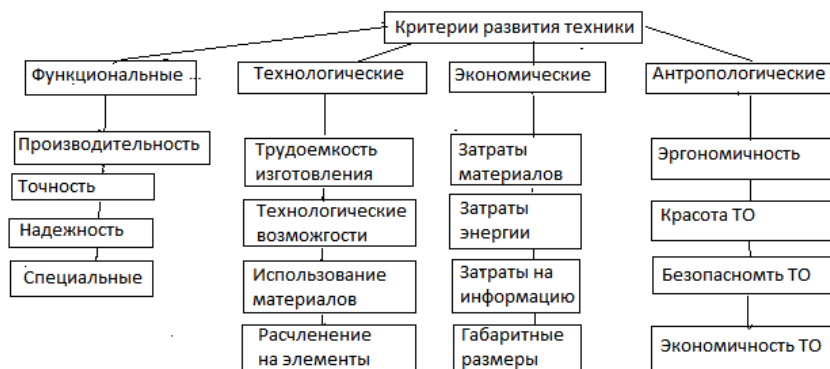


Рис. 1. Систематика критериев развития техники

Для различных классов технических систем, наборы критериев развития которых, в общем, совпадают и включают четыре группы критериев [1], представленных на рис. 1.

Кроме критерия развития есть еще показатель качества системы, к которому в первую очередь относят параметры, изменение которых может приводить к улучшению качества и эффективности системы. Этот перечень может быть дополнен и расширен другими показателями и условиями.

За последние годы нами разработаны новые классификационные группы конструкций пространственных аппаратов с мешалкой [2] и группы пространственных смесителей [3].

Особенность новых устройств в том, что они имеют особую структуру пространственного расположения осей шарниров звеньев и самих звеньев, оси шарниров которых скрещены под разными углами и отстоят на кратчайшем расстоянии, которые у многих звеньев расположены вне тела звеньев. Не зная этих особенностей и не учитывая их, простым комбинированием звеньев и расположением их осей шарниров создать работоспособное устройство практически невозможно, необходимо найти структурные условия и взаимосвязи параметров для каждой из групп устройств. Это требует определенного методического подхода, как к теоретическим выкладкам, так и к практическому изготовлению, как моделей, так и производственных образцов. Этими трудностями объясняется только теоретическое исследование таких механизмов и отсутствие промышленного использования пространственных устройств на их базе, как у нас в стране, так и за рубежом.

Приоритет исследования, изготовление моделей и натуральных образцов, использование их в технике принадлежит казанским ученым.

Поскольку новые группы пространственных аппаратов с мешалкой и группы пространственных смесителей являются новыми разработками техники, необходимо проверить их по критериям развития техники и провести оптимизацию, чему и посвящена статья.

Результаты исследований и их обсуждение

В первую очередь проведем сопоставительный анализ наших устройств по основным критериям.

Критерий развития существующих перемешивающих устройств (аппараты с мешалкой и смесители) практически уже достиг своего предела, развитие их в основном касается мелких изменений и усовершенствований.

По этому критерию вновь созданные устройства находятся еще в начальной стадии развития и уже показали значительно превосходящие показатели в сравнении с существующими устройствами, их свойства и возможности еще полностью не выявлены, как в перемешивании, так и в других процессах и разделах техники.

По функциональному критерию развития существующие конструкции перемешивающих устройств также достигли своего предела. Производительность, например, уже не может быть увеличена большей частотой вращения, так как выше критической частоты технологический процесс нарушается и прекращается. Другие варианты увеличения производительности не решают проблемы.

В предложенных устройствах процесс перемешивания по времени сокращен в несколько раз, здесь нет ограничений на повышение частоты вращения, т.е. здесь производительность устройств значительно выше.

По критерию точности, например, степени однородности смеси, существующие конструкции также не удовлетворяют требованиям однородности многокомпонентных смесей, в то время как пространственные устройства обеспечивают высокую однородность практически любых перемешиваемых компонентов.

По технологическим критериям новые устройства также имеют более высокие показатели, чем таковые у существующих конструкций, например, по трудоемкости, расходу материала, по составу конструкций, по унификации и взаимозаменяемости. Габариты новых устройств значительно меньше, меньше и количество звеньев, например, у пространственного инерционного смесителя только два подвижных звена и емкость.

Высок критерий технологических возможностей у новых устройств, т.к. здесь большая часть стандартных, покупных и унифицированных деталей.

По экономическим критериям новые устройства имеют более высокие показатели, здесь можно выделить критерий расхода материалов, расхода энергии и критерий габаритных размеров.

С учетом вышеперечисленных критериев, нами разработана рабочая конструкторская документация на ряд конструкций аппаратов с мешалкой и смесителей, по которым изготовлены лабораторные и производственные образцы.

Таким образом, новые разработки аппаратов с мешалкой и смесителей должны соответствовать более двадцати критериям развития и пройти оптимизацию устройств.

Проводить оптимизацию при соблюдении всех критериев развития сложно, по этой причине проводят частичную оптимизацию, т.е. оптимизируемым объектом может быть не изделие в целом, а лишь та или иная его характеристика.

Потребность частичной оптимизации возникает в связи с тем, что процесс создания устройств проходит ряд стадий [4, 5]. Частичная оптимизация – это путь к общей оптимизации. Частичная оптимизация начинается на этапе проектирования и конструирования – это начало общей оптимизации [6].

На стадии проектирования закладываются и определяются основные свойства и параметры устройства, поэтому этот этап очень важный и ответственный во всех отношениях. Именно на этой стадии необходимо через оптимизацию «пропустить» каждый из параметров, участвующих в формировании (построении) устройства.

Поскольку новые устройства относятся к пространственным с особой структурой, то первым условием проектирования является нахождение условий существования устройства, т.е. подбор углов скрещивания и кратчайших расстояний между осями шарниров и их взаимосвязи. Без согласованного соблюдения этих условий устройство будет неработоспособно, поэтому параметры и соотношения между ними должны быть объектом оптимизации.

Так как основу конструкций всех аппаратов с мешалкой и групп смесителей составляет базовый модуль, состоящий из двух кривошипов, шатуна и стойки (станины, рамы), то в нем необходимо соблюсти углы скрещивания α, α_1 , кратчайшие расстояния ℓ, ℓ_1 и их взаимосвязь $\ell/\ell_1 = \sin \alpha / \sin \alpha_1$ [7]. Кривошипы модуля вращаются в плоскостях, скрещенных под углом α , емкость совершает сложное пространственное движение, а ведомый кривошип с переменной угловой скоростью:

$$\omega_3 = c \cdot \omega / (a - b \cdot \cos \varphi), \quad (1)$$

где $a = a_1 - \cos \alpha_1 \cos \alpha$, $b = \sin \alpha_1 \sin \alpha$, $c = \cos \alpha - \cos \alpha_1$.

Оптимизация этих значений проводится с учетом вместимости емкости, если это смеситель, или с учетом объема корпуса, если это аппарат с мешалкой. Исходя из длины емкости, принимают кратчайшее расстояние ℓ между осями шарниров станины по конструктивным соображениям. Затем назначают радиус вращения кривошипов емкости (кратчайшее расстояние ℓ_1), который берется в пределах $(0,2-0,8)\ell$. Назначают угол α скрещивания осей шарниров станины исходя из удобств расположения источника привода и технологии изготовления. Наиболее приемлемые значения угла α – 30, 45, 60, 90°. Тогда оптимальный угол α_1 с учетом остальных параметров определится:

$$\alpha_1 = \arcsin(\ell_1 \sin \alpha / \ell). \quad (2)$$

Можно оптимизировать параметры по закону изменения переменной угловой скорости ведомого кривошипа (обычно характеризуется степенью неравномерности δ вращения).

Также как и в первом случае, назначают ℓ, ℓ_1 α и угол α_1 определяется с учетом принятых конструктивно параметров и значения степени неравномерности δ вращения по формуле:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{d^2 \cos \alpha \pm 2 \sin^2 \alpha \sqrt{4 + d^2}}{d^2 + 4 \sin^2 \alpha}. \quad (3)$$

В такой же последовательности поступают при оптимизации взаимосвязанных параметров смесителей или мешалок, входящих в классификационные пространственные группы. Необходимые аналитические выражения параметров всех устройств групп приведены в разделах кинематики аппаратов с мешалкой и кинематики смесителей [7].

Оптимизация **формы**. На стадии проектирования необходимо обосновать и оптимизировать форму элементов устройств.

В тех случаях, когда тип формы не принимает непосредственное участие в технологическом процессе, как например, кривошип, станина, то необходимо позаботиться об эстетике и красоте, как составных частей, так и изделия в целом. При этом следует помнить, что человек – оператор не должен чувствовать дискомфорт на рабочем месте при контакте с устройством [8].

Форма же емкости, где происходит технологический процесс, в первую очередь должна максимальным образом интенсифицировать этот процесс, будь то перемешивание, обработка деталей, шлифовка и т.п., во вторую очередь надо учитывать эстетические требования.

Для оптимизации формы емкости конструкция спроектирована таким образом, что ее в процессе работы можно изменять в различных вариантах геометрических форм и одновременно регулировать процесс турбулентного движения частиц в ней посредством двух видов регулирующих устройств. Здесь, уже на стадии проектирования удалось создать формы емкостей, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения (А.с. № 1476338. Устройство для определения оптимальной геометрической формы смесителя. Б.И. № 16, 1989).

Рабочая емкость содержит обечайку, снабженную средством для регистрации динамического воздействия рабочей среды, например, в виде размещенных на внутренней поверхности емкости пьезодатчиков, связанных с усилителем, а также представляющих собой развертку рабочей емкости световым экраном. Каждому пьезодатчику соответствует электролампочка на световом экране (А.с. № 1650397. Рабочая емкость устройства для объемной обработки деталей. Б.И. № 19, 1991).

В качестве простейшего регистрирующего устройства можно использовать листы писчей и копировальной бумаги, размещенные внутри емкости. Загружают в емкость частицы материала, например, шарики от подшипников, гайки и т.п., запускают смеситель на тех частотах вращения, какие определены по формуле. После нескольких секунд работы смеситель останавливают и вынимают листы. На чистой бумаге будут обозначены следы от движения частиц. При нормальном скольжении частиц, следы будут по всей площади нижней части листа, при отрыве частиц, следы будут точечными в различных зонах емкости. Если частота вращения была ниже расчетной или недостаточной для скольжения, то на бумаге будут незначительные следы в небольшой зоне емкости.

Обечайка и стенки рабочей емкости выполнены из легкодеформируемого материала, армированного упругими элементами в виде пластин или проволоки. Такое выполнение емкости позволяет легко изменять геометрическую форму ее в самом разнообразном виде и сочетании. Упругие элементы необходимы для того, чтобы принятая геометрическая форма емкости сохраняла заданное фиксированное положение и не изменяла ее при движении.

Обечайка рабочей емкости может быть выполнена телескопической, в виде изогнутой по спирали упругой ленты. Торцовые части наружного и внутреннего витков ленты снабжены стенками из эластичного материала, армированного упругими элементами, придающими стенкам в свободном состоянии сферическую форму. Такая конструкция емкости позволяет изменять ее объем путем изменения длины, поперечного сечения и геометрической формы.

Вместимость емкости меняется разведением витков ленты вдоль продольной оси, а также увеличением или уменьшением поперечного параметра емкости. Для изменения длины емкости необходимо потянуть за внутренний виток ленты вдоль продольной оси и выдвинуть его на требуемую длину, которую можно увеличить в 2-4 раза от первоначальной. Для изменения поперечного параметра емкости и ее формы служат сменные стяжные пояса разной формы и длины, можно придать форму эллипса, квадрата и комбинацию из их частей, другую геометрическую фигуру.

С помощью регистрирующего устройства можно наблюдать воздействие обрабатываемого материала на внутренние стенки и добиваться исключения зон, не взаимодействующих с частицами, что позволяет подбирать оптимальную геометрическую форму рабочей емкости для конкретного случая обработки.

Оптимизация **нагрузки**. Нагрузка непосредственно влияет на элементы конструкции, динамические показатели, прочностные расчеты, энергетические затраты.

Оптимизация нагружения в устройствах на стадии проектирования достигалась несколькими вариантами. Равномерным распределением нагрузок или напряжений по всем звеньям. В смесителях это достигается статическим и динамическим уравниванием масс емкости маховиками на валах ведущего и ведомого кривошипов, введением упругой муфты между емкостью и источником привода, устранением ведомого кривошипа и заменой его упругим звеном. Изготовлением подвижных звеньев (емкость, подвижные звенья) из легких материалов, например, дуралюмин и т.п.

Оптимизация нагружения проверяется через давления подвижных звеньев смесителя на станину посредством разработанного нами стенда (А.с. № 1654694. Стенд для исследования давления смесителя на фундамент. Б.И № 21, 1991). Стенд состоит из плиты, которая установлена на упругих кольцах с прорезью, причем кольца установлены по боковым сторонам в углах и между основанием и подвижной плитой. Положение колец фиксируется магнитами. На наружной поверхности колец наклеены тензометрические датчики, которые соединены с усилителем сигналов, выход которого связан со входом осциллографа.

Исследуемый смеситель закрепляют на плите и включают в работу, при этом его подвижные звенья оказывают давление на плиту, и, соответственно на упругие кольца с тензодатчиками, расположенными в разных плоскостях и мест закреплений. Соппротивление датчиков изменяется от величины деформации колец. Сигнал от каждого датчика через усилитель поступает на осциллограф и записывается, далее записи сигналов от каждого кольца анализируются и сопоставляются с тарировочными графиками, Зная величину давления в разных частях плиты, изменяют ее при необходимости предложенными способами до положения, когда давление смесителя на основание (фундамент) будет постоянным или минимальным.

Анализ уравнений кинематики позволил оптимизировать по максимальным изменениям скоростей и ускорений и выбрать те звенья, которые в наибольшей степени подходят для использования их в качестве рабочих органов или несущих рабочие органы (лопасти или емкости) [9].

Так, в инерционном смесителе оптимизация рассматривалась уже при теоретическом исследовании условий движения частиц в емкости. Здесь определялась минимальная угловая скорость вращения емкости, при которой начинается активное скольжения и отрыв частиц относительно внутренней поверхности емкости. Например, скольжение частиц в центральной части емкости определится таким значением угловой скорости:

$$w = \sqrt{\frac{fg}{k^2 I^2 \sin^2 a_1 \sin^2 f \frac{\dot{e}cb^2 - acb \cos f - c^3 \ddot{u}}{\dot{e}} + I_1^2 \frac{\dot{e}akc^2 \cos f - kbc^2 - bc^2 \sin^2 f}{\dot{e}} - (1+k) \cos f \ddot{u}}}. \quad (4)$$

Отрыв частиц происходит по условию:

$$w = \sqrt{\frac{g}{I_1 \sin j \frac{\dot{e}}{\dot{e}}(1+k) + k \cos a \frac{\dot{e}cb^2 - acb \cos j - c^3 \ddot{u}}{\dot{e}}}}. \quad (5)$$

где f – коэффициент трения скольжения материала о поверхность емкости;

g – ускорение свободного падения;

k – коэффициент ($k=0,1-1,0$) соотношения положения частицы относительно ℓ ;

φ – угол поворота ведущего кривошипа;

a, b, c – значения символов:

$$\begin{aligned} c &= \cos a - \cos a_1, \ddot{u} \\ a &= 1 - \cos a_1 \cos a, \dot{y} \\ b &= \sin a_1 \sin a. \quad \dot{b} \end{aligned}$$

Выявлено, что гарантированное скольжение частиц по дну емкости в разных типоразмерах пространственных смесителей происходит на полном обороте ведущего кривошипа при частоте вращения емкости 65-100 мин⁻¹, отрыв частиц от поверхности – при частоте 100-150 мин⁻¹ на неполном обороте кривошипов (для разных зон от 0 до 180⁰ или от 180 до 360⁰).

Установлено влияние структурных параметров базового модуля на режим работы смесителей исходя из условий скольжения и отрыва частиц. Так, при увеличении угла α_1 от 15 до 30° снижается частота вращения емкости 20-70 мин⁻¹. Увеличение угла α от 45 до 90° лишь незначительно (на 3-10 мин⁻¹) уменьшает частоту ее вращения [10].

Определено, что расположение углов скрещивания осей шарниров модуля в одном или разных квадрантах влияет на характер движения частиц. Так, для смесителей с углами α_1 и α , лежащих в одном квадранте, скольжение частиц происходит при частоте вращения 105-175 мин⁻¹, отрыв – при 150-200 мин⁻¹. При углах, лежащих в разных квадрантах, скольжение – при частоте 65-100 мин⁻¹, а отрыв – при 100-175 мин⁻¹.

Все вопросы оптимизации, которые рассмотрены в смесителях с периодическим режимом работы полностью относятся и к смесителям с непрерывным режимом работы, поскольку они отличаются только подающим и отводящим устройствами.

Непрерывный процесс в пространственных смесителях можно осуществить двумя способами: через гибкие шланги, соединяющие емкость с приемным и подающим бункерами или через полые кривошипы и звенья, связанные шарнирно со станиной, емкостью и бункерами [11].

Здесь оптимизируются параметры шлангов (диаметр и длина) и диаметр полых звеньев с учетом производительности смесителя и степени однородности готовой смеси.

При лабораторно – производственных исследованиях были окончательно скорректированы основные структурные параметры устройств, режимы их работы и практически обеспечилась полная их оптимизация.

Зарубежные ученые исследуют пространственные механизмы с вращательными шарнирами только теоретически [12, 13], сведений по изготовлению ни действующих моделей, ни производственных образцов не обнаружено.

Выводы

1. Определено, что при разработке новых устройств необходимо учитывать требования комплекса критериев: функциональных, технологических, экономических, антропологических; оптимизировать которые в целом сложная задача, тем более что все устройства пространственные с особой структурой звеньев, еще малоизвестные и мало изученные.

2. В виду сложности создания таких устройств от идеи до внедрения в производство, предложено проводить так называемую частичную оптимизацию на стадиях проектирования, теоретических, лабораторных и производственных исследований, которые приводят к общей оптимизации устройств.

3. Оценка и оптимизация по критериям развития новых устройств аппаратов с мешалкой и смесителей показала лучшие результаты в сравнении с существующими устройствами: хотя возможности их использования в технике еще полностью не раскрыты и не выявлены.

4. Оптимизированные пространственные перемешивающие устройства только с вращательными шарнирами обеспечивают без ограничений смешение различных материалов, а также другие технологические процессы: поверхностную обработку изделий, мойку, дробление и измельчение, шлифование, без переделок конструкции, т.е. обладают многофункциональностью.

Список библиографических ссылок

1. Лесин В. В., Лисовец Ю. П. Основы методов оптимизации. СПб. : Лань, 2016. 344 с.
2. Мудров А. Г. О новой группе пространственных аппаратов с мешалкой // Вестник Казанского аграрного университета, № 2, 2016. С. 77–82.
3. Мудров А. Г. О новых классификационных группах пространственных смесителей. // Известия КГАСУ. 2017. № 2 (40). С. 273–280.
4. Колбин В. В. Специальные методы оптимизации. СПб. : Лань, 2014. 384 с.
5. Тарабарин О. И., Абызов А. П., Ступко Б. Б. Проектирование технологической оснастки в машиностроении. СПб. : Лань, 2013. 304 с.

6. Хорошев А. Н. Основы системного проектирования технических объектов. М. : Машиностроение, 2011. 125 с.
7. Мудров А. Г., Пространственные механизмы с особой структурой. Казань : РИЦ «Школа», 2003. 300 с.
8. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем. М. : Машиностроение, 2009. 528 с.
9. Курейчик В. М., Лебедев Б. К., Лебедев О. Б. Поисковая адаптация: теория и практика. М. : Физмашлит, 2006. 272 с.
10. Пантелеев А. В., Летова Т. А. Методы оптимизации в примерах и задачах. СПб. : Лань, 2015. 512 с.
11. Мудров А. Г. Инерционные пространственные смесители непрерывного действия // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 264–270.
12. Chen Y., Baker E.J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177–185.
13. 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 Construction

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Optimization of spatial devices

Abstract

Problem statement. Since the space group of the apparatus with stirrer and group spatial faucets are new developments of technology, it is necessary to check them according to the criteria of the development of technology and to optimize all the criteria. The peculiarity of these devices is that they have a special structure - the links and the axes of their hinges located spatial, connection links just for standard rolling bearings, linear and angular parameters are interrelated in a certain way, the violation of which leads to malfunction. In the development of such devices was a huge gap between theoretical research and practical use in engineering, as scientists could not produce the metal no model or full-scale specimens.

Results. Optimized: the main criterion of development, shape and size of the container, the sliding and separation of particles, the pressure of the moving parts on the base frame, the rotational speed, the degree of heterogeneity of the mixture, the relationship of device parameters, operation modes.

Conclusions. A new group of spatial units with a stirrer and mixers are created from idea to implementation in production. Designed and optimized taking into account the criteria of development to a highly effective, versatile, low-power, multifunctional devices.

Keywords: criteria for the development, optimization, rotational joints, spatial mixers, machines with an agitator.

References

1. Lesin V. V., Lisovets J. P. The basics of optimization methods. SPb. : LAN, 2016. 344 p.
2. Mudrov A. G. About a new group of spatial units with a stirrer // Vestnik Kazanskogo agrarnogo universiteta. 2016. № 2. P. 77–82.
3. Mudrov A. G. About new bands spatial classification of mixers // Izvestiya KGASU. 2017. № 2 (40). P. 273–280.
4. Kolbin V. V. Special optimization methods. SPb. : LAN, 2014. 384 p.
5. Tarabarin S. I., Abyzov A. P., Stupka B. B. Tooling design in engineering. SPb. : LAN, 2013. 304 p.
6. Khoroshev A. N. Fundamentals of systems engineering technical objects. M. : Mechanical Engineering, 2011. 125 p.

7. Mudrov A. G. Spatial mechanisms with a special structure. Kazan : RIC «School», 2003. 300 p.
8. Zorin V. A. Fundamentals of health technology systems. M. : Mechanical Engineering, 2009. 528 p.
9. Kureichik V. M., Lebedev B. K., Lebedev O. B. Search adaptation: theory and practice. Fizmashlit, 2006. 272 p.
10. Panteleev A. V., Letova T. A. Methods optimization in examples and problems. SPb. : LAN, 2015. 512 p.
11. Mudrov A. G. Spatial Inertia continuous mixers // Izvestiya KGASU. 2017. № 1 (39). P. 264–270.
12. Chen Y., Baker E. J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177–185.
13. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125, 2003. P. 98–104.

УДК 699.887.5

Мухаметрахимов Р.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Шафигуллин Р.И. – аспирант

Куприянов В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuprivan@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Разработка радиозащитных шунгитосодержащих гипсоволокнистых облицовочных листов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработать радиозащитные шунгитосодержащие гипсоволокнистые облицовочные листы (ГВЛ), которые могут быть применены при устройстве перегородок в помещениях с источниками повышенных электромагнитных излучений.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в установлении эффективности метакаолина в качестве активной минеральной добавки (АМД) для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), оцененной по поглощению СаО. Установлено, что введение шунгита в количестве 5-10 % от массы ГЦПВ позволяет повысить предел прочности при изгибе ГВЛ на величину до 11,2 %, дальнейшее увеличение его содержания приводит к повышению водопотребности смеси, разбавлению вяжущего и снижению прочностных показателей изделий. Установлены зависимости коэффициентов ослабления электромагнитных волн (ЭМВ) и пределов прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита (0-30 %) в исследуемых составах. Выявлено, что с увеличением содержания шунгита наблюдается увеличение их защитных свойств в исследуемых интервалах частот ЭМВ (2-6 ГГц).

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в получении шунгитосодержащих гипсоволокнистых изделий предназначенных для защиты различных объектов от воздействия электромагнитных излучений.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, композиционные материалы, радиозащитные конструкции, радиопоглощающие свойства, шунгит, гипсоволокнистые листы.

Введение

Как известно, чрезмерное воздействие электромагнитных полей (излучений, волн) оказывают неблагоприятное воздействие на человека. Растущее количество электромагнитных излучений (ЭМИ), возникающих в среде обитания человека и в первую очередь внутри зданий, определяет актуальность экспериментальных исследований, направленных на защиту человека от опасных для здоровья факторов. Рост электромагнитного фона связан с увеличением числа радио- и телевизионных станций, расширением сети высоковольтных ЛЭП и АЭС, быстрым ростом мобильной связи, числа радиолокационных установок, широким внедрением радиоэлектронных устройств и излучающих СВЧ-приборов¹. Часто источником повышенных электромагнитных излучений являются установки и оборудование, размещенные в смежных помещениях, преградами между которыми являются только перегородки. При длительном характере воздействия на организм человека уровней излучения, превышающих предельно допустимые значения, возникают необратимые изменения в нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной системах². В этой связи особо актуальными становятся

¹Гульбин В. Н., Коровяков В. Ф., Колпаков Н. С., Горкавенко В. В. Строительные материалы для защиты объектов от воздействия электромагнитных излучений // Промышленное и гражданское строительство. Новые технологии, техника, материалы. 1986. № 5. С. 7–13.

²The Possible Harmful Biological Effects of Low-level Electromagnetic Fields of Frequencies up to 300 GHz. IEEE Position Statement. May, 2004.

вопросы, направленные на повышение радиозащитных свойств перегородок от электромагнитных волн в помещениях с источниками повышенных ЭМИ.

В качестве порошкообразных наполнителей радиозащитных конструкций широкое применение находят материалы с магнитными свойствами и высокой электропроводностью (шунгит) [1], диэлектрики с высокими значениями магнитной проницаемости и полупроводники. Наиболее распространенными являются металлические и ферритовые порошки, технический углерод и фуллерены [2]. Введение указанных материалов в виде порошков в различные вяжущие вещества позволяет создавать радиозащитные изделия с требуемым значением ослабления энергии ЭМИ в рабочем диапазоне частот и температур^{3,4}.

Сегодня для защиты от ЭМИ применяют различные материалы и способы [3]. Известно применение радиозащитного строительного бетона, включающего углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель в форме структурированного геля [4]. Однако применение такого материала более предпочтительно для устройства несущих радиозащитных стен. Особенности структурообразования цементного камня с углерод-кремнеземистой нанодисперсной добавкой [5] на основе шунгита рассмотренное в работе [6] показывает их положительное влияние на прочностные показатели в ранние и поздние сроки твердения. Для устройства межкомнатных перегородок возможно применение известных пористых радиозащитных материалов, таких как вспененное стекло, вспененный гипс, ячеистый бетон, пенокомпозиты, наполнители на основе пористых или дискретных заполнителей¹. Придание радиозащитных свойств этим материалам достигается за счет введения измельченных (дискретных) углеродсодержащих компонентов или радиопоглощающих композиций на водной основе [7, 8]. Так, например, в расплав стекла при производстве пеностекла вводят угольную сажу. Кроме того, известен радиозащитный слоистый материал, применяемый в качестве многофункционального остекления [9], содержащий слой органического стекла и два слоя полимерной пленки с функциональным электропроводящим теплозащитным покрытием. Известны также радиозащитные штукатурки на цементно-песчаной и гипсовой основе, предназначенные для снижения уровня ЭМИ посредством экранирования¹. Их свойства по ослаблению ЭМИ зависят от концентрации радиопоглощающего вещества и толщины слоя.

На основе шунгитовых пород уже создан ряд экранирующих ЭМИ материалов, а также пластинки для защиты от излучений. Однако следует отметить, что в настоящий момент малоизученным остается вопрос создания облицовочных материалов для внутренней отделки зданий и сооружений, сочетающих в себе прочностные, экологические, специальные свойства (защита от ЭМИ) и высокую степень индустриализации с применением быстротвердеющего смешанного вяжущего [10]. С применением таких материалов возможно устройство легких межкомнатных радиозащитных перегородок.

Методика экспериментальных исследований.

В процессе исследований в качестве исходных сырьевых компонентов для изготовления шунгитосодержащих ГВЛ использовались следующие материалы:

а) вяжущие:

- гипс марки ГБП производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79;
- портландцемент (ПЦ) Белгородского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н.

б) активная минеральная добавка природного происхождения – метакраолин, полученный путем обжига каолина при температуре 700 °С в течении 1 часа, $S_{уд}=1357 \text{ м}^2/\text{кг}$, выбранная как наиболее эффективная по результатам предыдущих исследований [11].

в) шунгит фракционированный зажогинского месторождения $S_{уд}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$, производства ООО Научно-производственный комплекс «КАРБОН-ШУНГИТ»,

³Iha V., Banthia A. Composite based on waste-ferrites as microwave absorbers // Indian J. Phys. 1989. Vol. 63, № 5. P. 514–525.

⁴Chung D.D.L. Materials for Electromagnetic Interference Shielding // Journal of Materials Engineering and Performance. 2000. № 9 (3). P. 350–354.

г. Петрозаводск, следующего химического состава: SiO_2 – 57,0 %; TiO_2 – 0,2 %; Al_2O_3 – 4,3 %; MgO – 1,2 %; CaO – 0,3 %; Na_2O – 0,2 %; K_2O – 1,5 %; S – 1,5 %; C – 28,0 %; $\text{H}_2\text{O}_{\text{крис}}$ – 3,0 %.

г) химические добавки:

- пластификатор первой группы с ускоряющим и самоуплотняющим действием на основе карбоксилатов «Одолит-К» произведенный по ТУ 5745-01-96326574-08, представляющий собой полупрозрачную вязкую жидкость в водном растворе без содержания хлора, производства ООО «Сервис-Групп», плотностью 1,06 г/см³, pH при 20°C – 6,9;

- суперпластификатор «БЕСТ-СПл», производства ООО «Инновационные Технологии»; суперпластификатор первой группы по ГОСТ 24211 – водный раствор солей органических кислот в жидком виде без содержания хлора. Жидкость коричневого цвета, с плотностью (при 20°C) 1,1-1,3 г/см³, массовая доля сухого вещества 30-40 %;

д) полипропиленовые волокна марки ВСМ-П, производства ООО «Си Айрлайн» г. Челябинск, длиной 6 мм по ТУ 5458-001-82255741-2008, с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики полипропиленовых волокон марки ВСМ-П

Наименование	Показатели
Материал	Высокомодульный термопластичный модифицированный полимер
Диаметр волокон, мкм	20-22
Прочность на разрыв, МПа	550
Удлинение	20 %
Модуль упругости, МПа	не менее 10000
Площадь поверхности, м ² /кг	150
Температура плавления, °C	160

е) вода водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

На первом этапе исследований по разработке шунгитосодержащих ГВЛ на основе гипсоцементного вяжущего определяли необходимое количество АМД в составе смеси, по известной методике⁵. В качестве АМД использовали метакаолин. Для определения его необходимого количества в составе гипсоцементной смеси приготавливалось две партии препаратов по 3 состава, отличающихся различным содержанием метакаолина. Первую партию испытывали через 5 суток, а вторую партию – через 7 суток после изготовления. Для определения концентрации оксида кальция через 5 и 7 суток из каждой колбы отбирали по 50 мл водного раствора путём фильтрования через фильтровальную бумагу, который титровали в присутствии фенолфталеина 0,1Н раствором соляной кислоты. Затем строили графики зависимости концентрации оксида кальция в растворе от количества метакаолина в составе смеси. По графикам определяли его необходимое количество в составе гипсоцементного вяжущего при условии, чтобы концентрация оксида кальция на пятые сутки не превышала 1,1 г/л, на седьмые сутки – 0,85 г/л.

Количество воды затворения подбиралось из условия обеспечения нормальной густоты модифицированной гипсоцементно-пуццолановой смеси (ГЦПС) по ГОСТ 23789-79. В расчетное количество воды добавляли химические добавки (Одолит-К, Бест-СПл) и армирующие волокна для их предварительной распушки. Затем производили весовую дозировку и тщательное перемешивание компонентов вяжущего (гипс, ПЦ, метакаолин) и шунгита. Из гипсоцементно-волоконистых смесей изготавливались образцы ГВЛ толщиной 10 мм с применением литьевого способа формования.

Определение реологических свойств гипсоцементно-пуццолановых вяжущих определяли в соответствии с ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Испытания на прочность при изгибе образцов шунгитосодержащих ГВЛ производились на образцах 400×300×10 мм по методике ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия». Водопоглощение ГВЛ определяли по методике ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия».

⁵Ферронская А. В. Гипсовые материалы и изделия. Производство и применение. М. : АСВ, 2004. 488 с.

Анализ электромагнитных волн, проходящих через шунгитосодержащие ГВЛ, производили с помощью прибора FSH8. Размеры образцов, принятых для данных исследований, составили 50×50 см толщиной 1 см. Исследования проводились в диапазоне частот ЭМВ 2-6 ГГц. Структурная схема принятой для исследований измерительной установки приведена на рис. 1.

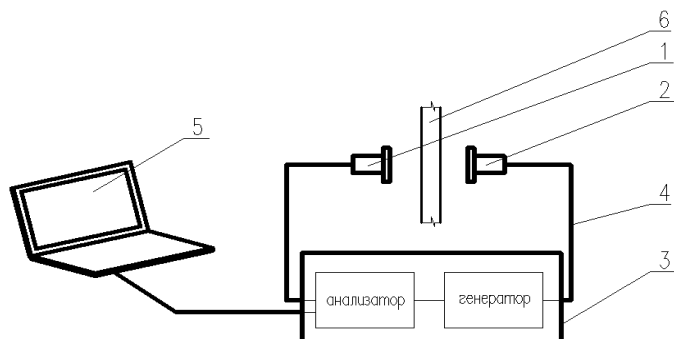


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки:

1 – приемная антенна; 2 – передающая антенна; 3 – анализатор;
4 – соединительные коаксиальные кабели; 5 – компьютер; 6 – исследуемый образец ГВЛ

В качестве антенн измерительной установки использовались излучатели в виде открытого конца прямоугольного волновода, которые обеспечивают коэффициент стоячей волны в диапазоне от 2 до 6 ГГц. Результаты экспериментов приводятся в виде графиков, отражающих зависимости коэффициента ослабления ЭМВ (дБ) от частоты излучения.

Результаты экспериментальных исследований.

Зависимость концентрации оксида кальция в растворе от количества метакеолина в смеси приведена на рис. 2.

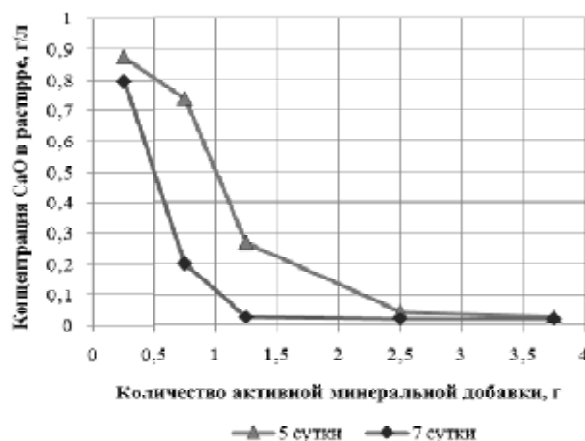


Рис. 2. Кинетика поглощения CaO добавкой метакеолина

Согласно полученным экспериментальным данным (рис. 2) необходимое содержание добавки метакеолина в составе гипсоцементной смеси составляет 20 % от массы ПЦ (4 % от массы ГЦПВ).

На втором этапе экспериментальных исследований изучено влияние шунгита на нормальную густоту и сроки схватывания модифицированной гипсоцементно-пуццолановой смеси при соотношении компонентов 76:20:4 (табл. 2) и физико-механические свойства ГВЛ.

Таблица 2

Нормальная густота и сроки схватывания модифицированной ГЦПС

Доля шунгита в вяжущем, %	НГ	Сроки схватывания, мин	
		Начало	Конец
-	0,33	19,0	21,0
5	0,34	20,0	21,5
10	0,35	22,0	23,5
20	0,38	22,5	24,0
30	0,41	23,5	24,5
40	0,44	27,0	27,5

Анализ полученных данных свидетельствует о незначительном влиянии шунгита на водопотребность и сроки схватывания гипсоцементного вяжущего. Так при увеличении его содержания в составе смеси (0-40 %) наблюдается увеличение ее водопотребности на 33 %, что обусловлено высокой дисперсностью шунгита (200 м²/кг). Введение шунгита в количестве 5-40 % приводит к замедлению сроков начала и конца схватывания на 1-8 и 0,5-6,5 мин соответственно, что позволяет формировать изделия без применения замедлителей схватывания.

Результаты экспериментальных исследований зависимости предела прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита (5, 10, 20, 30, 40 % от массы ГЦПВ) приведены на рис. 3.

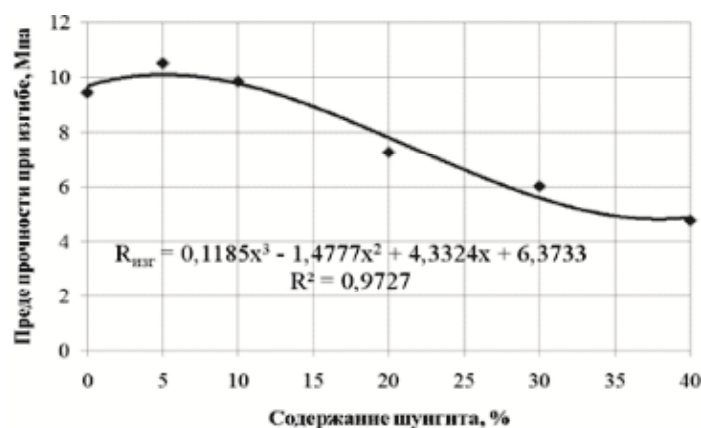


Рис. 3. Зависимость пределов прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита

Как видно из рис. 3, введение шунгита в состав гипсоцементно-волокнутой смеси приводит к незначительному росту (на 11,2 % при содержании 5-10 %), а затем к снижению показателей пределов прочности при изгибе ГВЛ (при содержании более 10 %). Снижение прочности обуславливается эффектом разбавления вяжущего при высоком содержании шунгита в составе смеси, а также ее повышенной водопотребностью. Согласно ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия» минимальный предел прочности при изгибе ГВЛ толщиной до 10 мм включительно должен составлять не менее 5,4 МПа. В этой связи образцы ГВЛ с содержанием шунгита 40 % от массы вяжущего, обладающих пределом прочности при изгибе 4,77 МПа, исключили из дальнейших исследований.

Результаты экспериментальных исследований зависимости водопоглощения ГВЛ от содержания шунгита (5, 10, 20, 30 % от массы ГЦПВ) описываются линейной функцией следующего вида $V = -0,0421x^3 + 0,6967x^2 - 2,9431x + 14,836$, с доверительной вероятностью 98,6 %. Введение шунгита в количестве 5-10 % приводит к снижению водопоглощения ГВЛ на 2,9 %, при дальнейшем его увеличении содержания в составе гипсоцементной смеси приводит к возрастанию водопоглощения готовых изделий.

Таким образом, на данном этапе получены ГВЛ с содержанием шунгита 0-30 %, с пределом прочности при изгибе 6-10,5 МПа, водопоглощением – 11,2-13,8 %. На третьем этапе исследований определяли зависимости коэффициентов ослабления ЭМВ от содержания шунгита (0-30 %) в составе ГВЛ (рис. 4).

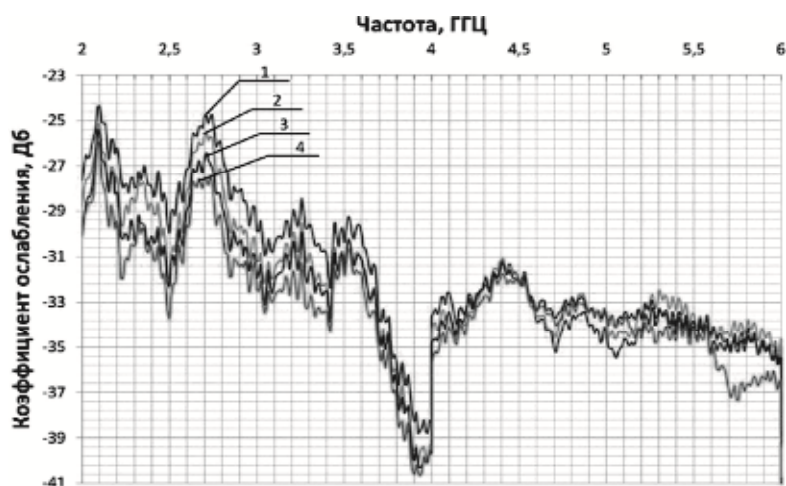


Рис. 4. Коэффициент ослабления электромагнитных волн ГВЛ при содержании шунгита: 1 – 0 %; 2 – 10 %; 3 – 20 %; 4 – 30 %

Анализ данных, приведенных на рис. 4, свидетельствует об активном влиянии шунгита на величину коэффициента ослабления электромагнитных волн. Значения коэффициентов ослабления электромагнитных волн для наиболее распространенных частот в городской среде приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты ослабления электромагнитных волн

Частота, ГГц	Содержание шунгита в ГВЛ			
	0 %	10 %	20 %	30 %
2,1	-24,35	-25,17	-25,59	-26,61
2,45	-28,55	-30,1	-30,94	-31,92
5,2	-33,31	-33,73	-33,73	-34,59

Полученные экспериментальные данные позволили установить, что наилучшие показатели по критерию ослабления ЭМВ достигаются при содержании шунгита в количестве 30 % от массы ГЦПВ.

По результатам выполненных исследований установлено, что с увеличением содержания шунгита защитные свойства образцов ГВЛ увеличиваются во всех интервалах частот ЭМВ. С увеличением частоты ЭМВ защитные свойства образцов увеличиваются. При увеличении содержания шунгита в составе смеси наблюдается увеличение защитных электромагнитных свойств на величину до 2 Дб.

Заключение

1. Разработаны радиозащитные шунгитосодержащие облицовочные ГВЛ, которые могут быть применены при устройстве перегородок в помещениях с источниками повышенных ЭМИ.

2. Установлена эффективность метакаолина в качестве АМД для ГЦПВ, оцененная по поглощению СаО, содержащегося в водных суспензиях гипса, портландцемента и АМД. Необходимое его содержание в составе смеси, согласно полученным экспериментальным данным, составляет 20 % от массы ПЦ (4 % от массы ГЦПВ).

3. Установлено, что введение шунгита совместно с химическими добавками в гипсоцементно-волоконные смеси приводит к замедлению сроков начала и конца схватывания, что позволяет формировать изделия без применения замедлителей.

4. Показано, что введение шунгита в количестве 5-10 % от массы ГЦПВ приводит к повышению предела прочности при изгибе ГВЛ до 11,2 %. Увеличение содержания шунгита более 30 % приводит к существенному увеличению водопотребности смеси, разбавлению вяжущего и снижению прочности готовых изделий сверх допустимых значений по ГОСТ Р 51829-2001, что определяет границы оптимального содержания шунгита (0-30 %) и позволяет создавать радиозащитные ГВЛ с требуемым значением ослабления энергии ЭМИ.

5. Выявлено, что с увеличением содержания шунгита в составе ГВЛ наблюдается увеличение их радиозащитных свойств в исследуемых интервалах частот ЭМВ (2-6 ГГц). Наилучшие показатели по критерию ослабления ЭМВ достигаются при содержании шунгита в количестве 30 % от массы ГЦПВ.

Список библиографических ссылок

1. Белоусова Е. С., Махмуд М. М., Лыньков Л. М., Насонова Н. В. Радиозащитные свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2013. Том 5. № 2. С. 56–67. URL: http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf (дата обращения 17.07.2017).
2. Лыньков Л. М., Махмуд М. Ш., Криштопова Е. А. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С : Фундаментальные науки. 2012. № 4. С. 103–108.
3. Bibikov S. B., Prokof'ev M. V. Composite Materials for Some Radiophysics Applications // Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses. 2011. P. 525–544.
4. Радиозащитный строительный бетон и способ его изготовления : пат. 2545585 Рос. Федерация. № 2013147015/03 ; заявл. 22.10.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. 11 с.
5. Энергоэффективная технологическая линия производства нанодисперсной добавки для бетонов : пат. 108033 Рос. Федерация. № 2011113558/03 ; заявл. 07.04.11 ; опубл. 10.09.11, Бюл. № 25. 4 с.
6. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А., Карпиков Е. Г. Особенности структурообразования цементного камня с углерод-кремнеземистой нанодисперсной добавкой // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 66–67.
7. Углеродсодержащая композиция для радиозащитных материалов : пат. 2519244 Рос. Федерация. № 2012145071/07 ; заявл. 24.10.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. 6 с.
8. Пресс композиция для радиозащитных плитных материалов и способ ее изготовления : пат. 2531817 Рос. Федерация. № 2013117308/05 ; заявл. 17.04.2013 ; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30. 7 с.
9. Радиозащитный слоистый материал : пат. 2433916 Рос. Федерация. № 2010110743/05 ; заявл. 23.03.2010 ; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. 8 с.
10. Изотов В. С. Особенности свойств быстротвердеющего смешанного вяжущего // Вестник казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 23. С. 70–72.
11. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L.V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cement-pozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106 (03012). P. 1–9.

Mukhametrakhimov R.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Shafigullin R.I. – post-graduate student

Kuprijanov V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuprivan@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Development of radioprotective shungite-containing gypsum-fiber facing sheets

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to develop radioprotective shungite-containing gypsum fiber facing sheets, which can be used in the device of partitions in rooms with sources of increased electromagnetic radiation.

Results. The main results of the study are to establish the effectiveness of a binary active mineral additive for a gypsum cement-pozzolanic binder, including metakaolin and shungite in a ratio of 1:3, estimated from the absorption of CaO. It has been established that the introduction of shungite in an amount of 5-10 % of the weight of binder allows increasing the flexural strength of gypsum fiber based on it up to 11,2 %, further increase in its content leads to an increase in the water requirement of the mixture, to the dilution effect of the binder and reduces the strength limits of grafting. Dependences of the attenuation coefficients of electromagnetic waves and the ultimate strengths of bending of gypsum fiber on the content of shungite (0-30 %) in the compositions studied are established. It was found that with an increase in the shungite content, an increase in their protective properties was observed in the investigated electromagnetic waves frequency intervals (2-6 GHz).

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in obtaining shungite-containing gypsum-fiber articles intended to protect various objects from the effects of electromagnetic radiation.

Keywords: electromagnetic radiation, composite materials, radioprotective constructions, radio absorbing properties, shungite, gypsum-fiber sheets.

References

1. Belousova E. S., Mahmoud M. M., Lynkov L. M., Nasonova N. V. Radio-shielding properties of concretes on the basis of longitudo degrees of nanomaterials // Nanotechnology in construction: scientific Internet journal. 2013. Vol. 5. № 2. P. 56–67. URL: http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf (reference date: 17.07.2017).
2. Lyn'kov L. M., Mahmud M. Sh., Krishtopova E. A. Electromagnetic radiation screens based on powdered shungite // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija S : Fundamental'nye nauki. 2012. № 4. P. 103–108.
3. Bibikov S. B., Prokof'ev M. V. Composite Materials for Some Radiophysics Applications // Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses. 2011. P. 525–544.
4. Radioprotective structural concrete and method of its manufacture : patent 2545585 of the Rus. Federation. № 2013147015/03 ; decl. 22.10.2013 ; publ. 10.04.2015. Bull. in № 10. 11 p.
5. Energy efficient technological production line of nano-dispersed additives for concrete : patent 108033 of the Rus. Federation. № 2011113558/03 ; decl. 07.04.2011; publ. 10.09.2011. Bull. in № 25. 4 p.
6. Lukutcova N. P., Pykin A. A., Karpikov Ye. G. Peculiarities of structure formation of cement stone with carbon-siliceous nano-dispersed additive // Building materials. 2011. № 9. P. 66–67.
7. Carbon-containing composition for radioprotective materials : patent 2519244 of the Rus. Federation. № 2012145071/07 ; decl. 24.10.2012; publ. 10.06.2014. Bull. in № 16. 6 p.
8. Press composition for radioprotective plate materials and method of its production : patent 2531817 of the Rus. Federation. № 2013117308/05 ; decl. 17.04.2013; publ. 27.10.2014. Bull. in № 30. 7 p.
9. Radioprotective laminate : patent 2433916 of the Rus. Federation. № 2010110743/05 ; decl. 23.03.2010 ; publ. 20.11.2011. Bull. in № 32. 8 p.
10. Izotov V. S. Features quick-setting mixed binder // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 23. P. 70–72.
11. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L. V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cement-pozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106 (03012). P. 1–9.

УДК 614.8.084:699.887

Хузиахметов Р.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: hroustam@mail.ru

Нуриева Д.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: danm_n@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Оценка состояния откоса котлована при устройстве свайных фундаментов

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является выявление причин нарушения градостроительного законодательства, приведших к обрушению земляного откоса котлована, опрокидыванию сваебойного копра и гибели машиниста сваебойного копра.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении устойчивости откоса грунта при забивке железобетонных свай вблизи бровки откоса нижележащего котлована. Расчеты проведены с применением четырех известных методов – Феллениуса, Крея, Терцаги, Чугаева. Потеря устойчивости грунта была вызвана нарушением равновесия внешних и внутренних сил (присутствие строительной техники и складированных материалов вблизи откоса и собственный вес грунта). Расчеты были проведены для шести вариантов загрузки земляного откоса. В статье подробно представлен вариант, при котором произошло обрушение откоса.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в необходимости всесторонней проработки вопросов безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства, начиная с подготовки задания на проектирование, изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции и т.д.

Ключевые слова: травматизм, несчастный случай, бровка откоса котлована, устойчивость откоса, призма обрушения грунта, инженерно-геологические условия, сваебойный копер.

Введение

Строительство, являясь высокоопасной отраслью промышленности, постоянно присутствует отдельной позицией в статистических списках по производственному травматизму. Это объясняется значительным числом производственных факторов, постоянно или потенциально сопровождающих процессы строительства.

Признается, что в строительстве существующий уровень производственного травматизма, в том числе и со смертельным исходом, остается сопоставимым с уровнем травматизма в других травмоопасных отраслях промышленности (например, транспорт, сельское хозяйство и др.). Производственные травмы, профессиональные заболевания и смертельные исходы приводят к людским и материальным потерям, несмотря на то, что количественное снижение показателей травматизма в стране снижается [1-6]. Однако, это не связано со значительным улучшением производственных условий труда и с мотивацией работать без нарушения требований безопасности. На сегодняшний день невозможно создание такого состояния в области безопасности труда в промышленности в целом, и в строительстве в частности, когда должно быть гарантировано обеспечен уровень безопасного труда. Примером обеспечения организации безопасного выполнения работ являются технические исследования и решения по укреплению глубокого котлована при строительстве жилого дома с многоуровневой парковкой в стесненных условиях в г. Казани [7].

Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» требует обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла объекта (здания, сооружения), начиная от разработки задания на проектирование, инженерно-геологических изысканий, проектирования, строительства, надзора в период строительства, эксплуатации и т.д.

Перед строительной отраслью стоят грандиозные задачи по возведению новых, ремонту, реконструкции и восстановлению существующих капитальных объектов, причем экономические условия существования отрасли не являются соответствующими грандиозности стоящих перед ней задач. Строительная отрасль в настоящее время испытывает недостаток квалифицированных рабочих кадров, линейных руководителей на строительных площадках (мастеров, прорабов).

Настоящая статья написана по результатам экспертного исследования причин нарушения градостроительного законодательства при строительстве крупного промышленного объекта, в результате которых произошло обрушение грунтовых масс откоса котлована, приведшее к опрокидыванию сваебойного копра. Машинист этой установки погиб, выпрыгнув из кабины машины при развивающейся аварии.

Рассмотренная в статье задача по оценке условий обрушения откоса позволила связать воедино и установить причинно-следственные связи с другими техническими и организационными событиями, приведшими к гибели человека.

Основная часть

В октябре 2016 года в г. Казани при выполнении работ по забивке железобетонных свай вблизи бровки откоса котлована произошло опрокидывание в котлован сваебойного копра, результате чего погиб машинист этой установки.

При проведении экспертного исследования были изучены материалы опроса очевидцев и должностных лиц, проектные материалы по объекту капитального строительства, фотографии места происшествия, осмотрен сваебойный копер. Также были изучены нормативно-технические документы и законодательные акты.

При выполнении экспертного исследования применялась терминология в соответствии с ВСН 04-71 «Указания по расчету устойчивости земляных откосов»¹.

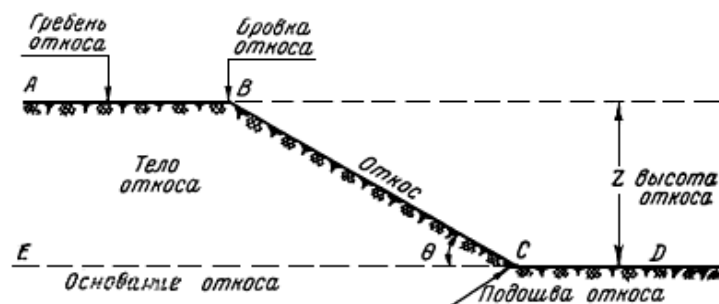


Рис. 1. Земляной откос – земляная поверхность с углом наклона к горизонту более 10° (линия BC).

Гребень откоса – земляная поверхность (линия AB) с углом наклона к горизонту менее 10° .

Поверхность основания откоса – земляная поверхность (линия CD) с углом наклона к горизонту менее 10° .

Бровка откоса – линия пересечения откоса с его гребнем, проектирующаяся на в точку B. Подошва откоса – линия пересечения земляного откоса с поверхностью его основания (точка C)

В результате исследования было установлено, следующее:

- строительство производилось в стесненных условиях, что отражается в проектной документации;

- в процессе строительства на смежных участках было в проектной документации заложено совмещение различных работ. При этом требуется четкая увязка параллельно выполняющихся строительных работ без ущерба для безопасности [10];

- верхние слои грунта всей территории строительства сформировались за десятилетия и имеют техногенное происхождение, несвязную структуру с присутствием в его составе различных органических включений (подробнее ниже по тексту). Ранее на этой территории размещался асфальтобетонный завод;

¹ВСН 04-71 «Указания по расчету устойчивости земляных откосов». Дата актуализации: 12.02.2016 г.).

- глубинная мощность такого типа грунтов – от десятка сантиметров до 7-9 метров, поэтому были выбраны свайные фундаменты под все сооружения объекта;

- котлован под основной блок с одной стороны в соответствии с проектом разрабатывался со шпунтовым креплением, а с другой стороны, где рядом располагались смежные и сопутствующие сооружения разрабатывался с уступом и откосами. Ширина горизонтальной части уступа по проекту должна была быть до 15 м (в реальности ширина уступа не превышала 10-12 м). Глубина котлована, параметры откосов приведены ниже по тексту;

- забивка свай производилась сваебойным копром СП-49 на базе трактора ТБ-100, при передвижении которых следует учитывать их разрушающее влияние на структурные связи в грунте [8, 9];

- опрокидывание сваебойного копра произошло при подготовке к забивке сваи № 62, которая находилась в кусте свай «61-62-63-64», на уступе (гребне) на расстоянии 3,1 м по горизонтали от бровки откоса нижележащего котлована;

- опрокидывание сваебойного копра сопровождалось обрушением откоса грунта.

В соответствии с заданием на выполнение экспертизы было проведено выполнение расчетного обоснования по оценке возможности обрушения грунта вблизи места производства работ по механизированному погружению свай с использованием сваебойного копра СП-49.

Основные расчетные положения

Под термином «устойчивость откоса» понимаем устойчивость его призмы или части откоса на сползание из-за нарушения равновесия внешних и внутренних сил, которые слагаются из собственного веса грунта и дополнительных нагрузок, связанных с наличием вблизи откоса техники и складированных материалов. Значение коэффициента запаса устойчивости устанавливаются исходя из условия статического равновесия:

$$S(M) = 0, \quad (1)$$

где M – моменты, действующие на блоки откоса.

Расчеты устойчивости откоса для надежности производились несколькими методами (В. Феллениуса, Г. Крея, К. Терцаги и Р.Р. Чугаева) с использованием, зарекомендовавших с советского периода себя, справочников проектировщика^{2, 3}.

На основании проведенных расчетов были получены значения коэффициентов запаса (K_3) и возможные линии скольжения.

Критерием устойчивости откоса являлось выполнение условия ВСН 04-71:

$$K_3 \geq [K_3], \quad (2)$$

где $[K_3]$ – допускаемый коэффициент запаса устойчивости, который был принят на основании табл. 2 ВСН 04-71 равным 1,15 для класса сооружения I при сочетании факторов, отвечающих строительному периоду.

Расчетное сечение откоса было принято в зоне оси 9 (рис. 2).

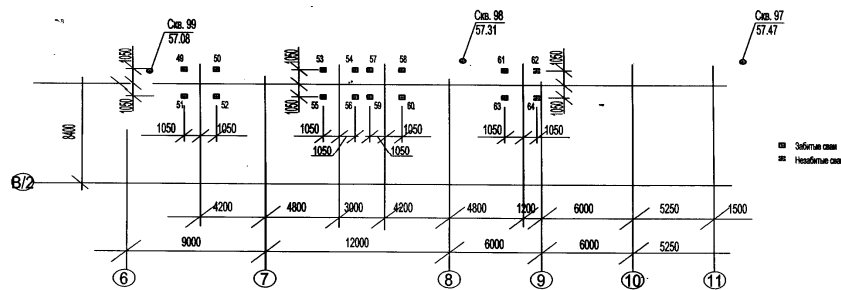


Рис. 2. Фрагмент схемы свайного поля

²Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения / Под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

³Изыскания и проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / Под ред. О.В. Андреева. – М.: Транспорт, 1989.

Варианты нагружения

- вариант 1 – отсутствие внешних пригрузок;
- вариант 2 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса сваи С12-35, подготовленной для забивки 62-ой сваи (размещение сваи перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 3 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса двух свай С12-35, подготовленных для забивки 62-ой и 64-ой свай, (размещение свай перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 4 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса сваи С12-35 подготовленной для забивки 64-ой сваи (размещение сваи вдоль бровки котлована);
- вариант 5 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 6 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи параллельно бровке котлована).

Для оценки наиболее неблагоприятных условий работы грунтового массива были рассмотрены вышеназванные шесть вариантов нагружения, из которых наиболее опасными являются – вариант 5 и вариант 6, причем в реальной ситуации, при которой произошло опрокидывание сваебойного копра, соответствует вариант 5 (рис. 3-4).

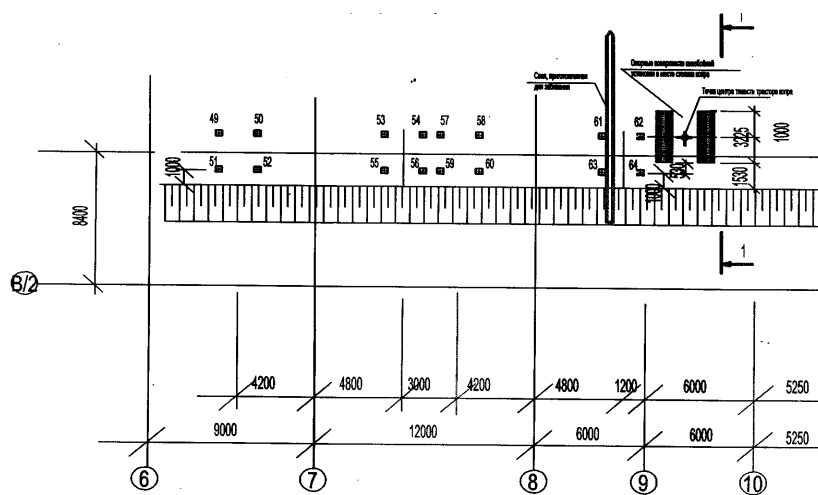


Рис. 3. Схема расчетного участка в плане с пригрузом по верхнему краю откоса от веса сваебойного копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована для забивки 62-ой сваи) (вариант 5)

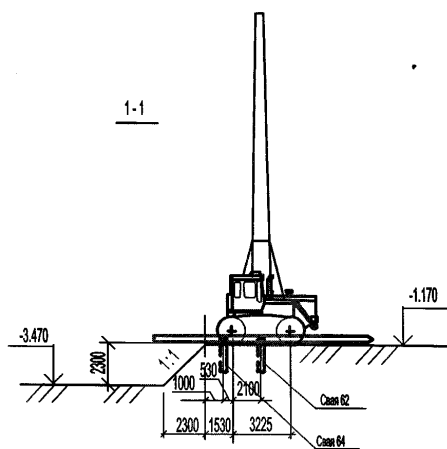


Рис. 4. Вертикальная схема расчетного участка с пригрузом по верхнему краю откоса от веса сваебойного копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована для забивки 62-ой сваи) (вариант 5)

Методы расчета

Метод В. Феллениуса

В основе метода В. Феллениуса лежит статический расчет устойчивости отдельных вертикальных элементов массы грунта, ограниченных сверху поверхностью грунта, а снизу – круглой дугой скольжения. Метод носит название расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Для определения коэффициента устойчивости сползающую часть массива делят вертикальными сечениями на ряд отсеков (рис. 8). На каждый отсек действуют удерживающая сила и сдвигающая.

За коэффициент устойчивости откоса K_y принимают отношение момента сил, удерживающих откос от сдвига $M_{уд}$ к моменту сил, стремящихся сдвинуть откос $M_{сдв}$:

$$K_y = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + P_i \frac{b_i}{R}}{\sum P_i \sin \alpha_i} \quad (3)$$

При этом рассматривается устойчивость полосы, шириной 1 м, перпендикулярной бровке откоса.

Для определения координат центра O наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости K_y получается минимальным, часто используется график Янбу (рис. 5).

Метод Г. Крея

Метод Г. Крея (или метод горизонтальных сил взаимодействия) достаточно точен, и рекомендован для расчетов устойчивости откосов из неоднородных грунтов.

Определение коэффициента запаса устойчивости K_3 производится путем подбора, так как K_3 выражен в формуле неявно. Подбор K_3 производится с такой степенью точности, чтобы разница в соседних определениях K_3 не превышала 0.1%. Формула для расчета имеет вид:

$$k_3 = \frac{1}{\sum (G_i \sin \alpha_i + \frac{f_i F_i}{R})} \cdot \sum \frac{(G + P_D \cos \alpha)_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i b_i}{\cos \alpha_i (1 + \operatorname{tg} \alpha_i \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{k_3})} \quad (4)$$

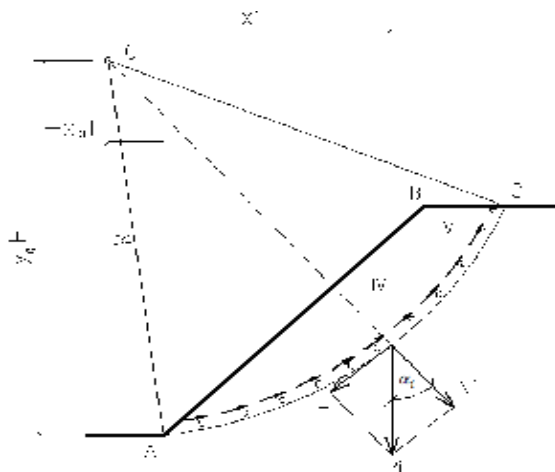


Рис. 5. Расчетная схема к расчету устойчивости по методу Феллениуса

Метод К. Терцаги

Метод К. Терцаги (или метод наклонных сил взаимодействия, параллельных подошве отсека) нашел широкое применение на практике благодаря своей простоте, однако при расчетах пологих откосов с заложением больше 2,5, он приводит к занижению величины K_3 , то есть дает значение «в запас». Формула для расчета имеет следующий вид:

$$k_3 = \frac{\sum (G - P_D \cos \alpha)_i \cos \alpha_i + \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i}}{\sum G_i \sin \alpha_i + \frac{f_i F_i}{R}} \quad (5)$$

Метод Р.Р. Чугаева

Метод предложен Р.Р. Чугаевым, основан на формальном совпадении результатов расчета по нему с результатами, полученными по методу Тейлора для однородных грунтов при заложениях откосов больше 2,5. Формула для расчета имеет вид:

$$k_{\Sigma} = \frac{\sum(G - P_B \cdot \cos\alpha)_i + tg\varphi_i + \frac{c_i b_i}{\cos\alpha_i}}{\sum G_i + \sin\alpha_i + \frac{l_i F_i}{R}} \quad (6)$$

В приведенных формулах использованы обозначения:

G_i (или P_i) – вес грунта и воды в пределах отсека с учетом нагрузки на поверхности земли;

F_i – горизонтальная составляющая внешней нагрузки на отсек (поверхностные и объемные силы, исключая фильтрационные);

φ_i – угол внутреннего трения грунта на поверхности скольжения;

c_i – удельное сцепление грунта отсека;

b_i – ширина отсека;

R – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;

α_i – наклон поверхности скольжения к горизонту;

l_i – длина поверхности скольжения.

Нагрузки

1. Свая С12-35.

- масса сваи: 3,73 т (черт. 1102.01-2.2-КЖ3);
- приведенная равномерно распределенная нагрузка от веса одной сваи:
 - на полосу шириной 1 м: 0,31 т/м²;
 - на полосу шириной 0,35 м: 0,8857 т/м²;
 - на полосу шириной 0,4 м: 0,78 т/м²;
- равномерно распределенная нагрузка от веса двух свай на полосу шириной 1 м - 0,62 т/м²;

2. Копер СП-49⁴.

- полная масса механизма с оборудованием: 31,06 т;
- максимальное удельное давление на грунт: 5,351 т/м² («Копер КоГ-12.0.1.1-01 (СП49Д). Руководство по эксплуатации СП-49Д.00.00.000 РЭ»);
- приведенное давлением на полосу шириной 1 м: 4,8159 т/м².

Размеры опорных поверхностей копра приведены на рис. 6.

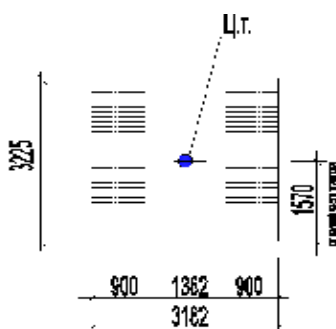


Рис. 6. Горизонтальная проекция опорных поверхностей сваебойного копра СП-49 (следы гусениц)

Грунты строительной площадки

Расчетные характеристики грунтов, расположенных в пределах площадки строительство приняты на основании данных инженерно-геологических изысканий, выполненных КазГИСИЗ в 2015 г. (табл. 1-2). Характеристики, заложенные в расчет приведены в табл. 3.

⁴Характеристики по сваебойному копру выбраны из руководства «Копер КоГ-12.0.1.1-01 (СП49Д). Руководство по эксплуатации СП-49Д.00.00.000 РЭ».

Таблица 1

1	ИГЭ № НС	Насыпной грунт разнородный песчаный, супесчаный, реже суглинистый с включением строительного мусора до 20-75 %, битого красного кирпича, гальки до 45 %, щебня 5-35 %, песчано-гравийной смеси, в отдельные скважинах шлака до 30-70 %, стекла, извести, в отдельных скважинах с запахом нефтепродуктов и сероводорода, с остатками бетона, отсыпан сухим способом, слежавшийся, несслежавшийся и неравномерно-слежавшийся.
2	ИГЭ № НС1	Насыпной грунт разнородный суглинистый, реже супесчаный, с включением золы, сажи, угольной пыли, полуразложившейся щепы, участками с включениями строительного мусора до 25-40 %, с остатками древесины, гудрона, извести, с запахом нефтепродуктов, участками заторфованный, отсыпан сухим способом, слежавшийся, несслежавшийся и неравномерно-слежавшийся.
3	ИГЭ № ба	Песок мелкий водонасыщенный, средней плотности, слюдястый, ожелезненный, слабоглинистый, с прослоями суглинка и супеси.
4	ИГЭ № ба'	Песок мелкий водонасыщенный, плотный, с прослоями суглинка и супеси, ожелезненный, с единичными включениями дресвы.

Гидрогеологические условия строительной площадки характеризуются развитием подземных вод типа «верхводка» и подземных вод основного водоносного горизонта. Водовмещающими грунтами в пределах рассматриваемого участка являются грунты ИГЭ № НС, НС1, ба, ба'.

Таблица 2

Характеристики грунтов согласно отчета КазТИСИЗ

Характеристика грунта	ИГЭ № НС	ИГЭ № НС1	ИГЭ № ба	ИГЭ № ба'
Плотность грунта γ , г/см ³	1,37-2,13	1,23-2,0	2,0	2,05
Плотность при W_{sat} γ_{sat} , г/см ³	-	-	2,0	2,05
Угол внутреннего трения j , град	6-34	8-21	32	34
Угол внутреннего трения j при W_{sat} , град	6-25	8-21	32	34
Удельное сцепление C , кПа	16-58	17-64	1,9	2,8
Удельное сцепление C при W_{sat} , кПа	12-46	12-27	1,9	2,8
Модуль деформации E , МПа	2,8-40	0,8-29	26	36
Модуль деформации E при W_{sat} , МПа	2,8-40	0,8-н29	26	36

Таблица 3

Характеристики грунтов заложенные в расчет

	Мощность слоя, м	γ , т/м ³	γ_{sat} , т/м ³	j , град	C , кПа	E , МПа
ИГЭ № НС	0,7-3,0	2,13	2,13	6	12	2,8
ИГЭ № НС1	6,8	2,0	2,0	8	12	0,8
ИГЭ № ба	2,1	2,0	2,0	32	1,9	26
ИГЭ № ба'	3,3	2,05	2,05	34	2,8	36

Примечания:

В расчете приняты наиболее неблагоприятные из представленных в отчете КазТИСИЗ характеристики грунтов. В реальных условия прочностные и деформативные характеристики грунтов могут иметь более низкие значения за счет вероятного разуплотнения грунта, вызванного динамическими воздействиями от забивки ранее погруженных свай и предвигавшихся по строительной площадке механизмов.

Результаты расчетов по пятому варианту

Результаты расчетов представим для пятого варианта приложения нагрузки и расположении сваебойного копра перпендикулярно бровке откоса котлована при подготовке к забивке свай № 62, расположенной на расстоянии 3,1 м от бровки откоса нижележащего котлована главного корпуса.

Отметим, что из куста свай «61-62-63-64» сваи № 61 и № 63 уже были забиты, а забивку сваи № 64, расположенную на расстоянии 1 м от бровки откоса котлована предполагалось произвести после забивки 62-ой сваи, предварительно срубив оголовки свай 61, 62 и 63, а копер расположив параллельно бровке откоса котлована.

Расчетная схема грунтового массива приведена на рис 7. Характеристики грунтов, исходные данные для расчетов по методам Г. Крея, К. Терцаги, Р.Р. Чугаева и сами расчеты представлены в табл. 4-11.

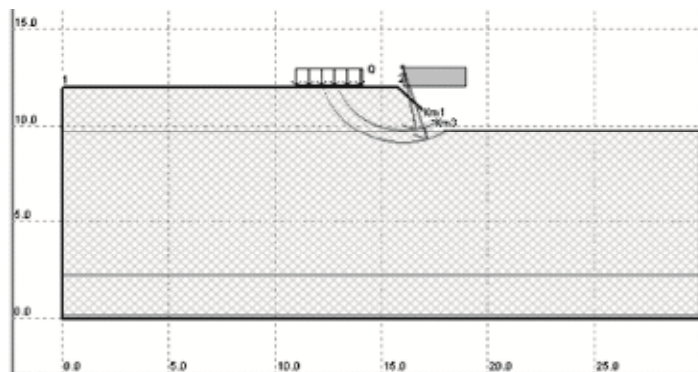


Рис. 7. Расчетная схема грунтового массива

Таблица 4

Характеристики грунтов

№ п/п	$G_{\text{сух}}, \text{т/м}^3$	$G_{\text{нас}}, \text{т/м}^3$	$\text{tg}V, \text{град.}$	$C, \text{т/м}^2$
1	2,13	2,13	6,00	1,20
2	2,00	2,00	8,00	1,20
3	2,00	2,00	32,00	0,19
4	2,05	2,05	34,00	0,28

Таблица 5

Координаты характерных точек откоса

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ пп	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	12,00	3	18,07	9,70
2	15,77	12,00	4	30,00	9,70

Таблица 6

Координаты точек кривой депрессии

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	9,70	3	18,07	9,70
2	15,77	9,70	4	30,00	9,70

Таблица 7

Координаты точек границы грунтов 1 и 2

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	9,70	3	18,07	9,70
2	15,77	9,70	4	30,00	9,70

Таблица 8

Координаты точек границы грунтов 2 и 3

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	2,20	3	18,07	2,20
2	15,77	2,20	4	30,00	2,20

Таблица 9

Координаты точек границы грунтов 3 и 4

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	0,10	3	18,07	0,10
2	15,77	0,10	4	30,00	0,10

Относительная ширина отсека $R/b = 100$.

Внешняя нагрузка на откос:

- Значение нагрузки $[т/м^2]$, $q = 5,35$;
- Начальная координата [м], $X_n = 10,95$;
- Конечная координата [м], $X_k = 14,17$.

Таблица 10

Область центров и радиусы поверхностей скольжения

Наименование	X, [м]	Y, [м]	R, [м]
Мин. значения	16,00	12,00	3,00
Мах. значения	19,00	13,00	4,00
Кол-во точек	5	5	10

Расчеты по методам Г. Крея, К. Терцаги, «весового давления» представлены в табл. 11.

Таблица 11

Расчеты по методам Г. Крея, К. Терцаги, «весового давления»

№ п/п	Значение K_{min} по методу			R_{min} , [м]	X_{min} , [м]	Y_{min} , [м]
	Г. Крея	К. Терцаги	«весового давления»			
1	1.0064667	0.9350662	0.9847378	3.00	16.00	12.75
2	0.9939433	0.9290567	0.9761909	3.11	16.00	13.00
3	0.9582398	0.8943524	0.9418034	3.22	16.00	13.00
4	0.9741007	0.9082166	0.9555005	3.33	16.00	13.00
5	0.9867023	0.9187356	0.9661336	3.44	16.00	13.00
6	0.9871081	0.9176995	0.9652927	3.56	16.00	13.00
7	0.9741159	0.9044958	0.9527369	3.67	16.00	13.00
8	0.9676948	0.8973157	0.9456558	3.78	16.00	13.00
9	0.9634240	0.8919587	0.9407392	3.89	16.00	13.00
10	0.9689656	0.8952304	0.9445436	4.00	16.00	13.00
Мин. по методу						
Г. Крея	0.9582398			3.22	16.00	13.00
К. Терцаги		0.8919587		3.89	16.00	13.00
«весового давления»			0.9407392	3.89	16.00	13.00

Расчет по методу Феллениуса

Расчетная схема по методу Феллениуса для 5 варианта представлена на рис. 8.

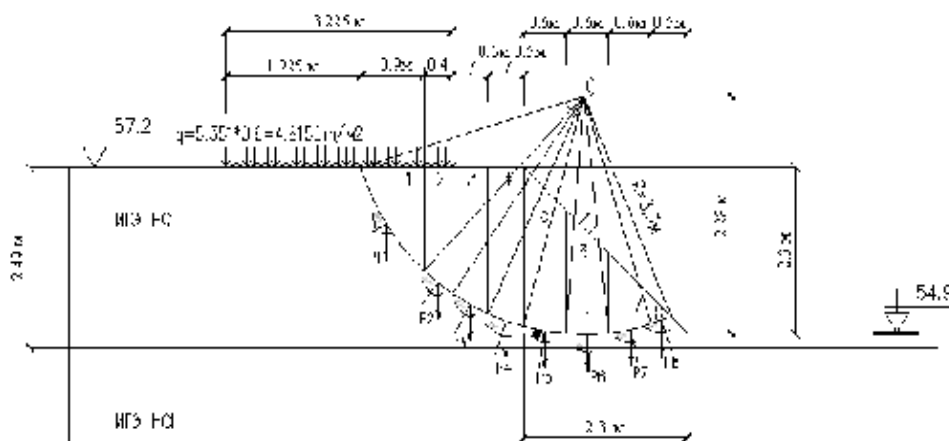


Рис. 8. Расчетная схема откоса для 6 варианта

Коэффициент устойчивости:

$$K_y = \frac{M_{yo}}{M_{cob}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + P_i \frac{\delta}{\sigma}}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha_i} = 0,78. \quad (6)$$

Таблица 12

Вычислений коэффициента устойчивости для 5 варианта по методу Феллениуса
(радиус дуги скольжения $R = 3,3$ м)

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м ³	Вес блока, т	Нагрузка на поверхности, т	P _i , т	α _i , град	Cos α _i
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7145	0,9	0,64305	1,369697	5,351	6,720697	58	0,529919
2	1,5875	0,4	0,635	1,35255	0,78	2,13255	38	0,788011
3	1,881	0,5	0,9405	2,003265	0	2,003265	29	0,87462
4	2,111	0,5	1,0555	2,248215	0	2,248215	19	0,945519
5	1,95	0,6	1,17	2,4921	0	2,4921	9	0,987688
6	1,394	0,6	0,8364	1,781532	0	1,781532	1	0,999848
7	0,726	0,6	0,4356	0,927828	0	0,927828	12	0,978148
8	0,182	0,5	0,091	0,19383	0	0,19383	19	0,945519

Таблица 12'

№ блока	Sin α _i	φ _i , град	l _i , м	C _i , т/м ²	C _i l _i , т/м	P _i cos α _i tg φ _i , т	P _i sin α _i , т	P _i * sin α _i , т
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,848048	6	1,721593	1,2	2,065911	0,374321	5,699474	0
2	0,615661	6	0,573864	1,2	0,688637	0,176625	1,312929	0
3	0,48481	6	0,573864	1,2	0,688637	0,184153	0,971202	0
4	0,325568	6	0,573864	1,2	0,688637	0,223423	0,731947	0
5	0,156434	6	0,631251	1,2	0,757501	0,258705	0,38985	0
6	0,017452	6	0,573864	1,2	0,688637	0,187218	0	0,031092
7	0,207912	6	0,631251	1,2	0,757501	0,095388	0	0,192906
8	0,325568	6	0,344319	1,2	0,413182	0,019262	0	0,063105
				\bar{a}	6,748644	1,519095	9,105402	0,287103

Результаты проведенных расчетов по различным методам сведены в табл. 13.

Таблица 13

Метод расчета	K _{2, мин}	R, [м]	X ₀ , [м]	Y ₀ , [м]
Г. Крея	0,958240	3,22	16,00	13,00
К. Терцаги	0,891959	3,89	16,00	13,00
«Весового давления»	0,940739	3,89	16,00	13,00
В. Феллениуса	0,78	3,30		

Все расчеты по различным методам для 5 варианта определили откос как неустойчивый.

Данные расчетов по всем вариантам нагружений приведены в табл. 14.

Таблица 14

Сводная таблица результатов расчета устойчивости откоса

№ варианта	Описание	Минимальный коэффициент устойчивости	Вывод
Вариант 1	Внешние нагрузки отсутствуют	1,695	Откос устойчив
Вариант 2	На гребне откоса действует нагрузка от веса свай (размещение свай перпендикулярно бровке котлована)	1,455	Откос устойчив
Вариант 3	На гребне откоса действует нагрузка от веса двух свай (размещение свай перпендикулярно бровке котлована)	1,242	Откос устойчив
Вариант 4	На гребне откоса действует нагрузка от веса одной свай (размещение свай вдоль бровки котлована)	1,64	Откос устойчив
Вариант 5	На гребне откоса действуют нагрузки от веса копра и свай (расположение копра и свай перпендикулярно бровке котлована)	0,78	Откос не устойчив
Вариант 6	На гребне откоса действуют нагрузки от веса копра и свай (расположение копра и свай параллельно бровке котлована)	0,939	Откос не устойчив

Заключение

1. Инженерно-геологические изыскания, проведенные КазТИСИЗ позволили выявить, что два верхних инженерно-геологических элемента (ИГЭ) представлены насыпными грунтами НС и НС1. Грунты этих слоев не только крайне неравномерны по мощности (толщине), но и нестабильны по составу и включениям, происхождению и размерам частиц, имеют значительный разброс показателей технических свойств, характеризующих эти грунты.

Грунт верхнего ИГЭ № НС является насыпным грунтом, разнородным песчаным, супесчаным, реже суглинистым с включением строительного мусора до 20-75 %, битого красного кирпича, гальки до 45 %, щебня 5-35 %, песчано-гравийной смеси, в отдельных скважинах шлака до 30-70 %, стекла, извести, в отдельных скважинах с запахом нефтепродуктов и сероводорода, с остатками бетона, отсыпан сухим способом, слежавшимся, неслежавшимся и неравномерно-слежавшимся.

В соответствии с примечанием 2 к табл.1 СНиП 12-04-2002 грунт ИГЭ № НС можно было бы считать слежавшимся, учитывая его срок формирования исчисляемый десятилетиями, т.к. к неслежавшимся насыпным относятся грунты с давностью отсыпки до двух лет для песчаных; до пяти лет – для пылевато-глинистых грунтов.

Однако, вследствие его происхождения и условий формирования верхний элемент № НС не следует относить к слежавшимся.

Поэтому изменения внутренних связей в массивах такого разнородного и изменяющегося по составу грунта при воздействии на него извне внешних нагрузок (различных по величине, динамике и статике и т.п.) в условиях строительства на данной строительной площадке можно отнести к непредсказуемыми, а грунт верхних слоев (НС и НС1) также можно считать непредсказуемыми и назвать форс-мажорным.

2. Анализ результатов расчета показал, что в условиях проявления наилучших характеристик грунтов строительной площадки при отсутствии внешних нагрузок на гребне откоса, а также при действии незначительных нагрузок от веса 1-2 свай, устойчивость откоса обеспечена.

3. При воздействии нагрузок от веса копра СП-49 при его размещении перпендикулярно относительно бровки котлована для забивки 62-ой свай, расположенной от бровки откоса на расстоянии 3,1 м, устойчивость откоса **не обеспечена**.

4. При воздействии нагрузок от веса копра СП-49 при его размещении параллельно относительно бровки котлована для забивки 64-ой свай, расположенной от бровки откоса на расстоянии 1,0 м, устойчивость откоса **не обеспечена**.

5. Возможные плоскости сдвига грунтового массива проходят в зоне верхнего слоя грунта (ИГЭ-НС).

6. Всесторонняя проработка вопросов безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства должна начинаться при подготовке задания на проектирование, при проведении изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции и т.д.

Список библиографических ссылок

1. Хузиахметов Р. А., Хузиахметова К. Р., Шарапова Н. Б. Обеспечение повышения уровня безопасности труда при организации и выполнении строительных работ // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 339–345.
2. Статистика производственного травматизма. URL: vawilon.ru (дата обращения: 04.07.2017).
3. Уровень производственного травматизма в России достиг исторического минимума. URL: <http://ohranatruda.ru> (дата обращения 04.07.2017).
4. Статистика. URL: www.trudcontrol.ru/press/statistics (дата обращения: 24.07.2017).
5. Анализ производственного травматизма // URL: <http://otfi.ru> (дата обращения: 24.07.2017).
6. Производственный травматизм, или на чем экономят капиталисты. URL: comstol.info (дата обращения: 24.07.2017).
7. Мирсяпов И. Т., Хасанов Р. Р., Сафин Д. Р. Проектирование ограждений глубокого котлована жилого комплекса в условиях стесненной городской застройки // Известия КГАСУ. 2015. № 2 (32). С. 183–191.

8. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012008.
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012119.
10. Pinto R. C. A., Shindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. С. 58–65.

Khuziakhmetov R.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: hroustam@mail.ru

Nurieva D.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: danm_n@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Assessment of a condition of a slope of a ditch at the device of the pile bases

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the causes of violation of town planning legislation that led to the collapse of the earthen slope of the excavation, the overturning of the pile-driving copra and the death of the machinist pile-driving copra.

Results. The main results of a research consist in definition of stability of a slope of a soil when clogging reinforced concrete piles near a brow of a slope of an underlying ditch. Calculations are carried out with application of four known methods – Fellenius, Cray, Tertsagi, Chugayev. Loss of stability of a soil was caused by a disbalance of external and internal forces (presence of the construction equipment and the stored materials near a slope and sole weight of a soil). Calculations were carried out for six options of loading of earthen slope. The option at which there was a collapse of a slope explicitly is presented in article.

Conclusions. The significance of the received results for the construction industry in need of multifold study of safety issues at all stages of life cycle of construction objects, since preparation of a design assignment, researches, projection, construction, operation, repair, reconstruction etc.

Keywords: traumatism, accident, ditch slope brow, stability of a slope, prism of collapse of a soil, engineering-geological conditions, pile-driving.

References

1. Khuziakhmetov R. A., Khuziakhmetova K. R., Sharapova N. B. Ensuring increase in level of safety of work at the organization and realization of construction works // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 339–345.
2. Statistics of operational injuries. URL: vawilon.ru (reference date: 04.07.2017).
3. Level of operational injuries in Russia reached a historical minimum. URL: <http://ohranatruda.ru> (reference date: 04.07.2017).
4. Statistics. URL: www.trudcontrol.ru/press/statistics (reference date: 24.07.2017).
5. Analysis of operational injuries. URL: <http://otfi.ru> (reference date: 24.07.2017).
6. Operational injuries or what capitalists. URL: comstol.info (reference date: 24.07.2017).
7. Mirsaypov I. T., Khsanov R. R., Safin D. R. Design fence of deep foundation pit of residential complex in a congested urban area // Izvestiya KGASU. 2015. № 2 (32). P. 183–191.
8. Sakhapov R. L., Nikolaeva R.V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012008.
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012119.
10. Pinto R. C. A., Shindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.



УДК 625.739.4

Логинова О.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: loginova@kgasu.ru

Николаева Р.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikolaeva1@bk.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Альтернативные решения пересечений в разных уровнях

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования является обобщение данных по альтернативным ромбовидным пересечениям в разных уровнях с изменением сторонности движения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что на текущий момент выявлено три схемы ромбовидного пересечения с изменением сторонности движения. Данные виды пересечений имеют меньшее число конфликтных точек, по сравнению с пересечением типа «ромб». Опыт эксплуатации показал снижение аварийности. На развязках может осуществляться движение велосипедистов и пешеходов.

Выводы. Полученные результаты исследования дают представление об уровне проектирования альтернативных видов пересечения за рубежом. Рассматриваемые развязки могут быть использованы не только при пересечении дорог высоких категорий, но и в городах, в условиях существующей застройки.

Ключевые слова: транспортная развязка, ромбовидное пересечение с изменением сторонности.

Современный уровень автомобилизации привел к тому, что транспортные развязки из чуда инженерной мысли превратились в обыденность. Сейчас никого не удивит развязками в двух, трёх и более уровнях. А в начале двадцатого века они воспринимались как прорывные решения.

Эпоха проектирования и развития транспортных развязок началась с 1916 года, когда американец Артур Хале получил патент на развязку по типу «клеверный лист» [1]. С тех пор количество и модификации пересечений в разных уровнях выросло. Было разработано много пересечений и примыканий автомобильных дорог в двух уровнях, в основе которых лежал «клеверный лист». Одним из видов таких пересечений является развязка по типу «ромб», в основе которой лежит неполный «клеверный лист» [2, 3]. У данного вида пересечения отсутствуют левоповоротные съезды, имеющиеся у «клеверного листа» (рис. 1).

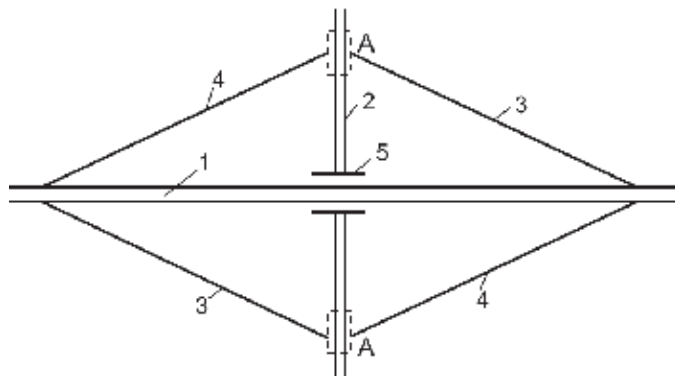


Рис. 1. Схема пересечения типа «ромб»: 1 – главная дорога; 2 – второстепенная дорога; 3 – съезд с главной дороги; 4 – съезд с второстепенной дороги; 5 – искусственное сооружение; А – место примыкания съездов к второстепенной дороге

В 2003 году Гилберт Члевецки (Gilbert Chlewicki) предложил модификацию пересечения типа «ромб» [4]. Это ромбовидная развязка с изменением сторон движения (рис. 2). В предложенном решении на второстепенной дороге происходит перестроение потоков с правой стороны движения на левую сторону и наоборот. Перестроение потоков движения осуществляется до и после путепроводов.

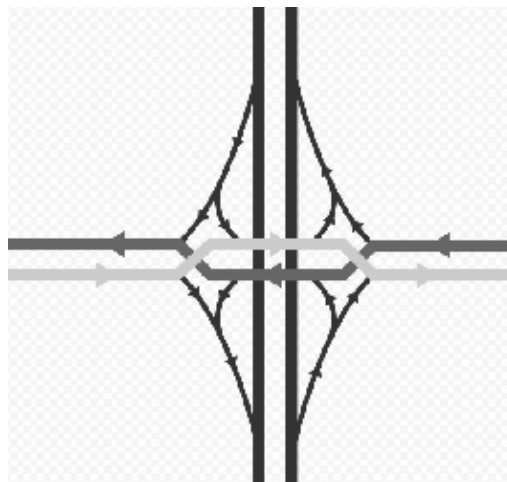


Рис. 2. Схема ромбовидной развязки с изменением сторон движения

В некоторых штатах США были построены транспортные развязки такого типа, особенностью которых явилось изменение сторон движения на второстепенной дороге. Два узла пересечения потоков располагаются до и после путепровода. На текущий момент в США насчитывается 18 пересечений с изменением сторон движения.

Различают несколько вариаций такой развязки. Первый вариант – второстепенная дорога проходит по путепроводу над главной дорогой. Изменение сторон движения происходит до и после путепровода, то есть над главной дорогой (рис. 3).



Рис. 3. Изменение сторон движения до и после путепровода

Второй вариант – второстепенная дорога проходит под путепроводом, главная дорога проходит над ним. Изменение направлений движения происходит до и после путепровода, то есть под главной дорогой (рис. 4) [4].

Третий вариант это модификация второго случая, когда ромб изменения сторон движения вместе с узлами изменения движения смещен в сторону от точки пересечения осей главной и второстепенной дорог [5].



Рис. 4. Изменение сторон движения под путепроводом

Как видно из представленных рисунков, при пересечении дорог под углом 90° длина путепроводов имеет минимальное значение. Если же дороги пересекаются под углом, то длина путепроводов увеличится. При этом следует учесть, что конуса насыпи под путепроводом будут способствовать увеличению его длины. Для того чтобы уменьшить длину путепровода или в стеснённых условиях городской застройки следует переходить к проектированию эстакады.

Возможны варианты, когда ромб изменения сторон движения устраивается на двух путепроводах. Этот случай может произойти, если решили провести реконструкцию уже существующей развязки и главная дорога проходит под путепроводом (рис. 3). Во время строительства движение осуществляется по существующему путепроводу. После введения в эксплуатацию, движение происходит по двум путепроводам. При этом, узлы изменения сторон движения находятся до и после путепроводов так же, как и на рис. 3.

Следующий аспект, который возникает при анализе ромбовидного пересечения с изменением сторон движения, это необходимость устройства светофорного регулирования в узлах изменения направления движения. При этом при проектировании геометрических размеров пересечения необходимо учитывать длину накопительных участков перед светофорами, которые располагаются до и после узлов пересечения потока. Как видно из рис. 3, на увеличение длины путепровода может повлиять протяженность автомобилей, расположенных на путепроводе перед светофором. Уменьшить длину участка накопления транспорта можно за счет изменения фаз светофорного регулирования.

Одним из плюсов ромбовидного пересечения можно отметить решение левоповоротных съездов. Предложенный вариант намного удобнее, по сравнению с левоповоротными съездами на пересечениях типа клеверного листа, где для совершения левого поворота водителю приходится на съезде поворачивать направо. И левоповоротные съезды «клеверного листа» выполнены в виде кольца малого радиуса в плане. В рассматриваемых вариантах, после прохождения светофора у первого узла изменения направления, водитель перестраивается на левую сторону движения и видит поворот налево, то есть не происходит потери ориентирования водителя. Левый съезд, в плане, более плавный, не приходится делать полный круг, как у пересечения типа «клеверный лист». Можно сказать, что это тот же левоповоротный съезд пересечения «клеверный лист», только его изменили, вытянули вдоль главной дороги.

Такое решение ромбовидного пересечения положительно сказывается на эмоциональном состоянии водителя и на его восприятие дорожной обстановки [11, 12]. Так как изменение направления происходит до пересечения путепровода, то у водителя есть время на обдумывание манёвра, пока машина стояла перед светофором. Не наблюдается потери ориентации, как при пересечении развязки типа «клеверный лист», когда при

повороте налево, водитель на левоповоротном съезде совершает правый поворот. Таким образом, эмоциональное состояние водителя остается стабильным и не мешает движению.

Возможно, из-за применения такого типа ромбовидного пересечения произойдет увеличение занимаемой земли под развязкой. Особенно, по сравнению с развязкой типа «клеверный лист». Но это достаточно спорный вопрос, который зависит, в первую очередь, от конфигурации развязки типа «клеверный лист», от того какими кривыми запроектированы правосторонние и левосторонние съезды. Уменьшение площади земли у клеверного листа произойдет только в том случае, если правые и левые съезды были запроектированы переходными кривыми переменной скорости [6] и левоповоротные съезды будут иметь два центра. Сравнительных данных по площади занимаемых земель у ромбовидного пересечения при проектировании его съездов различными кривыми, в том числе, и переходными кривыми переменной скорости, не найдено.

Следует так же отметить, что ромбовидное пересечение с изменением сторонности движения может применяться в городских условиях, поскольку, развязка достаточно узкая. Все съезды вытянуты вдоль главной дороги. Это позволяет вписать развязку в плотную городскую застройку, не задевая существующие строения.

У представленного ромбовидного пересечения отмечается снижения аварийности на 46-60 %. Уменьшение числа конфликтных точек у ромбовидного пересечения с изменением сторон движения по сравнению с пересечением типа «ромб» связано с изменением направления потоков движения и размещением светофоров перед этими узлами (рис. 5.) [13].

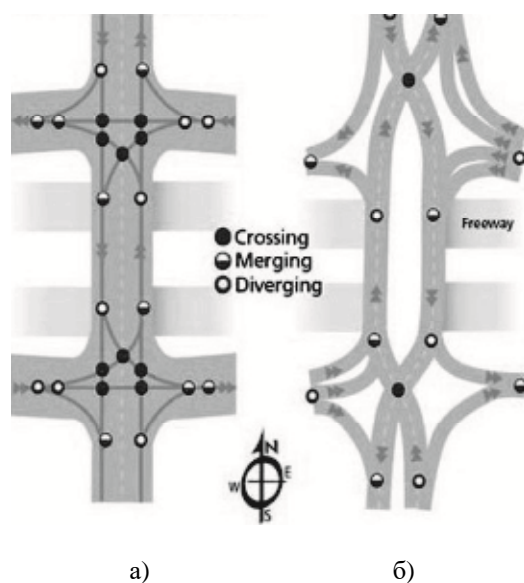


Рис. 5. Количество конфликтных точек:
а) пересечение типа «ромб»; б) ромбовидное пересечение с изменением сторон движения

Как видно из рисунка 5 у пересечения типа «ромб» 26 конфликтных точек, из них: 10 точек пересечения, 8 точек слияния и 8 точек разветвления потоков движения. У развязки, разработанной Г. Члевецки 14 конфликтных точек, из них: 2 точки пересечения потоков, перед которыми установлены светофоры, 6 точек слияния и 6 точек разветвления потоков движения. Наличие светофорного регулирования вынуждает водителей быть более внимательными, двигаться с меньшей скоростью при перестроении с одной стороны движения на другую. Следует отметить, что у ромбовидной развязки нет затяжного участка перестроения потоков, как у клеверного листа, пересечения типа «ром», где происходит пересечение автомобилей вышедших из левого поворота и уходящих на него [7, 8, 9, 10]. Этого удалось избежать вследствие изменения сторонности движения и наличия светофоров, ограничивающих скорость движения транспортных потоков.

При разработке геометрических параметров ромбовидного пересечения с изменением сторон движения следует учесть, что такой вид пересечения будет эффективен при пересечении дорог I и II технических категорий или при пересечении улиц городского значения с непрерывным движением и светофорным регулированием. На автомобильных дорогах I и II категорий проектируется 4 и более полос движения. Наличие двух полос движения в одном направлении, это тот минимум, при котором будет функционировать данная развязка. Одна полоса для движения в прямом направлении. И одна полоса для движения налево, но на этой полосе будет происходить слияние потоков автомобилей, которые совершают левый поворот и левый разворот. Следовательно, чтобы избежать увеличения числа конфликтных точек, следует проектировать, две полосы движения для движения в прямом направлении, одна полоса – для совершения левого поворота и ещё одна полоса – для левого разворота (рис. 3). То есть путепровод следует проектировать на четыре полосы в каждом направлении.

При проектировании ромбовидного пересечения в городских условиях обязательно необходимо учитывать наличие тротуаров для пешеходов. Если ромб изменения сторонности находится ниже главной дороги, то для пешеходов предусматриваются пешеходные переходы типа «зебра» и тротуары вдоль второстепенной дороги (рис. 4). Тротуары могут располагаться на путепроводе, если главная дорога проходит под путепроводом. В литературе приводятся пример организации пешеходного движения [4]. В частности, при расположении ромба над главной дорогой, тротуар может располагаться между потоками изменения движения, то есть по оси путепровода, а у светофоров происходит разделение пешеходных дорожек на правую и левую стороны развязки и переход осуществляется по «зебре» (рис. 3).

Не следует забывать и о велосипедном движении. Велосипедисты могут быть жителями пригородной зоны или города. В этом случае велосипедные полосы или дорожки следует предусматривать для любой модификации ромбовидного пересечения с изменением сторон движения. В том случае, если ромб изменения сторонности располагается на путепроводе, то велосипедные полосы располагаются вдоль оси путепровода, правее и левее тротуара, расположенного по оси путепровода. Второй вариант – это выделенная велосипедная дорожка, отделенная от проезжей части. Такое решение можно осуществить, если ромб изменения сторонности расположен под главной дорогой. В обоих случаях велосипедные полосы и дорожки располагаются вдоль тротуаров. При организации движения велосипедистов и пешеходов все места пересечения проезжей части и тротуаров или велодорожек следует оборудовать пониженным спуском.

Так как ромбовидное пересечение с изменением сторонности движения это относительно новая развязка, которая еще не применялась в России, то ее устройство повлечет за собой дополнительные затраты на информирование и обучение водителей, велосипедистов и пешеходов по правилам проезда и прохода по развязкам такого типа.

Такие нетрадиционные виды пересечений имеют в своей основе вариантное проектирование. Что позволяет для конкретных условий предложить свой набор решений для организации движения транспорта, пешеходов и велосипедистов. Применение ромбовидного пересечения с изменением сторон движения позволяет повысить безопасность движения, уменьшить задержки при ее пересечении развязки, быть доступны для велосипедистов и пешеходов, по сравнению с традиционными видами пересечений. Представленные решения не всегда знакомы отечественным проектировщикам и могут вызвать трудности при проектировании данного вида развязок.

Список библиографических ссылок

1. Федотов В. А., Буянов Э. С. Проблемы функционирования транспортных развязок типа «клеверный лист» и их решения // Дороги и мосты. 2011. № 25. С. 99–125.
2. Пospelов П. И., Шевяков А. П., Щит Б. А. Планировка ромбовидных пересечений автомобильных дорог в разных уровнях // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 3. С. 11–13.
3. Развязка транспортная (варианты) : пат. 2468138 Рос. Федерация. № 2011130936 ; заявл. 25.07.11 ; опубл. 27.11.12, Бюл. № 33. 28 с.

4. Bastian Schroeder; Chris Cunningham; Brian Ray, Andy Daleiden, Pete Jenior, Julia Knudsen, Kittelson & Associates, Inc. Diverging diamond interchange informational guide. U.S. department of transportation. Federal highway administration office of safety, August 2014. 226 с.
5. Joe G. Bared, Tom Granda, Abdul Zineddin. Drivers' evaluation of the diverging diamond interchange. Techbrief U.S. department of transportation. Federal highway administration office of safety. 2017. 11 с.
6. Мустафин М. М., Логинова О. А. Проектирование левоповоротных ответвлений транспортных развязок, с применением переходных кривых переменной скорости VGV_kurve : Электронный сборник статей по материалам XV студенческой международной научно-практической конференции. СибАК. Новосибирск, 2017. С. 7–11.
7. Venkata Chilukuri, Smith Siromaskul, Michael Trueblood and Tom Ryan. Diverging diamond interchange performance evaluation (I-44 and Route 13). February 2011. Missouri department of transportation. 62 с.
8. Chlewicki G. Should the diverging diamond interchange always be considered. Transportation research record. Washington, D.C., 2011. Vol. 2223. 88 с.
9. Tahmina Khan, Michael Anderson. Drivers' evaluation of the diverging diamond interchange // International journal of traffic and transportation engineering. 2016. № 6. С. 38–50.
10. Jorge A. Martinez, Ruey Long Cheu. Double crossover versus conventional diamond interchanges both with frontage roads // Journal of transportation of the institute of transportation engineers. November 2012. Vol. 4. № 1. С. 1–16.
11. Николаева Р. В. Предложения по проектированию автомобильных дорог с учетом восприятия водителем дорожных условий // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 252–258.
12. Николаева Р. В., Логинова О. А. Оптимизация дорожной обстановки при проектировании автомобильных дорог с учетом психофизиологии водителя // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 357–362.
13. James McCarthy, Joe Bared, Wei Zhang, and Mark Doctor. Design at the crossroads. Publication number: FHWA-HRT-13-005 Vol. 77. № 1. Date: July/August 2013. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/13julaug/01.cfm> (дата обращения: 30.06.2017).

Loginova O.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: loginova@kgasu.ru

Nikolaeva R.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: nikolaeva1@bk.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Alternative solutions of crossings in different levels

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to generalize data on alternative diamond-shaped intersections at different levels with a change in the direction of motion.

Results. The main results of the research are that, at the present moment, three schemes of diamond-shaped intersection have been revealed with a change in the legality of the movement. These types of intersections have a smaller number of conflicting points, compared to the intersection of the «rhombus» type. Operational experience showed a decrease in accidents. At the junctions, cyclists and pedestrians can move.

Conclusions. The obtained results of the research give an idea of the level of design of alternative types of crossing abroad. The considered interchanges can be used not only when crossing high-class roads, but also in cities, in the conditions of existing buildings.

Keywords: transport interchange, diverging diamond interchange.

References

1. Fedotov V. A., Buyanov E. S. Problems of functioning of road interchanges like «clover leaf» and their decisions // *Dorogi i mosty*. 2011. № 25. P. 99–125.
2. Pospelov P. I., Shevyakov A. P., Shchit B. A. Planning of diamond-shaped traverses of highways in different levels // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2013. № 3. P. 11–13.
3. Road interchange (options) : patent 2468138 of the Rus. Federation. № 2011130936 ; decl. 25.07.11; publ. 27.11.12. Bull. in № 33. 28 p.
4. Bastian Schroeder; Chris Cunningham; Brian Ray, Andy Daleiden, Pete Jenior, Julia Knudsen, Kittelson & Associates, Inc. Diverging diamond interchange informational guide. U.S. department of transportation. Federal highway administration office of safety, August 2014. 226 p.
5. Joe G. Bared, Tom Granda, Abdul Zineddin. Drivers' evaluation of the diverging diamond interchange. Techbrief. U.S. department of transportation. Federal highway administration office of safety. 2017. 11 p.
6. Mustafin M. M., Loginova O. A. Design of left turning branches of traffic intersections, using the transition curves of a variable speed of VGV_kurve : Electronic collection of articles on the materials of the 15th International Student Scientific and Practical Conference. SibAK. Novosibirsk, 2017. P. 7–11.
7. Venkata Chilukuri, Smith Siromaskul, Michael Trueblood and Tom Ryan. Diverging diamond interchange performance evaluation (I-44 and Route 13). February 2011. Missouri department of transportation. 62 p.
8. Chlewicki G. Should the diverging diamond interchange always be considered. Transportation research record. Washington, D.C., 2011. Vol. 2223. 88 p.
9. Tahmina Khan, Michael Anderson. Drivers' evaluation of the diverging diamond interchange // *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2016. № 6. P. 38–50.
10. Jorge A. Martinez, Ruey Long Cheu. Double crossover versus conventional diamond interchanges both with frontage roads // *Journal of transportation of the institute of transportation engineers*. November 2012. Vol. 4. № 1. P. 1–16.
11. Nikolaeva R. V. Offers on design of highways taking into account perception by the driver of road conditions // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 252–258.
12. Nikolaeva R. V., Loginova O. A. Optimization of a road situation at design of highways taking into account psychophysiology of the driver // *Izvestiya KGASU*. 2015. № 4 (34). P. 357–362.
13. James McCarthy, Joe Bared, Wei Zhang, and Mark Doctor. Design at the crossroads. Publication Number: FHWA-HRT-13-005 Vol. 77. № 1. Date: July/August 2013. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/13julaug/01.cfm> (reference date: 30.06.2017).



УДК 504.5

Семенов Д.А. – студент

E-mail: s7dmit@yandex.ru

Вахрушев С.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: spstf@pstu.ac.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский пр-т, д. 29

Анализ экологической проблемы при строительстве зданий и сооружений в городе Перми

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлась разработка природоохранных мероприятий при проведении строительных работ на территории города Перми на основе анализа влияния строительства на окружающую среду.

Результаты. В процессе изучения данных управления по экологии и природопользованию администрации города Перми за 2014 год были выявлены существующие на территории города Перми неблагоприятные инженерно-геологические процессы, а также области их распространения. Исследование влияния строительной отрасли на экологию и анализ произошедших в городе Перми чрезвычайных ситуаций, вызванных хозяйственной деятельностью человека, позволили сформулировать мероприятия по охране окружающей среды города Перми и Пермского края.

Выводы. Выявлены наиболее общие мероприятия по защите окружающей среды. Разработаны специальные природоохранные мероприятия для территории города Перми, включающие в себя предварительное изучение гидрологических, геологических и гидрогеологических свойств антропогенных грунтов, а также закрепление таких грунтов посадкой деревьев, организация дренажа территории, закрепление грунтов при строительстве на крутосклонных участках и исследование распространяющегося процесса суффозии.

Ключевые слова: строительство, строительные отходы, геологические процессы, загрязнение, экологические риски, природоохранные мероприятия.

Здания и сооружения оказывают воздействие на экологию в течение всего срока своего существования, от проектирования до сноса здания. В связи со значительным и еще малоизученным влиянием процесса строительства на окружающую среду появилась даже новая наука – строительная экология. Строительство – один из основных факторов воздействия человека на экологию, оказывающий влияние на все разнообразие биосферы. При этом непосредственно возведение зданий непродолжительно по времени. Иная ситуация возникает при работе сооружений. К данным неблагоприятным воздействиям можно отнести: изменение ветровых потоков, застои воздушных масс, нарушение инсоляции территорий, преобразование водного режима местности, уничтожение растительности, засорение водных и грунтовых ресурсов различными загрязнителями, вибрационное и шумовое засорение, нарушение теплового режима почв, изменение состава воздуха [1-3]. На территории города Перми влияние строительной деятельности человека заметно проявляется в загрязнении воздуха и водотоков, повышении глубины залегания насыщенных водой пород и развитии неблагоприятных геологических процессов.

Аспекты строительства, негативно воздействующие на экологию, подразделяются на:

- земляные работы;
- шумовое и вибрационное воздействие;
- вторичные материалы для обслуживания строительных машин и оборудования;
- мусор от демонтажа зданий;
- строительные отходы [4].

Рассмотрим более подробно каждый вид воздействия строительства на экологию города Перми.

Строительство сопровождается изменением существующего грунтового основания, влекущим к невыгодным последствиям.

Основные воздействия на грунтовую среду связаны со снятием почвенного слоя, насыпью, выемкой, перемешиванием грунтов, планировкой. Переменная работа строительной техники будет способствовать активизации эрозионных явлений.

Влияние на грунтовое основание при разработке грунта состоит в:

- образовании канав, борозд и других нарушений рельефа;
- нарушении температурного состояния грунтов;
- ускорении заболачивания в связи с нарушением существующего стока;
- активизации эрозионных явлений после удаления растительности;
- загрязнении грунтов отходами и т.д.

Воздействие на грунтовые ресурсы места возведения и близлежащих местностей способствует:

- активизации явлений намыва и осадки тонкодисперсных частиц вблизи места проведения работ;
- оттаиванию вечномерзлых грунтов;
- запуску заторфовывания, затопления, оврагообразования и других инженерных процессов на близлежащих землях [5].

Возведение земляных сооружений и строительство на крутосклонных участках приводит к развитию оползневых явлений в г. Перми. По данным управления по экологии и природопользованию администрации города Перми в 2014 г. в антропогенных почвах на откосах низин левобережных ответвлений р. Камы вблизи г. Перми были обнаружены процессы, порождающие опасности для населенных мест. На территории города распространены оползни на откосах таких рек, как Егошиха, Данилиха, Ива, Язовая. Известно множество случаев оползней в результате хозяйственной деятельности человека, таких как оползни на левом берегу р. Егошихи; оползневые процессы на Серебрянском проезде – правом берегу р. Данилихи; сползание антропогенных насыпей с ледяными включениями, приведшее к деформациям сооружений для подвески проводов, жилых зданий, коммунальных сетей в микрорайоне «Висим» на правом берегу р. Ивы; оползневое явление в низине р. Язовой в 2000 г. послужило причиной переселению жильцов по ул. Гашкова. В городе Перми распространено множество неблагоприятных инженерно-геологических процессов, таких как враждебная грунтовая обстановка – ВГО, выветривание – Вв, заболачивание – Зл, затопление – Зп, карстово-суффозионные – СК, оползни – Ол, переработка берегов – ПБ (табл. 1).

Таблица 1

Распространение геологических процессов на территории г. Перми

Муниципальные единицы второго порядка	Инженерные процессы						
	ВГО	Вв	Зл	Зп	СК	Ол	ПБ
Дзержинский	развит	слабо развит	сильно развит	сильно развит	сильно развит	слабо развит	развит
Индустриальный	развит	развит	слабо развит	развит	развит	слабо развит	слабо развит
Кировский	сильно развит	слабо развит	сильно развит	развит	слабо развит	слабо развит	сильно развит
Ленинский	развит	развит	сильно развит	сильно развит	развит	слабо развит	сильно развит
Мотовилихинский	развит	сильно развит	сильно развит	развит	развит	развит	развит
Орджоникидзевский	сильно развит	сильно развит	развит	развит	развит	развит	сильно развит
Свердловский	сильно развит	сильно развит	слабо развит	не выявлен	сильно развит	развит	не выявлен

Существенный взнос в засорение экологии на этапе возведения вносят строительные машины и оборудование. Так, при разработке выемок грунта и при строительстве новых объектов происходит загрязнение грунта бензином, маслами, смазочными материалами, выхлопами твердых и жидких компонентов топлива.

Строительные машины и оборудование являются основными источниками шумового и вибрационного загрязнения на строительной площадке [6].

При работе экскаватора, думпера, зачерпывании и перемешивании технических веществ в воздух неупорядоченно выбрасываются опасные соединения: нефтепродукты, углекислый газ, копоть, бурый газ, сернистый газ, минеральные и металлические частицы.

Главной операцией по уменьшению загрязнения атмосферы является развитие истоков загрязнителей, т.е. строительных машин и оборудования (снижение потребления горючего, уровня его выжигания, усовершенствование выбросов).

Снижение засорения атмосферы от действия движков строительных машин и автотранспорта достигается уменьшением смрадности и ядовитости выхлопов. В качестве топлива должны использоваться только сорта горючего по ГОСТу.

Действия строительной техники отличаются быстрой переменной загрузки движка. Требуется во время возведения зданий и сооружений соблюдать приемлемую систему функционирования автотранспорта. Экономность горючего характеризуется, главным образом, безотказностью устройства заправки движка [7].

Влияние на атмосферу во время возведения носит единичный характер, временную протяженность и значительную удаленность.

Засорение воздуха заключается в:

- выбросах загрязнителей с выхлопами автотранспорта;
- выбросах загрязнителей при обслуживании строительных машин;
- перемешивании и перемещении сыпучих материалов (песчано-гравийной смеси, химических реагентов).

Основными вредными веществами, выбрасываемыми в атмосферу города Перми во время строительства, являются: пыль, угарный газ, двуокись и трехокись серы, сероводород, вещества, содержащие азот, фтор и хлор.

Возведение зданий и сооружений существенно воздействует на водную среду территории строительства и всего Пермского края ввиду взаимосвязи водных потоков.

Негативное воздействие строительных работ на водную среду заключается в:

- засорении водных ресурсов мусором, складываемым на месте строительства;
- отравлении водных ресурсов нефтепродуктами, маслами и другими материалами при обслуживании строительной техники;
- изменении циркуляции водных потоков и режимов стока, так при строительстве дороги Пермь-Краснокамск был засыпан собирающий канал, в результате чего обмелела р. Ласва, происходит усыхание лесных насаждений, а часть уже погибла;
- изменении положения глубины залегания водонасыщенных пород в зависимости от выполняемых технологических операций.

Отдельно следует отметить строительство гидротехнических сооружений, которые не просто загрязняют, а кардинально меняют существующую окружающую среду района строительства и других, в том числе удаленных, территорий.

Воткинское водохранилище, повысив меженный уровень р. Камы на территории города на 1,5-2 м, активизировало водообмен в пределах низких, особенно правобережных террас, вызвало подъём грунтовых вод, подтопление и заболачивание участков. Влияние на грунтовые воды распространяется от водохранилища на 800-1000 м и более, что затрудняет освоение перспективного микрорайона Камская долина.

В ходе выполнения строительно-монтажных работ при нарушении водонепроницаемого слоя грунта происходит подтопление, что и произошло при углублении дна в Финском заливе при возведении морской транзитной пристани.

Присутствие сотрясений, возникающих при проведении строительно-монтажных работ и использовании гидротехнических сооружений, способствует выносу грунта, снижению прочности и растворению грунтов, разрушению конструкций [8].

На строительных площадках ежегодно образуются большие объемы строительных отходов. Виды строительного мусора и отходов представлены в табл. 2.

Главными источниками образования строительных отходов на территории города Перми являются: строительство новых зданий и сооружений, реконструкция и ремонт зданий, разрушение построек, снятие и ремонт дорожных покрытий, а также образование брака на производствах строительных материалов [9, 10]. В результате образуются

строительные отходы, классифицирующиеся следующим образом: остатки бетонной смеси и арматуры, асфальтобетонные и керамзитобетонные отходы, органический мусор, кровельные материалы, засоренная почва, кирпичный бой и т.д.

Таблица 2

Виды строительного мусора

Наименование отхода	Источник образования			
	Строительство новых зданий	Ремонт и реконструкция	Снос и демонтаж	Ремонт дорог
Бой бетона и ж/б	образуется в значительном количестве	образуется	образуется в значительном количестве	немного формируется
Бой кирпича	образуется в значительном количестве	образуется	образуется в значительном количестве	не образуется
Асфальт	не образуется	немного формируется	немного формируется	образуется в значительном количестве
Отходы древесины	немного формируется	образуется	немного формируется	не образуется
Рубероид и битум	немного формируется	образуется	немного формируется	не образуется
Замусоренный грунт	немного формируется	немного формируется	немного формируется	образуется в значительном количестве

Если прочностные характеристики отходов низкие, то возможно образование пылевидных частиц в массиве отходов и дальнейшее загрязнение ими поверхностного слоя грунта под действием атмосферных осадков.

Кроме того, при несвоевременном вывозе и допущении смешивания строительных отходов с бытовыми начинается процесс гниения. В этих случаях отходы нельзя использовать вторично, их необходимо складировать на полигоне [11].

Оценка ущерба земельным ресурсам при обращении с отходами, исходя из цены разработки других территорий, рассчитывается:

$$Y = H_c S_i K_z J_u, \quad (1)$$

где Y – ущерб земельным ресурсам;

H_c – нормативная стоимость земель, (39,25 р/м² для промышленной зоны 3 на территории села Гамово Пермского района в соответствии с постановлением Губернатора Пермской области от 17 июля 1998 года № 266);

S_i – показатель удельной площади объекта захоронения, занятой отходами, га/т;

K_z – коэффициент для объектов, находящихся под особой охраной;

J_u – индекс инфляции (1,0578 для II квартала 2017 года).

Удельная площадь объектов захоронения, занятая отходами, по существующим объектам размещения ТБО в Пермском крае (всего более тысячи объектов) существенно колеблется по муниципальным образованиям и составляет 0,005...20 га/тыс. т при средневзвешенной величине 0,18 га/тыс. т [12].

Таким образом, для Пермского края при удельной площади объектов захоронения 0,18 га/тыс. т. ущерб земельным ресурсам составляет:

$$Y = 39,25 \cdot 0,18 \cdot \frac{10000}{1000} \cdot 1,0578 = 74,73 \text{ Р/Т ТБО.}$$

К вторично перерабатываемым строительным материалам относятся: бумага, железо, асфальт, пластик, стекло, алюминий, различные ткани и другие строительные отходы [13, 14].

Перед вторичным использованием отходы должны пройти несколько стадий. Первой стадией является отдельный сбор или предварительная сортировка образующихся отходов. При этом отходы могут быть разделены по перечисленным выше

видам или по совокупности (например, совместный сбор боя бетона, железобетона и кирпича) в зависимости от состава отходов.

Вторая стадия заключается в удалении различных примесей и металлических элементов, для чего используются различные электромагниты и сепараторы. Крупногабаритные изделия предварительно необходимо разрушить на более мелкие (первичное дробление).

Следующим этапом является дробление строительных отходов (или вторичное дробление) до размеров не более 400 мм, так как стандартные дробилки способны переработать элементы только определенного размера. Для дробления используются различные типы дробильных машин [15].

Результатом переработки бетонных и железобетонных конструкций являются: песок и различные фракции щебня, которые можно использовать для устройства временных подъездных дорог, в качестве заполнителя при изготовлении железобетонных плит и для других целей. Чем прочнее элементы, тем больше возможностей их вторичного использования. Вторичный щебень по своим характеристикам способен конкурировать с природными ресурсами, что позволит снизить себестоимость получаемого из него бетона на 25 % [16, 17].

Все фазы возведения зданий сопровождаются мероприятиями, снижающими загрязнение экологии.

Возведение всех построек стартует с системного исследования территории строительства. В ходе этого исследования осуществляются геодезические, геологические, гидрологические и другие изыскания для предупреждения, уменьшения или уничтожения вредных загрязнений, и сбережения наилучшей обстановки существования людей.

При проведении строительных работ за безвредность строительства для экологии отвечает генподрядчик.

С целью предупреждения загрязнений осуществляют такие защитные операции, как: устройство при выходе со стройплощадки места мытья колес; применение мусоросборников; своевременная ликвидация отходов в крытых грузовиках; применение системы очистки отработанной воды; улучшение свойств оснований; сохранение растительности и пр.

Различают немного первичных методов очищения местности от отходов строительства. В число физико-механических методов входят:

- устранение загрязнителей и перемещение их на специальные свалки;
- промыв, выкачивание, осушение;
- придание грунтам водонепроницаемых свойств.

Операции по защите окружающей среды подразделяются на три класса: уменьшающие воздействие на конкретную среду, снижающие вероятность несчастных случаев и регулирующие регенерацию естественных условий.

В число действий, уменьшающих воздействие на атмосферу, включают ежедневную проверку безотказности оборудования, смачивание путей для предотвращения разноса загрязнителей, применение респираторов персоналом, обслуживание машин в специализированных местах.

К действиям, предназначенным для уменьшения воздействия на грунтовые и водные ресурсы, относятся: укреплением откосов посадкой деревьев и кустарников; восстановление земель; устройство канализации и системы очистки воды.

Природоохранные наблюдения дают характеристику и сценарий положения экологии с помощью экологических рисков. Экологический мониторинг позволяет разработать природоохранные мероприятия непосредственно для условий места строительства, оценить вероятность неблагоприятных событий и возможную сумму ущерба.

Природоохранный вред $U_{\text{экол}}$ необходимо вычислять как совокупность вреда от разных типов опасного влияния на окружающую среду:

$$U_{\text{экол}} = U_a + U_b + U_{\text{п}} + U_б + U_o, \quad (2)$$

где U_a – вред от засорения воздуха;

U_b – вред от засорения воды;

$U_{\text{п}}$ – вред от засорения грунта;

$U_б$ – вред от уничтожения органических веществ;

U_o – вред от захламления местности мусором и отходами, образующимися при демонтаже построек [18].

U_i рассчитывается по уравнению:

$$U = \sum_{i=1}^n W_i C_i, \quad (3)$$

где W_i – количество загрязняющих веществ (отходов производства и потребления), т;
 C_i – ставка платы за 1 тонну загрязняющих веществ по постановлению Правительства РФ от 13.09.2016 № 913, руб/т.

В качестве примера рассчитан экологический ущерб от загрязнения воды, воздуха и утраты плодородного слоя при строительстве объектов на территории Пермского края. При работе строительной техники в атмосферу выбрасываются: оксид углерода 0,03 т, углеводороды 0,005 т, азота оксид 0,1 т, диоксид серы 0,05 т:

$$U_a = 0,03 \cdot 1,6 + 0,005 \cdot 10,8 + 0,1 \cdot 93,5 + 0,05 \cdot 45,4 = 11,7 \text{ руб.}$$

Водные объекты загрязнены ацетоном 0,5 т, бензолом 1 т, бутилметакрилатом 0,05 т, нефтепродуктами 2 т:

$$U_o = 0,5 \cdot 14711,7 + 1 \cdot 1473,8 + 0,05 \cdot 735534,3 + 2 \cdot 14711,7 = 75029,8 \text{ руб.}$$

Ущерб от утраты плодородного слоя:

$$U_s = 90 \cdot 1000 \cdot 560 = 50400000 \text{ руб.}$$

где 90 тыс. т. – величина массы утраченного плодородного слоя;
560 руб/т – рыночная стоимость 1 тонны чернозема по прайс-листам компаний Пермского края.

Суммарный ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, воды и утраты плодородного слоя составляет:

$$U_{\text{экол}} = 11,7 + 75029,8 + 50400000 = 50475041,5 \text{ руб.} \cong 50475 \text{ тыс. руб.}$$

Для снижения экологических рисков рекомендуются такие экологические действия, как обслуживание строительной техники на специализированных площадках; повседневный мониторинг безотказности оборудования; запрет использования взрывного метода при разработке грунтов.

Подводя некий итог, можно уверенно констатировать, что строительство существенно влияет на экологию, причем воздействие может быть не только локальным, но и удаленным и проявляющимся по истечении длительного периода. Величина воздействия на экологию зависит от: характеристик места строительства или производства работ, параметров возводимого сооружения, особенностей выполняемых технологических процессов, используемой техники и оборудования, качества строительных материалов и организации процесса строительства.

Влияние технологических операций на окружающую среду будет несоизмеримо меньше в условиях проведения строительных работ в соответствии с существующим законодательством, использования данных природоохранных исследований, регулярного проведения экологического мониторинга, выполнения природоохранных мероприятий.

Природоохранные мероприятия будут различными в зависимости от конкретного объекта строительства, однако следует выделить наиболее общие.

Для защиты и разумного применения грунта необходимо: выполнение действий исключительно в пределах территории строительства без изъятия дополнительных земель, недопущение засорения мест проведения работ отходами и нефтепродуктами, максимальное сохранение существующей растительности и компенсация уничтоженных озеленений.

Снижение загрязнения атмосферы достигается путем: применения горячего по ГОСТу, устройства пунктов мойки колес, соблюдения оптимальных режимов работы строительной техники, проведения контроля исправности техники, применения тентов при смешивании сыпучих материалов, перевозки строительных материалов и отходов в закрытых кузовах.

Для защиты водной среды необходимо использование исправной техники без подтеков масла и топлива, запрещение движения машин за пределами путей, оснащение стройплощадки мобильными контейнерами для отходов, заправка топливом и ремонт автомобилей только в специально отведенных местах.

Рассматривая непосредственно условия города Перми, необходимо заметить, что на территории центра Пермского края развиты специфические грунты (просадочные, заторфованные, антропогенные и т.д.) и инженерно-геологические процессы (подтопление, заболачивание, переработка берегов, карст и др.).

Выводы

Предусматривая рациональную организацию строительного производства (устройство пунктов мойки колес, обустройство площадок для временного хранения строительного мусора и т.д.) и учитывая природные условия города Перми, предлагаются следующие природоохранные мероприятия:

1. На территориях с агрессивной геологической средой (вся территория города Перми за исключением Индустриального, Ленинского и Мотовилихинского районов) – очистка агрессивных вод с помощью меловой суспензии и промывание загрязненных почв минеральным раствором.

2. Флюатирование (пропитывание грунтов раствором солей кремнефтористоводородной кислоты для получения труднорастворимых в воде соединений) и, при особо крупных порах, аванфлюотирование (предварительное пропитывание грунта раствором хлористого кальция, а после высушивания – раствором соды) на территории Мотовилихинского, Орджоникидзевского и Свердловского районов.

3. На заболоченных территориях (Дзержинский, Кировский, Ленинский и Мотовилихинский районы) необходимо выполнение вертикальной планировки, организации стока поверхностных вод и осушения.

4. Устройство затопляемых и незатопляемых дамб обвалования для защиты территорий Дзержинского и Ленинского районов от затопления.

5. Для предотвращения образования и ограничения развития карстов на территории Дзержинского и Свердловского районов необходима организация стока поверхностных вод, прекращение или ограничение поступления в карстовые полости подземных вод и закрытие карстовых воронок на поверхности.

6. В Мотовилихинском, Орджоникидзевском и Свердловском районах необходимо выполнение противооползневых мероприятий: понижение уровня грунтовых вод, организация стока поверхностных вод, срезка земляных масс на склонах и укладка их у подножия, посадка деревьев и искусственное закрепление склонов.

7. На территории Кировского, Ленинского и Орджоникидзевского районов необходимо проведение берегоукрепительных мероприятий: устройство набережных, каменной наброски, планировка склонов и закрепление их деревьями.

8. На всех территориях перед планировкой и проведением природоохранных мероприятий необходимо предварительное изучение гидрологических, геологических и гидрогеологических свойств грунтов.

С 17 июня администрация города Перми приступила к исполнению природоохранных мероприятий, среди них наиболее значимые: капитальный ремонт Северной дамбы в Мотовилихинском и Свердловском районах, очистка и укрепление берегов реки Мулянки в Индустриальном районе и реки Данилихи в Дзержинском и Ленинском районах, предотвращение оползней в районе жилых домов по ул. КИМ, 5, 7, ул. Ивановской, 19 и ул. Чехова, 2, 4, 6, 8, 10, озеленение территории города стоимостью 10,9 млн. руб. Общая стоимость природоохранных мероприятий в 2017 году, согласно муниципальной программе по охране окружающей среды в Пермском муниципальном районе на 2016-2020 годы, составляет 109,25 млн. руб.

Список библиографических ссылок

1. Полякова Т. В., Сайбель А. В., Халезин С. В. Строительство и экология // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4. С. 204–206.

2. Говердовская Л. Г. Экологические проблемы при строительстве автомобильных дорог : сб. ст. Международной научно-технической конференции «Природоохранные и гидротехнические сооружения. Проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» / СГАСУ. Самара, 16-17 июня 2014. С. 232–235.
3. Najafpoor A. A., Jamali-Behnam F. A Study Identifying Causes of Construction Waste Production and Applying Safety Management on Construction Site // Iranian Journal of Health Sciences. 2014. № 2. P. 49–54.
4. Исаев И. А. Виды негативного воздействия на окружающую среду и мероприятия по охране окружающей среды при строительстве (бурении) нефтегазоконденсатных скважин на севере Тюменской области (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Молодой ученый. 2014. № 10. С. 112–116.
5. Павлова Л. В. Влияние автомобилизации на экологическую ситуацию: сб. ст. Международной научно-технической конференции «Природоохранные и гидротехнические сооружения. Проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» / СГАСУ. Самара, 16-17 июня 2014. С. 436–439.
6. Павлова В. А. Проблемы экологии, связанные со строительством автомобильных дорог и использованием автомобильного транспорта : сб. ст. Международной научно-технической конференции «Природоохранные и гидротехнические сооружения. Проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» / СГАСУ. Самара, 16-17 июня 2014. С. 440–442.
7. Гриванов И. Ю. Оценка воздействия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации лесовозной дороги в Приморском крае. Территория новых возможностей // Вестник ВГУЭС. 2011. № 4. С. 46–58.
8. Кукуй А. Л., Гарибин П. А. Геоэкологические проблемы строительства и технической эксплуатации водно-транспортных гидротехнических сооружений // Вестник ГУМРФ. 2012. № 1. С. 145–149.
9. Al-Hajj A., Hamani K. Material waste in the UAE construction industry: main causes and minimization practices // Architectural engineering and design management. 2011. № 7. P. 221–235.
10. Mahayuddin S. A., Zaharuddin W. A. Quantification of waste in conventional construction // International journal of environmental science and development. 2013. № 3. P. 296–299.
11. Галицкова Ю. М. Уменьшение загрязнения компонентов окружающей среды при выполнении строительных работ : сб. ст. Международной научно-технической конференции «Природоохранные и гидротехнические сооружения. Проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» / СГАСУ. Самара, 16-17 июня 2014. С. 150–153.
12. Ильиных Г. В., Коротаев В. Н., Вайсман Я. И. Алгоритм оценки экологической нагрузки на объекты окружающей среды при обращении с твердыми бытовыми отходами с учетом их состава и свойств // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 131–139.
13. Барышева О. Б., Хабибуллин Ю. Х., Хасанова Г. Р. Утилизация твердых бытовых и строительных отходов // Известия КГАСУ. 2014. № 2. С. 234–236.
14. Tam V. W. Rate of reusable and recyclable waste in construction // The open waste management journal. 2011. № 4. P. 28–32.
15. Thomas J., Wilson P. M. Construction waste management in India // American journal of engineering research. 2013. № 2. P. 6–9.
16. Галицкова Ю. М. Подготовка строительных отходов к вторичному использованию : сб. ст. Международной научно-технической конференции «Природоохранные и гидротехнические сооружения. Проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» / СГАСУ. Самара, 16-17 июня 2014. С. 130–133.
17. Swamy A. K., Das A. Possible use of some waste materials in road construction // The masterbuilder. 2012. № 10. P. 44–48.
18. Бельская Е. Н., Бразговка О. В., Сугак Е. В. Методика расчета экологических рисков // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 84–91.

Semenov D.A. – student

E-mail: s7dmit@yandex.ru

Vahrushev S.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: spstf@pstu.ac.ru

Perm National Research Polytechnical University

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky av., 29

Analysis of the environmental problem in the construction of buildings and structures in the city of Perm

Abstract

Problem statement. The aim of the work was the development of environmental protection measures during construction work in the city of Perm on the basis of the analysis of the impact of construction on the environment.

Results. In the process of studying the ecology and nature management information in Perm city administration for the year 2014 have been identified within the territory of the city of Perm unfavorable engineering and geological processes, as well as the area of their distribution. Investigation of the effect of the construction industry on the environment and the analysis took place in the city of Perm emergencies caused by human activities, has allowed to formulate measures for the environment of the city of Perm and the Perm edge protection.

Conclusions. Revealed the most common environmental actions. There are special environmental protection measures for the territory of the city of Perm, including a preliminary study of hydrological, geological and hydrogeological properties of anthropogenic soil, as well as the consolidation of the soil planting trees, organizing a drainage area, grouting during construction on steep sites and study the little-known spreading suffusion process.

Keywords: construction, construction waste, geological processes, pollution, environmental risks, environmental protection measures.

References

1. Poliakova T. V., Saibel A. V., Khalezin S. V. Construction and ecology // *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. № 4. P. 204–206.
2. Goverdovskaia L. G. Environmental problems in the construction of highways : proceedings of the International scientific-technical conference «Environmental and hydraulic structures. Problems of construction, operation, ecology and training of specialists» / SGASU. Samara, June 16-17, 2014. P. 232–235.
3. Najafpoor A. A., Jamali-Behnam F. A Study Identifying Causes of Construction Waste Production and Applying Safety Management on Construction Site // *Iranian Journal of Health Sciences*. 2014. № 2. P. 49–54.
4. Isaev I. A. Forms of the negative impact on the environment and on environmental measures during construction (drilling) oil and gas wells in the north of the Tyumen region (Yamalo-Nenets Autonomous District) // *Molodoi uchenyi*. 2014. № 10. P. 112–116.
5. Pavlova L.V. The impact on the ecological situation of motorization : proceedings of the International scientific-technical conference «Environmental and hydraulic structures. Problems of construction, operation, ecology and training of specialists» / SGASU. Samara, June 16-17, 2014. P. 436–439.
6. Pavlova V. A. Ecological problems related to the construction of roads and the use of road transport: proceedings of the International scientific-technical conference «Environmental and hydraulic structures. Problems of construction, operation, ecology and training of specialists» / SGASU. Samara, June 16-17, 2014. P. 440–442.
7. Grivanov I. Iu. Assessment of the impact on the environment during the construction and exploitation of forest roads in the Primorsky. Territory of new opportunities // *Vestnik VGUES*. 2011. № 4. P. 46–58.

8. Kukui A. L., Garibin P. A. Geoenvironmental problems of construction and technical operation of water-transport waterworks // Vestnik GUMRF. 2012. № 1. P. 145–149.
9. Al-Hajj A., Hamani K. Material waste in the UAE construction industry: main causes and minimization practices // Architectural engineering and design management. 2011. № 7. P. 221–235.
10. Mahayuddin S. A., Zaharuddin W. A. Quantification of waste in conventional construction // International journal of environmental science and development. 2013. № 3. P. 296–299.
11. Galitskova Iu. M. Reducing the pollution of environmental components during construction works: proceedings of the International scientific-technical conference «Environmental and hydraulic structures. Problems of construction, operation, ecology and training of specialists» / SGASU. Samara, June 16-17, 2014. P. 150–153.
12. Il'inykh G. V., Korotaev V. N., Vaisman Ia. I. Algorithm assessment of environmental stress on the objects of the environment when handling municipal solid waste, taking into account their composition and properties // Vestnik MGSU. 2014. № 2. P. 131–139.
13. Barysheva O. B., Khabibullin Iu. Kh., Khasanova G. R. Disposal of municipal solid waste and construction // Izvestija KGASU. 2014. № 2. P. 234–236.
14. Tam V. W. Rate of reusable and recyclable waste in construction // The open waste management journal. 2011. № 4. P. 28–32.
15. Thomas J., Wilson P. M. Construction waste management in India // American journal of engineering research. 2013. № 2. P. 6–9.
16. Galitskova Iu. M. Preparation of construction waste to recycling: proceedings of the International scientific-technical conference «Environmental and hydraulic structures. Problems of construction, operation, ecology and training of specialists» / SGASU. Samara, June 16-17, 2014. P. 130–133.
17. Swamy A. K., Das A. Possible use of some waste materials in road construction // The masterbuilder. 2012. № 10. P. 44–48.
18. Bel'skaia E. N., Brazgovka O. V., Sugak E. V. Methods of calculating environmental risks // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. 2014. № 6. P. 84–91.



УДК 532.5:621.694:519.6

Горская Т.Ю. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: tatyana_gorskaya@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Галимянов А.Ф. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: anis_59@mail.ru

Казанский (Поволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Аппроксимация дробных интегралов частными суммами ряда Фурье

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящего исследования является разработка и применение приближенного метода для вычисления интегралов, являющихся составной частью моделей, использующих интегралы Римана-Лиувилля, а также создание программного продукта, позволяющего проводить подобные вычисления для заданных функций.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в построении квадратурной формулы для интеграла, при этом рассматривались случаи, когда плотность интеграла есть функция из пространств непрерывных функций, имеющих обобщенные производные с весом, и гильбертовых классов функций с весом. Для предложенной квадратурной формулы далее исследовалась погрешность ее приближения в пространствах непрерывных функций и квадратично-суммируемых с весом функций. В результате исследования установлены эффективные оценки погрешности аппроксимативного аппарата в предложенных классах функций. Кроме того приближенный метод реализован на компьютере в виде программы на языке СИ.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что при решении задач, в том числе задач по нахождению форм конструкций, учитывающих свойства материалов, изменения окружающей среды, модели которых используют интегралы Римана-Лиувилля, можно будет применять приближенный подход, квадратурную формулу, предложенную в статье.

Ключевые слова: интегралы Римана-Лиувилля, ряды Фурье, квадратурные формулы, приближенные вычисления, оценки погрешности.

В последние десятилетия возрос интерес к исследованию дифференциальных уравнений, имеющих дробный порядок, в которых неизвестная функция содержится под знаком производной дробного порядка, а также и к интегральным уравнениям дробного порядка интегрирования. Это обусловлено рядом причин: во-первых, развитием как таковой теории дробного интегрирования и дифференцирования, во-вторых, обширными приложениями применения этого математического аппарата в различных областях науки и производства, особенно, в областях, связанных с нанотехнологиями, задачами диффузии, а также при создании конструкций, учитывающих состояние вещества [1, 2]. Кроме того разными авторами ранее проводились исследования в области приближенных методов дробных интегралов [3-5]. Нами также проводились работы, основанные на известных методологических подходах для решения задач приближения, сначала проекционно-сеточными методами [6, 7], затем по построению квадратурных формул для интегралов [8-10].

Вначале укажем некоторые определения и вспомогательные предложения, которыми будем оперировать при изложении материала.

Напомним, что функция $f(x) \in C_p^{(r)}$ ($r > 0$), $x \in (-\infty; +\infty)$, имеющая производные до r -го порядка с весом $p(x)$: $f_p^{(i)}(x) = p(x) \frac{d}{dx} f_p^{(i-1)}(x)$, $i = \overline{1, r}$, и для нее выполняется условие $-\infty < f_p^{(j)}(\infty) = f_p^{(j)}(-\infty) < \infty$, $j = \overline{0, r-1}$. Здесь и далее вес $p(x) = \frac{1}{1+x^2}$.

Функцию $f(x)$ представим рядом Фурье по системе функций $\{c_k(x), s_k(x)\}$, где $c_k(x) = \cos(2karctgx)$, $s_k(x) = \sin(2karctgx)$:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k c_k(x) + b_k s_k(x),$$

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x)c_k(x) dx}{1+x^2}, k = 0, 1, ..$$

$$b_k = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x)s_k(x) dx}{1+x^2}, k = 1, 2, ..$$

Обозначим через:

$$u_n f = u_n(f, x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k c_k(x) + b_k s_k(x) - \tag{1}$$

частную сумму ряда Фурье по системе функций $\{c_k(x), s_k(x)\}$.

Для функции $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1, x \in (-\infty; +\infty)$ справедливо следующее:

Лемма 1.

Пусть функция $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1, x \in (-\infty; +\infty)$, тогда для нее имеет место представление:

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{dt}{1+t^2} + \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_p^{(r)}(t) K_r(x, t) \frac{dt}{1+t^2},$$

где

$$K_r(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_{kr}(t)c_k(x) + s_{kr}(t)s_k(x),$$

$$c_{kr}(t) = \frac{1}{k^r} \cos\left(2 \arctgt + \frac{r\pi}{2}\right), s_{kr}(t) = \frac{1}{k^r} \sin\left(2 \arctgt + \frac{r\pi}{2}\right).$$

Из свойства ортогональности функций $\{c_k(x), s_k(x)\}$ с весом p на всей числовой прямой следует следующее:

Лемма 2.

Если $f(x) \in C_p^{(r)}, r \geq 1$, то $E_n(f)_C \leq E_n(f_p^{(r)})_C E_n(K_r)_{L_p}$, если $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1$, то $E_n(f)_C \leq M E_n(K_r)_{L_p}$.

Следствие 1.

Если $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A), r \geq 0, 0 < \beta \leq 1$,

то

$$E_n(f)_C \leq \frac{9\pi A}{2(n+1)^{r+\beta}}$$

Следствие 2.

Если $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1$, то $E_n(f)_C \leq \frac{\pi M}{2(n+1)^r}$.

Обозначим через $H = L_{2,p}$ – линейное нормированное пространство квадратично-суммируемых функций с весом p . Напомним, здесь и далее в статье $p(x) = \frac{1}{1+x^2}$. Введем

норму $\|f\|_H = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f^2(t) dt}{1+t^2}}$.

Для суммы (1) справедливы следующие оценки, представленные в виде леммы:

Лемма 3.

Для любых натуральных $n = 1, 2, \dots$ справедливы соотношения:

$$\|u_n\|_{C \rightarrow H} \leq 1, \|u_n\|_{C \rightarrow C} \leq 2 + \ln n.$$

Справедлива также следующая теорема:

Теорема 1.

Если $f(x) \in C(-\infty; +\infty)$, то справедлива оценка погрешности аппроксимации функции частными суммами ряда Фурье (1) в пространстве H :

$$\|f - u_n f\|_H \leq 2 E_n(f)_C.$$

Следствие 1.

Если $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A), r \geq 0, 0 < \beta \leq 1$,

то

$$\|f - u_n f\|_H \leq \frac{9\pi A}{(n+1)^{r+\beta}}$$

Следствие 2.

Если $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1$,

то

$$\|f - u_n f\|_H \leq \frac{\pi M}{(n+1)^r}.$$

Доказательство теоремы 1 следует из известной теоремы Лебега и оценок леммы 3, а следствия 1, 2 теоремы 1 следуют непосредственно из следствий 1, 2 леммы 3, соответственно.

Также справедлива следующая теорема:

Теорема 2.

Если $f(x) \in C(-\infty; +\infty)$, то справедлива оценка погрешности аппроксимации функции частными суммами ряда Фурье (1) в пространстве непрерывных функций:

$$\|f - u_n f\|_C \leq (3 + \ln n) E_n(f)_C.$$

Следствие 1.

Если $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A), r \geq 0, 0 < \beta \leq 1$,

то

$$\|f - u_n f\|_H \leq \frac{9\pi(3 + \ln n)A}{2(n+1)^{r+\beta}}.$$

Следствие 2.

Если $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1$,

то

$$\|f - u_n f\|_H \leq \frac{\pi M}{2(n+1)^r} (3 + \ln n).$$

Утверждения теоремы 2, а равно следствия 1, 2 следуют непосредственно из леммы 3 и ее следствий.

Результаты

Рассмотрим интеграл Римана-Лиувилля на бесконечном промежутке:

$$(I_+^\alpha f)(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^x \frac{f(t) dt}{(x-t)^{1-\alpha}}, -\infty < x < \infty. \quad (2)$$

Здесь функция $f(x)$, заданная на числовой оси $(-\infty; +\infty)$.

Аппроксимируя плотность интеграла (2) частной суммой ряда Фурье (1), приходим к следующей приближенной формуле:

$$I_+^\alpha(u_n f; x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^x \frac{\left(\frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k c_k(x) + b_k s_k(x)\right) dt}{(x-t)^{1-\alpha}} = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k c_{k\alpha}(x) + b_k s_{k\alpha}(x), \quad (3)$$

где

$$c_{n\alpha}(x) = \frac{1}{(2n)^\alpha} \cos\left(2n \arctg x + \frac{\alpha\pi}{2}\right), s_{n\alpha}(x) = \frac{1}{(2n)^\alpha} \sin\left(2n \arctg x + \frac{\alpha\pi}{2}\right), \quad (4)$$

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x) c_k(x) dx}{1+x^2}, k = 0, 1, \dots, b_k = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x) s_k(x) dx}{1+x^2}, k = 1, 2, \dots$$

Для формулы (3)-(4) имеет место следующее:

Лемма 4.

Если $f(x) \in C(-\infty; +\infty)$, то справедливо соотношение:

$$\|I_+^\alpha(f - u_n f)\|_H^2 \leq \frac{1}{(2n)^{2\alpha}} \|f - u_n f\|_H^2.$$

Скорость сходимости приближенного процесса (3) по метрике пространства H характеризует:

Теорема 3. Если $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A), (r \geq 0, 0 < \beta \leq 1)$, то справедлива оценка:

$$\|I_+^\alpha(f - u_n f)\|_H = O\left(\frac{1}{(n+1)^{\beta+r} n^\alpha}\right).$$

Если $f(x) \in W_p^{(r)}, r \geq 1$, то

$$\|I_+^\alpha(f - u_n f)\|_H = O\left(\frac{1}{(n+1)^r n^\alpha}\right).$$

Утверждения теоремы следуют непосредственно из леммы 4 и следствий 1 и 2 теоремы 1 соответственно.

Далее рассмотрим оценки погрешности приближенной формулы (3) в равномерной метрике, для доказательства которых воспользуемся утверждением следующей леммы.

Лемма 5. Для любых натуральных $n = 1, 2, \dots$ справедливо соотношение:

$$\|I_+^\alpha u_n\|_{C \rightarrow C} \leq \frac{4}{2^\alpha} (1 + \ln n).$$

Теорема 4. Если $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A)$, ($r \geq 0, 0 < \beta \leq 1$), то справедлива оценка:

$$\|I_+^\alpha (f - u_n f)\|_C \leq \frac{18\pi A}{2^\alpha (n+1)^{\beta+r}} \left\{ 1 + \ln n \frac{2}{1-2^{-r-\beta}} + \frac{1+2^{-r-\beta}}{(1-2^{-r-\beta})^2} \ln 2 \right\}.$$

Если $f(x) \in W_p^{(r)}$, $r \geq 1$, то:

$$\|I_+^\alpha (f - u_n f)\|_C \leq \frac{2\pi M}{2^\alpha (n+1)^r} \left\{ 1 + \ln n \frac{2}{1-2^{-r}} + \frac{1+2^{-r}}{(1-2^{-r})^2} \ln 2 \right\}.$$

Оценивая остаточный член формулы (3) и последовательно применяя следствие 1, 2 леммы 2 и результаты леммы 5, получаем утверждение теоремы.

Выводы

В работе предложена квадратурная формула (3) с коэффициентами (4) для интеграла Римана-Лиувилля на бесконечном промежутке (2). Установлены скорости сходимости аппроксимационного аппарата (3) в метриках пространств непрерывных функций и квадратично суммируемых с весом функций (соответственно теоремы 4 и 3). Кроме того, данные оценки получены для приближения интеграла (2) в случаях плотностей $f(x) \in H_{\beta,p}^{(r)}(A)$, ($r \geq 0, 0 < \beta \leq 1$) и $f(x) \in W_p^{(r)}$, $r \geq 1$. Считаем, что данные исследования будут интересны в качестве теоретического обоснования применения квадратурных формул для интегралов Римана-Лиувилля на бесконечном промежутке. Кроме того, авторами разработана программа, реализующая приближенный метод на языке программирования СИ.

Список библиографических ссылок

1. Нахушев А. М. Элементы дробного исчисления и их приложения. Нальчик : НИИ ПМА КБНЦ РАН. 2009.
2. Салимов Р. Б. Асимптотическое представление сингулярного интеграла с ядром Гильберта вблизи точки слабой непрерывности плотности // Известия вузов. Математика. № 7. 2015, С. 58–62.
3. Marinov T. M., Ramirez N., Santamaria F. Fractional integration toolbox // Fractional Calculus and Applied Analysis, 2013. V. 16, № 3. P. 670–681.
4. Barton T. A., Purnaras I. K. L_p -solutions of singular integro-differential equations // J. Math. Anal. Appl., 2012, № 386. P. 830–841.
5. Saeed R. K., Ahmed C. Approximate solution for the system of non-linear Volterra integral equations of the second kind by using block-by-block method // Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2008. V. 2, № 1. P. 114–124.
6. Марчук Г. И., Агошков В. И. Введение в проекционно-сеточные методы. М. : Наука, 1981. 416 с.
7. Горская Т. Ю., Ожегова А. В. О сходимости проекционного метода для уравнения задачи движения // Известия КГАСУ, 2013, № 2 (24). С. 112–126.
8. Галимянов А. Ф., Сайфуллина Д. Э. Квадратурный метод решения интегрального уравнения смешанного типа // Известия Вузов. Математика, 2009, № 12. С. 22–27.
9. Галимянов А. Ф., Горская Т. Ю. Обобщенный метод Бубнова-Галеркина для уравнений с дробно-интегральным оператором // Известия КГАСУ, 2013, № 2 (24). С. 112–126.
10. Горская Т. Ю., Галимянов А. Ф., Воронцова В. Л. Квадратурная формула для гиперсингулярного интеграла с логарифмически ослабленным ядром : Тезисы докладов 69 международной научной конференции по проблемам архитектуры и строительства / КГАСУ, Казань. 2017. С. 373.

Gorskaya T.Yu. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: tatyana_gorskaya@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Galimyanov A.F. – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor

E-mail: anis_59@mail.ru

Kazan Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

Approximation of fractional integrals by private sums of the Fourier series

Abstract

Problem statement. The purpose of this study is the development and application of approximate methods for calculating integrals, which is the part of the models used by the integrals of Riemann-Liouville and the creation of a software product, allowing to carry out similar calculations for the given functions.

Results. Main results of the research consist in the construction of quadrature formulas for the integral, there were cases when the density of the integral is a function from space of continuous functions having generalized derivatives with the weight, and Hölder classes of functions with weight. For the proposed quadrature formulas next, we investigated the error of its approximation in spaces of continuous functions and square-summable with weight functions. The study has efficient error estimates approximation of the apparatus in the proposed classes of functions. In addition an approximate method implemented on a computer in the form of a program in the C language.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is that when solving the tasks, including the task of finding shapes of structures, considering material properties, environmental changes, models which use integrals of Riemann-Liouville, you can apply the approximate approach, the quadrature formula proposed in the article.

Keywords: Riemann-Liouville integrals, Fourier series, quadrature formulas, approximate calculations, error estimates.

References

1. Nakhushiev A. M. Elements of fractional calculus and their applications. Nalchik : NII PMA KBSC RAS. 2009.
2. Salimov R. B. Asymptotic representation of the singular integral with the Hilbert kernel near a point of weak continuity of the density of // *Izvestiya vuzov. Math.* № 7. 2015. P. 58–62.
3. Marinov T. M., Ramirez N., Santamaria F. Fractional integration toolbox // *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 2013. V. 16, № 3. P. 670–681.
4. Barton T. A., Purnaras I. K. Lp-solutions of singular integro-differential equations // *J. Math. Anal. Appl.*, 2012, № 386. P. 830–841.
5. Saeed R. K., Ahmed C. Approximate solution for the system of non-linear Volterra integral equations of the second kind by using block-by-block method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2008. V. 2, № 1. P. 114–124.
6. Marchuk G. I., Agoshkov V. I. Introduction to projection-grid methods. M. : Nauka, 1981. 416 p.
7. Gorskaya T. Yu., Ozhegova A. V. On the convergence of the projection method for the equation of the motion problem // *Izvestiya KGASU*, 2013, № 2 (24). P. 112–126.
8. Galimyanov A. F., Sayfullin D. E. Quadrature method for solving an integral equation of mixed type // *Izvestiya Vuzov. Matematika*, 2009, № 12. P. 22–27.
9. Galimyanov A. F., Gorskaya T. Yu. A generalized Bubnov-Galerkin method for equations with a fractional-integral operator // *Izvestiya KGASU*, 2013, № 2 (24). P. 112–126.
10. Gorskaya T. Yu., Galimyanov A. F., Vorontsov V. L. Quadrature formula for a hypersingular integral with a logarithmically weakened core : Theses of reports of the 69th International scientific conference on architecture and construction / KGASU, Kazan. 2017. P. 373.

УДК 004.942

Гришина Н.М. – технический директор направления информационного моделирования строительных объектов

E-mail: NGrishina@croc.ru,

Мицко Д.И. – ведущий консультант

E-mail: DMitsko@croc.ru

ЗАО «КРОК инкорпорейтед»

Адрес организации: 111033, Россия, г. Москва, ул. Волочаевская, д. 5, корп. 1

Разработка и внедрение BIM-стандарта: исследование методов управления в строительстве¹

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – анализ методов управления ресурсами фирмы в процессе внедрения технологии информационного моделирования на основе разработки и внедрения BIM-стандарта на предприятии строительной отрасли.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в рассмотрении мирового и российского подходов составления BIM-стандарта строительной фирмы. В исследовании обобщены цели, предназначение, шаги от разработки до внедрения BIM-стандарта. Авторами предложены новые методики внедрения технологии информационного моделирования в инвестиционно-строительном комплексе на основе системного подхода решения BIM-задач с помощью BIM-стандарта.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что предложенные методики внедрения BIM-технологии могут быть реализованы в практике строительных организаций различного профиля, планирующих применять технологию информационного моделирования на основе концепции плана реализации BIM-проекта с учетом требований заказчика.

Ключевые слова: технология информационного моделирования (BIM), BIM-технология, BIM-стандарт, BIM-команда, BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-мастер, BIM-дизайнер, BIM-задачи (Uses), BIM-контент, информационная 3D-модель, план реализации BIM-проекта (BEP), информационные требования заказчика (EIR), уровень детализации (LOD).

Введение

В современной проектной фирме годами складывались бизнес-процессы создания и разработки проектной и рабочей документации для инвестиционно-строительного проекта. Переход от кульмана к компьютерному черчению специалисты строительной отрасли пережили в конце прошлого века. Процесс внедрения новой технологии сопровождался появлением энтузиастов, разрабатывающих процедуры работы в фирме, типовые шаблоны чертежей. В проектных фирмах появились первые системы автоматического проектирования (САПР), администраторы (CAD-администраторы) и первые версии внутренних регламентов работы с САПР по созданию с помощью программного обеспечения двумерных чертежей (2D). Использование в строительной отрасли новой технологии информационного моделирования (англ. Building Information Modelling, сокр. BIM) для создания трехмерных параметрических объектов (3D и BIM-модели) началось в первом десятилетии XXI века. Переход к BIM-технологии в различных странах мира стал долгим и болезненным, он сравним с появлением высокоскоростных магистралей в железнодорожной индустрии: участники те же, но рельсы, по которым идёт состав, и сам состав совсем другие. BIM-технология представляет собой согласованные процессы, позволяющие создать организованную и управляемую информацию об объекте в виде трёхмерной информационной модели, где каждый элемент модели имеет множество

¹Исследование подготовлено при поддержке Международного инженерингового центра КГАСУ «BIM и SMART технологии в архитектуре, строительстве и ЖКХ» в рамках 69-ой Международной конференции по проблемам архитектуры и строительства КГАСУ (апрель, 2017).

различных технических свойств, при изменении которых информация об этом отображается на всех связанных частях проекта, неважно, это объекты капитального строительства или линейно-протяжённые объекты. Данный набор информации должен быть использован на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства².

Существующие российские нормы и стандарты новых технологических процессов в строительстве для BIM-технологии не описывают, они находятся в стадии разработки. Профессиональное сообщество экспертов строительной отрасли создает регламентирующие документы, необходимые, для координации работы строительных фирм, которые используют новую технологию в практике строительства объектов и сооружений различного назначения.

Цель исследования – анализ методов эффективного управления ресурсами строительной фирмы в процессе внедрения технологии информационного моделирования на основе разработки и внедрения BIM-стандарта на предприятии строительной отрасли. Важным научным и практическим направлением развития отрасли является подготовка кадров, владеющих новой технологией³. Современные архитектурно-строительные ВУЗы оказываются в числе первых заинтересованных лиц по вопросу разработки новых нормативных документов и стандартов [1-3]. Для того, чтобы своевременно использовать накопленные теоретические знания и успешный практический опыт для обучения студентов и совершенствования учебного процесса с использованием BIM-стандартов необходим анализ успешных примеров в мировой практике внедрения национальных стандартов в строительной отрасли и в высшем архитектурно-строительном образовании.

BIM-стандарт предприятия: цели и предназначение

Авторами за период 2014-2017 гг. проведено исследование применяемых BIM-стандартов российскими строительными фирмами в процессе внедрения технологии информационного моделирования в управление инвестиционно-строительными проектами, которое позволяет обобщить лучшую российскую практику и сделать следующие выводы.

BIM-стандарт фирмы представляет собой стандартизованные процессы, согласованные стандарты и методы работы (свод правил) для всех участников процесса информационного моделирования.

Целью создания BIM-стандарта является организация и обеспечение эффективной и качественной совместной работы по созданию информационной модели объекта строительства, обеспеченной интероперабельностью цифровых данных.

Для достижения цели необходимо учитывать следующие три критерия качественного управления информацией об объекте строительства в процессе подготовки и использования технологии информационного моделирования:

- 1) структурированность информации;
- 2) систематизация информации;
- 3) классификация информации.

Главным преимуществом предложенного подхода является возможность многократного, повторного использования информации всеми участниками разработки и реализации инвестиционно-строительного проекта без изменений и искажений данных об объекте строительства.

Разработка BIM-стандарта

При разработке и внедрении BIM-стандарта строительной фирмы заказчик должен понимать и сформулировать перечень требуемых к решению задач и методов управления информационной моделью объекта.

До начала разработки стандарта заказчику необходимо ответить на следующие вопросы: в каком виде и какого содержания должна выдаваться информация об объекте в

²Почему Минстрой предпочел BIM-технологии. // RCMM.RU : сетевое издание «Строительство.RU». 2017. URL: <http://rcmm.ru/tehnika-i-tehnologii/22401-pochemu-minstroy-predpochel-bim-tehnologii.html> (дата обращения: 16.03.2017).

³Талапов В. Технология BIM: подготовка новых кадров // ISICAD.RU : портал «Ваше окно в мир САР». URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16712 (дата обращения: 23.01.2017).

результате реализации проекта внедрения технологии информационного моделирования (структурированность информации). Прежние технологии требовали от специалиста знаний о требованиях к графическому оформлению проектной документации, к твердым копиям проекта и о месте размещения электронного файла в заданном формате (табл.).

Таблица

Обзор основных разделов BIM-стандартов (анализ международного опыта)

№ строки	Описание стандартов	
1	ISO/TS 12911:2012 Framework for building information modelling (BIM) guidance	Основные положения руководства по моделированию информации по строительству (BIM)
2	Building Information Management. A Standard Framework and Guide to BS 1192, Mervyn Richards, 2010	Информационное управление объектов строительства. Стандартный свод положений и руководство к стандарту BS 1192
3	BS 1192:2007 Collaborative production of architectural, engineering and construction information. Code of practice	Совместное производство архитектурной, инженерной и конструкторской информации-нормы и правила
4	PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling	Проект стандарта для управления информацией на фазе капитального строительства с использованием информационного моделирования
5	Common InfraBIM requirements YIV2015 Vol. 1-3, Vol. 5.2	Общие требования BIM к инфраструктурным объектам
6	Handbook № 138. The principles of modeling. Guide. Directorate of public roads 2012	Справочник № 138. Принципы моделирования. Руководство по управлению за автомобильными дорогами
7	AEC (UK) BIM Technology Protocol, Version 2.1 June 2015 (Протокол BIM-технологии)	Практическое внедрение BIM для архитектурно-строительной отрасли Великобритании
8	AEC (UK) BIM Protocol Project BIM Execution Plan, Version 2.0 September 2012	BIM протокол. BIM и исполнительный план проекта
9	Employer's Information requirements. Core Content and Guidance Notes, Version 07 28.02.13, BIM Task Group	Информационные требования работодателя. Основное Содержание и Замечания к руководству, Версия 07 28.02.13, BIM Task Group
10	AIA Contract Document G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form	Документация по контракту AIA G202-2013 Форма протокола: Технология информационного моделирования
11	Level of Development Specification 2016, BIMForum	Уровень спецификации развития, 2016, BIMForum
12	Building Component Catalogue with Level of Development Specification (LOD), Version 2.0 / June 2015, MT Højgaard	Каталог компонентов здания с Уровнем детализации элементов информационной модели (LOD), версия 2.0 / июнь 2015, Højgaard
13	Dutch Revit Standard, Ver.2.1, 30-01-2015	Немецкий Стандарт Ревит, Ver.2.1 2.1, 30-01-2015
14	Singapore BIM Guide, Version 2	Сингапурское руководство по технологии информационного моделирования, версия 2
15	THE PORT AUTHORITY OF NY&NJ, Engineering Department, E/A Design Division BIM Standard, JUNE 2014	Регламент NY&NJ, Технический Отдел, Стандарт по технологии информационного моделирования Подразделение проектирования E/A, июнь 2014
16	MT Højgaard CAD-BIM Manual, Date: 08 Oktober 2013	Højgaard CAD-BIM Руководство, Дата: 08.10.2013

Источник: национальные стандарты и регламенты рынка BIM-технологии по данным открытых источников.

В настоящее время, при применении BIM-технологии, специалист обязан знать: как совместно делать проект, каким набором элементов, какой использовать набор свойств и параметров, как ими пользоваться внутри своего информационного пространства САПР (систематизация информации). Кроме того, для успешной совместной командной работы над проектом специалист должен соблюдать правила наименования и хранения файлов проекта, установленные в фирме (классификация информации).

Исследование показало, что BIM-технология изменяет внутренние и внешние рабочие бизнес-процессы фирмы в целом. BIM-стандарт призван регламентировать новые процессы управления (реинжиниринга) в строительной фирме, использовать наиболее эффективные решения для комплексных инвестиционно-строительных проектов в рамках совместной работы BIM-команды фирмы и заказчика.

Структура BIM-стандарта строительной фирмы

Проведенный анализ мировой практики разработки и применения BIM-стандартов [4-9], показал, что обширный объем новой области знаний технологии информационного моделирования необходимо структурировать в виде отдельных разделов стандартов, которые удобны в использовании специалистами одного профиля (табл.).

Успешная практика фирм-лидеров в строительной отрасли позволила различным странам на государственном уровне перейти к созданию национальных BIM-стандартов в строительной отрасли и, в последующем, разработать образовательные программы для подготовки квалифицированных специалистов, знающих новую технологию информационного моделирования, что позволит эффективно управлять ограниченными ресурсами для социального и экономического развития в обществе [10-14].

При разработке структуры BIM-стандарта для строительной фирмы по нашему мнению следует использовать системный подход в описании бизнес-процессов строительной фирмы и придерживаться основных разделов BIM-стандарта (табл.).

1. Область применения

BIM-стандарт (далее – «стандарт») как любой регламентирующий документ должен содержать область применения. В данном разделе предлагается общее описание данного документа и его практическое применение в форме задач, которые стандарт призван решить (BIM-задачи, англ. BIM-Uses). В их числе создание информационной модели объекта строительства; разработка, согласование, утверждение и выпуск высококачественной проектной и рабочей документации на основе информационных моделей объекта строительства; междисциплинарная координация пространственных решений и выявление коллизий на основе сводных моделей и др.

2. Нормативные ссылки

Нормативные ссылки должны быть неотъемлемой частью стандарта, поскольку информация интересна не только руководству проектного предприятия, но и заказчика.

3. Термины и определения

В стандарте необходимо привести все используемые в стандарте термины и определения, соответствующие процессу информационного моделирования, созданию проектной документации, используемым программным продуктам и т.д.

4. Подготовка и организация процесса информационного моделирования

Данный раздел состоит из описания базовых документов и условий, необходимых для начала работы по информационному моделированию объекта строительства.

4.1. Информационные требования заказчика (EIR)

Данный документ включают в техническое задание на проектирование с целью формирования требований к информации, представляемой заказчику в процессе реализации BIM-проекта и по его завершении. Исполнитель всегда должен иметь у себя в наличии пример такого документа, как информационные требования заказчика. Поскольку, как и в разработке технического задания, так и в разработке информационных

требований важно обоюдное участие заинтересованных сторон, для достижения взаимного консенсуса.

Информационные требования заказчика составляют основу разработки плана реализации BIM-проекта (табл., строки № 3-9).

4.2. План реализации BIM -проекта

План реализации BIM-проекта (ВЕР) – это главный документ проекта. Задача плана реализации BIM-проекта – планирование и организация эффективной совместной работы всех участников проектной группы на всех этапах BIM-проекта.

ВЕР является динамичным и периодически изменяющимся документом.

ВЕР должен разрабатываться с привлечением всех участников процесса информационного моделирования (внутренних и внешних). Между участниками проекта должен быть достигнут консенсус о том, как будет создана, организована и как будет контролироваться информационная модель, который должен быть документирован в ВЕР (табл., строки № 3-9).

4.3. Роли и обязанности

В процессе информационного моделирования выделяют 3 основные функции:

- стратегическая,
- управленческая,
- производственная.

Стратегическая функция возлагается на BIM-менеджера. Данная роль определённо не заменяет роли САД-менеджера и не повторяет его функции. Она предполагает комплексный подход к формированию, устройству и поддержанию работоспособной BIM-среды организации.

Управленческая функция возлагается на BIM-координатора. Данная роль напрямую привязана к решению задачи проекта.

Производственная функция возлагается на BIM-мастера и BIM-дизайнера. Роль BIM-мастера сфокусирована на решении задач конкретного проекта. Специалисты данного уровня должны обладать навыками создания данных информационной модели и проектной документации.

4.4. Ресурсы строительной фирмы

Для организации процесса информационного моделирования необходимо наличие подготовленной IT-инфраструктуры, состоящей из следующих ресурсов:

- программного обеспечения;
- аппаратного обеспечения;
- сетевых ресурсов;
- библиотеки BIM-контента.

BIM-контент – это сформированная база библиотечных элементов, шаблонов и настроек. Он может быть в форме согласованной и стандартизированной библиотеки изделий, специфических данных от производителя или сделанный на заказ проектный контент. При необходимости в организации выделяют отдельные ресурсы на создание и/или сортировку подходящих библиотек (BIM-дизайнеров).

Возможно создание дополнительного регламента, описывающего набор используемого САПР для конкретной рабочей станции в зависимости от специализации сотрудника.

4.5. Среда общих данных

Основная составляющая среды коллективной работы – это способность проектной группы эффективно взаимодействовать, многократно использовать проверенные, согласованные и актуальные данные, а также обмениваться ими без потерь.

Стандарт определяет процесс коллективной работы над BIM-проектом в соответствии с британским стандартом BS1192:2007 на основе процедуры, именуемой «Средой общих данных» (англ. – Common Data Environment, сокр. CDE) (табл., строка 3).

Среда общих данных является единым источником достоверной и согласованной информации для всех участников проекта и обеспечивает единую для совместной работы среду, позволяющую осуществлять контроль проектной информации и ее совместное использование всеми участниками многодисциплинарной проектной группы.

Существует 4 стадии создания среды общих данных (CDE).

Стадия 1 – Рабочие данные проектной группы. Категория информации – непроверенная, для внутреннего использования.

Стадия 2 – Общие данные проектной группы. Данные, работа над которыми завершена и их «корректность» для последующего распространения подтверждена. Категория информации – проверенная, для совместного использования.

Стадия 3 – Публикация. Процессы вывода, проверки и выпуска документации и все сопутствующие процедуры её контроля и утверждения.

Стадия 4 – Архивирование. Процессы передачи документации и BIM-данных в архив, организация архивных папок и наименования файлов.

4.6. Основные правила обмена BIM-данными

В данном разделе описываются необходимые условия, для корректного обмена информацией. В их числе форматы и версионность файлов; элементы должны соответствовать утверждённой системе классификации (кодирования) организации или же принятому плану реализации BIM-проекта ВЕР; файлы должны иметь подтверждение своей актуальности; файлы должны быть «чистыми» – не содержать «информационный мусор»; должны быть проверены все связи; необходимы утверждённые процедуры оповещения участников проекта.

4.7. Сохранность и безопасность данных

В этом разделе должны быть описаны процедуры необходимых действий для сохранения данных и безопасности их использования (места хранения, ролевой доступ, регулярность сохранения, напоминания и т.д.).

4.8. Структура папок и правила именования файлов проекта

Для каждого предприятия, в зависимости от его специализации, необходимо проработать структуру организации и хранения информации о предприятии в целом и проекте в частности. Структура папок должна соответствовать внутренним требованиям к хранению и обмену информацией и сопрягаться с используемым программным обеспечением. Наименования папок и файлов должны быть строго регламентированы и не иметь альтернативы для изменения, поскольку организация рабочего пространства организации является одним из первостепенных условий успешного применения BIM-технологии.

4.9. Правила именования файлов модели

С появлением информационной модели появилась необходимость её правильной организации. В зависимости от выпускаемой документации необходимо определиться с декомпозицией информационной модели проекта. По каким правилам будет разбиваться файл модели и на сколько частей. В зависимости от полученной иерархии необходимо применить правильные наименования составляющих файлов модели, с указанием последовательности кодировки и списком неиспользуемых знаков.

4.10. Форматы обмена данными и интероперабельность

BIM-модель должна представлять собой идеальную платформу совместного использования данных об объекте строительства. Для организации эффективного взаимодействия программных приложений, их функциональной совместимости необходимо описать общие правила обмена данными и указать список разрешённых форматов файлов для обмена.

Под общими правилами понимается разработка процедур обмена данными (форматы, протоколы (правила), версионность файлов, правила импорта / экспорта данных между САПР, очистка файлов от «информационного мусора» и т.д.).

5. Подготовка и настройка программных комплексов BIM-технологии

Данный раздел разрабатывается для описания общих начальных настроек САПР, участвующих в реализации BIM-проекта.

6. Процесс информационного моделирования

В данном разделе описаны составляющие процесса информационного моделирования. Данная методология создана для эффективного и повторного использования информации.

6.1. Принципы разделения модели

Цель разделения – обеспечить основу для многопользовательского доступа к модели и осуществления эффективной коллективной работы.

6.2. Использование внешних ссылок

Использование внешних ссылок позволяет воспользоваться в проекте дополнительной геометрией и данными. Некоторые модели нуждаются в разбиении одного объекта на несколько более управляемых частей, которые затем снова собираются в единый файл, сводную модель.

Классификация по разделам – каждая отдельная дисциплина, участвующая в проекте, должна иметь свою собственную модель, за которую она несет ответственность. Модель одной дисциплины может ссылаться на модель другой дисциплины в целях координации.

6.3. Разработка компонентов модели с учетом требований LOD

При создании и использовании компонентов в проекте необходимо придерживаться принципов конкретного расположения всех библиотечных компонентов, правил создания новых компонентов, определения назначения и будущего использования компонентов и др.

6.4. Использование 2D-элементов для детализации 3D-моделей

В процессе информационного моделирования допускается использование плоских чертежей для дополнения BIM-модели необходимой информацией, однако их использование должно быть сведено к минимуму.

6.5. Уровни детализации. Методики разработки модели

Уровень детализации элементов информационной модели (LOD) задает минимальный объем геометрической, пространственной, количественной, а также любой атрибутивной информации, необходимой и достаточной для решения задач моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта строительства.

Система уровней детализации включает пять базовых уровней – LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500, которые характеризует процесс разработки элемента от концептуального до фактического состояния (табл., строки 9-16).

Рассмотрим LOD и стадийность проектирования:

- LOD 100 – на предпроектном этапе для подготовки архитектурной концепции могут использоваться элементы низкого уровня проработки;
- LOD 200 – на этапе подготовки проектной документации элементы должны достигать следующего уровня проработки;
- LOD 300 и LOD 400 – на более поздних этапах проектирования (рабочая документация) могут использоваться элементы более высокого уровня проработки;
- LOD 500 соответствует фактическому состоянию объекта. Данный этап прорабатывается после введения объекта в эксплуатацию.

6.6. Работа с чертежами формата DWG

При работе с 2D-информацией (например, с DWG-чертежами из AutoCAD) необходимо описать рекомендации по их применению.

6.7. Подготовка и выпуск проектной документации

Подготовку и выпуск проектной следует выполнять, используя только инструментарий платформы BIM, когда проектная документация полностью завязана с 3D-моделью и сгенерирована путём создания и оформления видов. Комбинированный подход, основанный на доработке САД-инструментами внешнего вида проектной документации, крайне не рекомендуется к использованию.

7. Принципы работы в программных комплексах BIM-технологии

Данный раздел разрабатывается для описания и разъяснения конкретных действий по созданию информационной модели. Для каждой из САПР, участвующих в реализации BIM-проекта, прописываются инструкции по работе над конкретными задачами (создание базового файла, разработка железобетонного фундамента, разработка генерального плана и т.д.).

8. Процесс валидации

Валидация – это процесс проверки результатов моделирования на соответствие требованиям. В процессе проверки устанавливается, соответствует ли модель информационным требованиям заказчика, требованиям стандарта организации, насколько точно, оптимально и полно она разработана, можно ли без проблем идентифицировать и извлекать информацию из элементов BIM-модели, отсутствуют ли в модели коллизии, устанавливаются правила проведения координационных совещаний (табл., строки 3-9).

Внедрение BIM-стандарта строительной фирмы

Процесс внедрения BIM-стандарта технологии информационного моделирования в организационную структуру строительной фирмы, как правило, сопровождается тремя этапами.

Этап 1. Проведение первоначального аудита проектной организации

На этапе 1 предполагается анализ существующей схемы управления, внутренних стандартов и регламентов, используемых на текущий момент, существующих средств автоматизации для разработки проектной документации и трёхмерных информационных моделей.

По итогам исполнения этапа 1 разрабатываются предложения по оптимизации существующих процессов и формируется отчёт с рекомендациями по внедрению BIM-стандарта и графиками внедрения на этапах 2 и 3.

Этап 2. Пилотный проект

На этапе 2 предполагается формирование пилотного BIM-стандарта, выбор пилотного проекта, подготовка обучающего курса информационного моделирования (BIM), формирование и обучение пилотной команды, выполнение пилотного проекта на основе BIM в сопровождении экспертов исполнителя.

По итогам исполнения этапа 2 проектная организация получает в своё распоряжение обучающий курс на основе информационного моделирования (BIM-технологии), включающий презентационные материалы, BIM-стандарт организации, план масштабированного внедрения BIM-технологии, первичное наполнение библиотеки стандартов, регламентов, шаблонов, элементов модели.

Этап 3. Полномасштабное внедрение

На этапе 3 предполагается корректировка и утверждение BIM-стандарта, определение дополнительных задач по созданию и расширению новых шаблонов и библиотек, обучение всех сотрудников проектной организации.

Конечным результатом этапа 3 будет адаптированный BIM-стандарт, позволяющий осуществлять полноценную эксплуатацию BIM-технологии в масштабах организации и обучение команды специалистов фирмы для разработки инвестиционно-строительных проектов в соответствии с технологией информационного моделирования.

Заключение

Технология информационного моделирования в управлении строительством позволяет объединить объекты различного назначения в единую информационную модель. BIM-стандарт фирмы является основополагающим документом реализации BIM-технологии, содержит несколько связанных между собой внутренних документов и приложений, разработанных и утвержденных к обязательному исполнению в фирме. BIM-стандарт фирмы постоянно изменяется и совершенствуется вместе с технологическими, организационными и управленческими инновациями в фирме и отражает изменение всех бизнес-процессов, подстраивается под каждый конкретный проект, при этом, не меняя основополагающих условий эффективной работы команды специалистов в фирме. BIM-стандарт представляет собой фундамент технологии информационного моделирования. В связи с этим подготовка специалистов в архитектурно-строительных ВУЗах должна быть ориентирована на разработку базового курса обучения BIM-технологии, при этом с особенной тщательностью необходимо обучать студентов культуре командной работе, разработке и внедрению BIM-стандарта.

Предложенная авторами новая методика внедрения технологии информационного моделирования в инвестиционно-строительном комплексе на основе системного подхода решения BIM-задач с помощью BIM-стандарта может быть использована в практике строительных организаций различного профиля, планирующих применять технологию информационного моделирования на основе концепции плана реализации BIM-проекта с учетом требований заказчика.

Список библиографических ссылок

1. Ануфриев Д. П., Петрова И. Ю., Шикунская О. М. Внедрение инструментов BIM в образовательный процесс строительного ВУЗа // Перспективы развития строительного комплекса. 2015. № S1. С. 54–62.
2. Лежнина Ю. А., Хоменко Т. В. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном ВУЗе // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 2 (12). С. 78–82.
3. Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F., Berezhnov G. V., Lezhnina Y. A. Modified Algorithm of Information Retrieval Based on Graph Model and Latent Semantic Analysis // World Applied Sciences Journal. (2013). Vol. 24. № 24. P. 250–255.
4. Талапов В. В. Внедрение BIM в Сингапуре: впечатляющий опыт // САПР и графика. 2016. № 1 (231). С. 60–63.
5. Талапов В. В. Финляндия – еще один мировой BIM-лидер // САПР и графика. 2016. № 2 (232). С. 18–23.
6. Талапов В. В. Развитие BIM в странах Бенилюкса // САПР и графика. 2016. № 4 (234). С. 64–65.
7. Талапов В. В. Использование BIM в Дании, Норвегии и Швеции // САПР и графика. 2016. № 6 (236). С. 40–44.
8. Nikolaev D. Ye., Kupriyanovsky V. P., Sukonnikov G. V., Utkin N. A., Namiot D. Ye., Yartsev D. I. Digital Railway – Innovative Standards and Their Role in the Example of Great Britain // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 10. P. 55–61.
9. Sinyagov S. A., Kupriyanovskii V. P., Kurenkov P. V., Namiot D. E., Stepanenko A. V., Bubnov P. M., Raspopov V. V., Seleznev S. P., Kupriyanovskaya Yu. V. Construction and Engineering Based on BIM standards as The Basis for Transforming Infrastructures in The Digital Economy // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. № 5. P. 46–79.
10. Bakhareva O. V., Romanova A. I., Talipova L. F., Fedorova S. F., Shindina T. A. On the Building Information Modeling of Capital Construction Projects Market Development // Journal of Internet Banking and Commerce. 2016. Vol. 21. № S3.
11. Бахарева О. В. Инновационно-технологическое управление ростом: технология информационного моделирования в регионе // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 2. С. 121–132.

12. Романова А. И., Миронова М. Д., Ильина Е. В. Анализ рисков на рынке информационных услуг // Актуальні проблеми економіки. 2014. № 10. P. 504–512.
13. Kupriyanovskiy V. P., Konev A. V., Sinyagov S. A., Namiot D. E., Kupriyanovskiy P. V., Zamolodchikov D. G. Optimization of Resource Use in The Digital Economy // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 12. P. 86–99.
14. Vatin N. I., Kolosova N. B., Berdyugin I. A. Efficiency of Use Of Systems of Automatic Control of AccuGrade in Construction // Journal Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. № 4 (9). P. 30–35.

Grishina N.M. – technical director of the direction of information modeling of building objects
E-mail: NGrishina@croc.ru

Mitsko D.I. – leading consultant of the direction of information modeling of building objects
E-mail: DMitsko@croc.ru

CJS company «CROC Incorporated»

The organization address: 111033, Russia, Moscow, Volotchaevskaya st., 5, bl. 1

Development and implementation of the BIM-standard: a study of management practices in construction

Abstract

Problem. The purpose of the study is to analyze the methods of managing the firm's resources in the process of introducing Building Information Modeling based on the development and implementation of the BIM-standard in the construction industry enterprise.

Results. The main results of the study are to consider the world and Russian approaches to compiling the BIM-the standard of a construction firm. The study summarizes the goals, objectives, steps from development to implementation of the BIM-standard. The authors proposed new methods for introducing Building Information Modeling in the investment and construction complex on the basis of a systematic approach to solving BIM problems using the BIM-standard.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that the proposed methods for implementing BIM can be implemented in the practice of construction organizations of various profiles that plan to apply information modeling technology based on the BIM-project implementation concept, taking into account the customer's requirements.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), BIM-technology, BIM-standard, BIM-command, BIM-manager, BIM-coordinator, BIM-master, BIM-designer, BIM-Uses, BIM-content, 3D-information model, BEP, EIR, LOD.

References

1. Anufriev D. P., Petrova I. Yu., Shikulskaya O. M. Implementation of BIM tools in the educational process of a construction university // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa. 2015. № S1. P. 54–62.
2. Lezhnina Yu. A., Khomenko T. V. Problems of implementation of new information technologies building information modeling in construction university // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. 2015. № 2 (12). P. 78–82.
3. Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F., Berezhnov G. V., Lezhnina Y. A. Modified Algorithm of Information Retrieval Based on Graph Model and Latent Semantic Analysis // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 24. № 24. P. 250–255.
4. Talapov V. V. The introduction of BIM in Singapore: an impressive experience // CAPR i grafika. 2016. № 1 (231). P. 60–63.
5. Talapov V. V. Finland – another world BIM – leader // CAPR i grafika. 2016. № 2 (232). P. 18–23.
6. Talapov V. V. Development of BIM in the BENELUX countries // CAPR i grafika. 2016. № 4 (234). P. 64–65.
7. Talapov V. V. Using BIM in Denmark, Norway and Sweden // CAPR i grafika. 2016. № 6

- (236). P. 40–44.
8. Nikolaev D. Ye., Kupriyanovsky V. P., Sukonnikov G. V., Utkin N. A., Namiot D. Ye., Yartsev D. I. Digital Railway – Innovative Standards and Their Role in the Example of Great Britain // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 10. P. 55–61.
 9. Sinyagov S. A., Kupriyanovskii V. P., Kurenkov P. V., Namiot D. E., Stepanenko A. V., Bubnov P. M., Raspopov V. V., Seleznev S. P., Kupriyanovskaya Yu. V. Construction and Engineering Based on BIM standards as The Basis for Transforming Infrastructures in The Digital Economy // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. № 5. P. 46–79.
 10. Bakhareva O. V., Romanova A. I., Talipova L. F., Fedorova S. F., Shindina T. A. On the Building Information Modeling of Capital Construction Projects Market Development // Journal of Internet Banking and Commerce. 2016. Vol. 21. № S3.
 11. Bakhareva O. V. Innovative and Technological Management of Growth: Building Information Modeling in the Region // Rossiskoe predprinimatel'stvo. 2017. Vol. 18. № 2. P. 121–132.
 12. Romanova A. I., Mironova M. D., Ilyna E. V. Risk analysis in the market of information services // Aktualni problem ekonomiki. 2014. № 10. P. 504–512.
 13. Kupriyanovskiy V. P., Konev A. V., Sinyagov S. A., Namiot D. E., Kupriyanovskiy P. V., Zamolodchikov D. G. Optimization of Resource Use in The Digital Economy // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 12. P. 86–99.
 14. Vatin N. I., Kolosova N. B., Berdyugin I. A. Efficiency of Use Of Systems of Automatic Control of AccuGrade in Construction // Journal Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. № 4 (9). P. 30–35.

УДК 004.942

Гришина Н.М. – технический директор направления информационного моделирования строительных объектов

E-mail: NGrishina@croc.ru

Чалый Ю.Ю. – ведущий аналитик направления информационного моделирования строительных объектов

E-mail: YChalyu@croc.ru

ЗАО «КРОК инкорпорейтед»

Адрес организации: 111033, Россия, г. Москва, ул. Волочаевская, д. 5, корп. 1

Проблемы и перспективы BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве¹

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – в статье рассмотрены проблемы процесса внедрения новой технологии информационного моделирования, возникающие в связи с малым количеством методической литературы и недостаточной подготовленностью в настоящее время специалистов строительной отрасли, способных работать и развивать BIM-технологии в Российской Федерации.

Результаты. Основные результаты исследований состоят в создании авторами подходов к внедрению новых BIM-технологий в управлении строительством. Метод исследований – аналитический. Представлены решения и компетенции компании-интегратора для всех этапов жизненного цикла объекта в условиях BIM-технологии – проектирование, строительство и эксплуатация. Предложены новые подходы к системе подготовки инженерных кадров в высших учебных заведениях для строительной отрасли: рассмотрен поступательный процесс обучения новой технологии.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в результате практического применения предложенных авторами новых методик обучения и подготовки инженерных кадров в архитектурно-строительных ВУЗах строительная отрасль получит высококвалифицированных, подготовленных к новым реалиям управленцев и специалистов.

Ключевые слова: технология информационного моделирования (BIM), BIM-технология, BIM-команда, информационная 3D-модель, план реализации BIM-проекта (BEP), информационные требования заказчика (EIR), уровень детализации (LOD).

Введение

Развитие любой отрасли экономики сопровождается появлением новых знаний, технологий и новых задач по использованию технологических, управленческих и организационных инноваций в управлении фирмами, государственными учреждениями, в процессе подготовки новых кадров для отраслей экономики и переквалификации специалистов рынка уходящей технологии. На этапе внедрения новых технологий предполагается решение таких задач, которые не имеют простых и однозначных методов решений или же решений, являющихся совокупностью уже используемых приёмов организации и управления на предприятии [1-9]. Внедрение технологий, использующих элементы нового знания, не успевшего стать достоянием общественности, часто происходит с множеством ошибок и изменений, процесс затрагивает всех экономических агентов национальной экономики.

Внедрение новых технологий в строительстве, как правило, проходит три этапа:

1. **Локальное внедрение** – на данном этапе преследуется цель опробовать и продемонстрировать работоспособность технологии на одном небольшом проекте. Активную роль здесь играют разработчики технологии, заинтересованные в успехе проекта, при этом предприятие часто пассивно и настроено скептически к проводимым работам.

¹Исследование подготовлено при поддержке Международного инжинирингового центра КГАСУ «BIM и SMART технологии в архитектуре, строительстве и ЖКХ» в рамках 69-ой Международной конференции по проблемам архитектуры и строительства КГАСУ (апрель, 2017).

2. **Масштабируемое внедрение** – на данном этапе технологию применяют уже ко всем проектам, которое ведёт предприятие. Целью является проверка масштабируемости технологии на реальном проекте. Здесь активную роль начинает играть уже предприятие, заинтересованное в успешной реализации проекта силами своего персонала. Изучается способность новой технологии внедриться в существующие процессы. Разработчики технологии всё ещё играют важную роль, но уже как консультанты – ведут работу со стороны, участвуя в нужный момент в проекте внедрения новой технологии.

3. **Тотальное внедрение** – данный этап проходит в рамках уже отработанных процессов внедрения. Внедрение технологии производится силами специализированных организаций с чётко определёнными входными данными, процедурами, ролями вовлечённых лиц и результатами каждого шага. Разработчики технологии на данном этапе, как правило, уже не участвуют. Они преследуют цель совершенствования своей технологии.

Основные трудности при внедрении новой технологии возникают на первых двух этапах, поскольку они самые наукоемкие [10]. Именно в это время закладываются и разрабатываются процедуры, требующие уникальных знаний и умений разработчиков.

Практический опыт авторов в 2014-2017 гг. по внедрению новой технологии информационного моделирования (англ. Building Information Modelling, сокр. BIM) на российских предприятиях и в организациях позволяет обобщить возникающие проблемы внедрения новой технологии и рассмотреть задачи для их решения. Обычно за внедрением BIM стоит цель решить определённый комплекс задач, основанный на потребностях и специфике отрасли в которой задействован заказчик.

В строительной отрасли и без BIM отмечался острый дефицит квалифицированных специалистов рабочих и инженерно-технических направлений, а принятый государством в 2014-м году курс на внедрение технологии информационного моделирования ещё больше раскрыл проблему дефицита высококвалифицированных специалистов, добавив к этому необходимость в получении знаний в области BIM-технологии.

До задания вектора на BIM на государственном уровне многие строительные компании и проектные институты использовали инструменты автоматизации труда и управления информацией, просто BIM-ом это никто не называл. Традиционным было понятие, что выпускник специализированного высшего учебного заведения должен забыть всё, чему его учили и пройти процесс обучения уже на рабочем месте под чутким руководством опытных наставников. По сути, от него требовались только базовые навыки пользователя.

Однако ситуация с требованиями к выпускникам кардинально меняется, ВУЗы Москвы, Санкт-Петербурга, Самары, Астрахани, Новосибирска, рассматривают возможности обучения BIM в команде [11-16]. Работодатель уже не хочет ждать – ему нужен результат. BIM-технология создана для выдачи этого результата, но количество и сложность инструментов решения постоянно растёт и неподготовленный специалист не сможет найти достойного, а главное интересного места работы. Согласно анализу экспертов, количество желающих обучаться технологии информационного моделирования в 2015 году выросло на 35 % по сравнению с 2013 годом², что отражает тенденцию быстрого роста спроса на рынке труда. На современном рынке управления строительством ключевым этапом при вхождении специалиста в компанию и внедрении новых технологий стал этап обучения молодых специалистов и повышения квалификации специалистов с наличием профессионального опыта.

ЕРС и ЕРСМ контракты по стандартам FIDIC

В России в настоящее время набирают популярность ЕРС и ЕРСМ контракты по стандартам FIDIC [17-18]. Мировая практика реализации инвестиционных проектов выделяет ЕРС- и ЕРСМ-контракты как наиболее перспективные стратегии реализации сложных промышленных проектов. Отсутствие в российском законодательном поле понятий «ЕРС-контракт» и «ЕРСМ-контракт», а также отсутствие однозначной трактовки

²Рейтер Т. Если изучаешь BIM : об освоении технологии информационного моделирования // Строительство и городское хозяйство. 2016. № 164. С. 46-50. URL: <http://stroypuls.ru/sgh/2016-sgh/164-aprel-2016/116499/> (дата обращения: 19.03.2017).

понятия «инжиниринговые услуги» являются сдерживающими факторами развития данных стратегий в России. ЕРС-контракты привлекательны для заказчиков решением «под ключ» и приемлемой степенью риска. Поэтому их повсеместное использование – вопрос времени. Также при заключении ЕРС-контракта не стоит забывать, что есть ГК РФ и необходимо помнить об императивных нормах российского законодательства, несоблюдение которых повлечет очень печальные последствия для сторон.

Знание и понимание как работать с этими контрактами вскоре станет необходимым условием выживания на рынке. Поэтому включение дисциплины, описывающей механизмы работы ЕРС-контрактов, необходима и выгодна для всей строительной отрасли.

ВМ-технология в управлении строительством

Развитие и модернизация производства строительной отрасли сопровождаются постоянным внедрением новых технологий. В настоящее время самой передовой технологией в строительстве является технология информационного моделирования.

ВМ-технология – это согласованные процессы, позволяющие создать организованную и управляемую информацию об объекте в виде трёхмерной информационной модели, где каждый элемент модели имеет множество различных технических свойств, при изменении которых информация об этом отображается на всех связанных частях проекта, неважно, это объекты капитального строительства или линейно-протяжённые объекты. Данный набор информации может быть использован как на стадии проектирования и строительства объекта, так и в период его эксплуатации, реконструкции и даже сноса³.

Фактически российская строительная отрасль сейчас находится на втором этапе внедрения ВМ-технологии. Российские предприятия пытаются масштабировать технологию на свои проекты, сталкиваясь со всё новыми и новыми проблемами. Стоит отметить, что решения ВМ-технологии для объектов промышленного и гражданского строительства проработаны лучше, чем решения для линейно-протяжённых объектов, за счёт большей распространённости, доступности, количества разнообразных инструментов реализации и нормативных документов, описывающих процессы информационного моделирования зданий и сооружений. При этом правительством РФ уже сейчас поставлена задача третьего уровня – тотальное внедрение ВМ-технологии⁴.

В масштабах одной из крупнейших отраслей национальной экономики, строительства, подготовленных специалистов, способных поддерживать данную технологию и решать связанные с ней задачи, катастрофически мало. В первую очередь это связано с отсутствием общепринятых проработанных методик обучения из-за новизны технологии. Для подготовки специалистов с необходимой квалификацией также нужны преподавательские кадры, способные на основе личного реального опыта создать данные методики, чтобы они были применимы на практике и не являлись бесполезным набором знаний, без умений и навыков выпускников.

Текущая ситуация с подготовкой кадров, способных безболезненно влиться в процесс информационного моделирования, говорит нам о наличии проблемы. Строительные ВУЗы ещё не готовы дать всеобъемлющего пакета информации о ВМ-технологии и вырастить подготовленных специалистов. Авторы предлагают расширить перечень компетенций для освоения будущими специалистами управления строительством, для этого необходимо создать базовый курс обучения ВМ в строительных ВУЗах, охватывающий весь жизненный цикл объекта строительства, основанный на умении специалистов работать в команде проекта.

³Жук Ю. Почему Минстрой предпочел ВМ-технологии. RCMM.RU : сетевое издание «Строительство.RU». 2017. URL: <http://rcmm.ru/tehnika-i-tehnologii/22401-pochemu-minstroy-predpochel-bim-tehnologii.html> (дата обращения: 19.03.2017).

⁴Решения по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. // GOUVERNMENT.RU : сайт правительства РФ. 2014. URL : <http://government.ru/orders/selection/401/11022/> (дата обращения: 20.03.2017).

Типичные проблемы процесса информационного моделирования объектов строительной отрасли

ВМ-технология охватывает весь жизненный цикл объекта строительства:

I. Проектирование – предпроектные и проектные работы.

II. Строительство – планирование строительных работ, закупка материалов, монтаж строительных конструкций и сдача в эксплуатацию.

III. Эксплуатация – комплекс работ по содержанию, обслуживанию и ремонту объекта.

IV. Реконструкция – комплекс работ, направленных на изменение параметров линейных объектов, объектов капитального строительства.

V. Снос – разборка, демонтаж или разрушение всех конструкций здания в связи с невозможностью его дальнейшего использования.

Каждый из приведённых этапов предъявляет к исполнителю работ новый вид требований, что подразумевает под собой дополнительный объём знаний. Каждое новое требование порождает новую проблему, которую необходимо решить. Для выявления этих новых требований (проблем) необходимо подробно раскрыть процессы, происходящие на всех этапах жизненного цикла.

I. Проектирование

С точки зрения ВМ-технологии этап проектирования наиболее важный и наукоемкий. Решения, принятые на данном этапе влияют на весь дальнейший процесс реализации проекта, вплоть до введения объекта в эксплуатацию. Качественная информационная модель, её насыщенность и проработанность, как главная составляющая часть проектно-сметной документации, гарантирует заказчику и исполнителю строительных работ отсутствие возможных коллизий, конфликтных ситуаций и не согласованных решений, в наибольшей мере определяет эффективность намеченного строительства.

Для реализации этого этапа предприятию необходимо выполнить следующие шаги.

1. Начало проектных работ – заказчик заключает договор с проектировщиком и выдает ему техническое задание на проектирование, прилагая к заданию основные документы, подготовленные на предпроектной стадии (в первую очередь «обоснование инвестиций» и «архитектурно-планировочное задание»).

К разработке типичного технического задания в настоящее время добавляется новое приложение – *информационные требования заказчика* (EIR – Employer's Information Requirements), в которых формируются требования к передаваемой заказчику информации в процессе реализации ВМ-проекта и по его завершении.

На основе полученных требований исполнитель предоставляет заказчику *план реализации ВМ-проекта* (ВЕР – ВМ Execution Plan). Главная задача ВЕР – планирование и организация эффективной совместной работы всех участников проектной группы на всех этапах ВМ-проекта. Данный документ определяет цели и задачи использования ВМ в соответствии с EIR, участников ВМ-проекта, процесс выполнения ВМ-проекта, необходимую инфраструктуру и конечные результаты.

Важной составляющей документов EIR и ВЕР является приложение с *требованиями по уровню проработки (детализации) информационной модели* (LOD – Level Of Development). LOD определяет полноту проработки элемента информационной модели, задает минимальный объём геометрической, пространственной, количественной, а также любой атрибутивной информации, необходимой и достаточной для решения задач моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта строительства.

Все эти новые процессы и приложения являются составляющей единого документа – *ВМ-стандарта*. ВМ-стандарт – основополагающий документ или пакет документов, регламентирующих все основные бизнес-процессы информационного моделирования в проектной организации. Он должен быть сформирован у всех строительных организаций, переходящих на технологию информационного моделирования.

2. Создание проекта – в зависимости от вида проектируемого объекта, стадийности проектирования формируется новая директория для работы и хранения информации о проекте. При работе с информационной моделью, помимо стандартных решений файловой структуры предприятия или согласно регламентированным разделам⁵ необходимо учитывать использование новых программных продуктов для работы в BIM-технологии. В зависимости от их назначения необходимы отдельные директории для хранения шаблонов, настроек, библиотечных элементов и др. специализированных файлов, необходимых для работы в конкретных системах автоматизированного проектирования (САПР).

Все перечисленные условия, а также правила наименования файлов, передачи и обмена информацией, методики работы в САПР должны быть проработаны в BIM-стандарте. Для упрощения и оптимизации рабочих процессов при проектировании существует множество программных комплексов для управления данными и документооборотом.

3. Разработка проекта – в зависимости от вида проектируемого объекта, его функционального назначения и стадии проектирования предприятие разрабатывает проектную документацию. В новой технологии разработка проектной документации ведётся с помощью инструментов моделирования и автоматического создания фасадов, планов, разрезов, узлов, спецификаций и ведомостей. Процесс проектирования претерпел кардинальные изменения, по сравнению с традиционным подходом. Инженер получил в свои руки инструменты, позволяющие на самых ранних стадиях проектирования избегать глобальных ошибок, коллизий и др. несоответствий в проектных решениях.

Для специалистов каждой дисциплины, разрабатывающей свою часть проекта, существуют отдельные инструменты и методики работы. Помимо решений стандартных задач по производству проектной документации специалисты коллективно создают трёхмерную модель с базой данных элементов, позволяющей извлекать данные для всех необходимых спецификаций и ведомостей расходов. Платформы BIM-технологии образуют из этого набора разрозненной информации единую информационную модель. В дальнейшем её можно использовать для следующих этапов жизненного цикла объекта – строительства и эксплуатации.

В итоге заказчик получает полноценную, соответствующую исходным требованиям, информационную модель объекта строительства с полным пакетом высококачественной проектной и рабочей документации. Возникает логичный вопрос: каким образом и кто должен настроить технологию информационного моделирования в проектной организации?

В качестве решения данной проблемы предлагается разработать методику обучения и подготовки BIM-команды, способной работать с инструментами BIM-платформ, создавать сводную трёхмерную модель, организовывать совместную работу и подготавливать проектную и рабочую документацию. Также в рамках обучения следует подготовить материалы по созданию и формированию BIM-стандарта предприятия, настройке и работе систем управления данными и документооборота предприятия.

II. Строительство

BIM-технология на этапе строительства призвана раскрыть завесу над объёмом производимых на строительной площадке работ, уменьшить количество трудозатрат, повысить качество строительно-монтажных работ и свести к минимуму количество ошибок. В помощь строителю приходит современное оборудование, работающее с данными информационной модели, применяя их в решении практических задач.

При внедрении инструментов информационного моделирования, потребность в обучении BIM становится для участников строительного рынка необходимостью. Для инженерно-технического персонала строительной отрасли нет общедоступных курсов повышения квалификации, рассказывающих и объясняющих основные принципы

⁵Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 07.07.2017) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

технологии информационного моделирования, поскольку не разработаны профессиональные стандарты новых специальностей и отсутствует образовательный стандарт.

Однако необходимость новых знаний по BIM определяется рынком, тем, что главный заказчик BIM – это строительная компания, которая получает наибольшую выгоду от наличия всесторонней информации о проекте в любой момент времени. Решение о внедрении всегда принимается «сверху» – руководством строительной компании, которое стремится повысить прозрачность происходящих процессов и детализировать работы на всех уровнях взаимодействия участников инвестиционно-строительного проекта.

Эффективная работа инструментов BIM будет возможна только при внедрении технологии на всех уровнях управления, а именно:

1. Стратегический – уровень ответственности руководства.
2. Оперативный – уровень ответственности инженерно-технических работников.

При этом для выполнения комплекса работ, основанных на BIM-технологии нужны специалисты, умеющие работать не только с новым оборудованием, но и знающие основы технологии информационного моделирования (работа с 3D-моделью, видом производимой информации, правилами создания и хранения проектной документации).

Важнейшим условием успешной реализации этапа строительства является качественный контроль строительства и на его основе управление строительством объекта. Контроль за происходящими процессами можно разделить на два модуля:

1. Оперативный контроль – работы, производимые непосредственно на строительной площадке, призванные отслеживать текущие задачи.
2. Стратегический контроль – работы, производимые для оценки общей ситуации и получения сводной информации в рамках строительства в целом.

1. Оперативный контроль призван решать следующие задачи:

1.1. *Строительный мониторинг и контроль* – осуществляет информационно-аналитическую поддержку деятельности при выполнении функций контроля и технического надзора за объектами, обеспечению формализованного строительного контроля. Также модуль формирует аналитическую, статистическую отчетность, включая ряд финансовой отчетности о ходе работ.

1.2. *Управление строительной техникой* – предназначено для выполнения работ, связанных со строительной техникой быстро, с максимальной точностью и тщательным контролем себестоимости. Основные цели, на которые направлены инструменты управления строительной техникой – выполнение работы качественно и в срок, сокращение расхода материалов, улучшение производительности. Это означает отсутствие незапланированных простоев и переделок, использование минимально необходимого по проекту количество материалов.

Инструменты систем автоматического управления (САУ) все чаще используют на строительных площадках, их преимущества очевидны. Базовые навыки и понимание работы инструмента будет выгодно и полезно как водителю техники, так и инженеру, геодезисту и даже прорабу.

2. Стратегический контроль подразумевает под собой создание Диспетчерского центра для повышения доступности и наглядности информации о фактическом состоянии объектов строительства в целях эффективного управления строительством. Центр будет получать всю необходимую для проведения стратегического управления информацию и позволит визуализировать информацию в виде графиков, диаграмм и таблиц с возможностью детализации, текстовой информации, публикации документов.

Диспетчерский центр обеспечит информационную поддержку руководства и позволит оперативно принимать управленческие решения, основанные на наиболее полной доступной информации об объектах мониторинга и контроля, а также осуществлять управление ключевыми показателями эффективности работы администрации.

Для подготовки специалистов данной категории предлагается разработать методику обучения, позволяющую подготовить их к полноценной работе на строительной площадке, где применяется BIM-технология. Необходимо включить в программу базового курса обучения BIM раздел по работе с модулями оперативного и стратегического контроля за строительством.

II. Эксплуатация

Информационная модель, сформированная после этапов проектирования и строительства, передаётся в службу эксплуатации построенного объекта. Данный этап является наивысшей точкой развития информационной модели. При необходимости модель наполняют информацией, соответствующей эксплуатационным характеристикам объекта, таким как паспорта на оборудование, установочные чертежи, информация о дополнительных коммуникациях, каталожная информация на арматуру и т.д. Для эффективной работы и управлением всей информацией эксплуатирующей организации необходим подготовленный персонал – высококвалифицированные специалисты.

Информационная модель на этом этапе жизненного цикла позволяет решать намного более обширные задачи, нежели при стандартном подходе к эксплуатации объектов недвижимости.

Помимо оперативного и стратегического уровней управления, по аналогии с этапом строительства, эксплуатация различается в зависимости от вида объекта.

1. Управление недвижимостью – данный модуль эксплуатации объектов предназначен для оптимизации имеющихся и создания новых эффективных процессов управления, оптимизации затрат и качества сервисов в области технического управления недвижимостью.

Модуль направлен на эффективное управление ресурсами и активами. Он обеспечит наличие полного паспорта объекта и единой точки доступа к полной информации обо всём оборудовании, порядке и истории его обслуживания.

Контроль техобслуживания и ремонтов служит бесперебойному функционированию всех значимых систем – при существенно меньших финансовых и трудовых затратах.

2. Управление искусственными сооружениями и линейно-протяжёнными объектами – этот модуль также решает задачи стратегического назначения. Его наличие раскрывает возможности планирования, управления и координации всех работ и мероприятий, проводимых в дорожной сети.

Становится возможным эффективное управление установкой, ремонтом, получением разрешений и закрытием всех видов работ с инженерной инфраструктурой (сети электро-, газо- и водоснабжения, телефонные и кабельные сети и т.д.) от получения разрешения до окончательной приемки, утверждения и рекультивации.

Важным функционалом также является возможность осуществления контроля за состоянием искусственных сооружений, сбор актуальных сведений и оперативное составление и передача подрядчику наряда на работы по устранению дефектов и иных повреждений объекта эксплуатации. При этом упрощается формирование отчётов, становится доступнее работа с запросами населения и данными, собранными в полевых условиях.

Диспетчерский центр на данном этапе предназначен для стратегического управления объектом. Интеграция подсистем в едином центре управления упростит сбор данных с внешних устройств, анализ и прогнозирование ситуаций с автоматическим формированием оптимальных алгоритмов решения инцидентов. Визуализация ключевой информации, создание планов реагирования, контроль событий и оперативное реагирование на возможные инциденты.

Также возможно формировать актуальную 3D-модель объекта при отсутствии документации, что решает задачи по созданию 3D-модели объекта по проектным данным, а также с помощью беспилотных летательных средств, выполняющих съёмку методом лазерного сканирования и/или трёхмерной фотограмметрии. Для визуализации моделей возможно применение технологий виртуальной и дополненной реальности.

Для подготовки специалистов данной категории предлагается разработать методику обучения, позволяющую подготовить их к полноценной работе с модулями эксплуатации по содержанию, обслуживанию и ремонту объекта. Этот раздел, по нашему мнению, также необходимо включить в программу базового курса обучения BIM.

BIM в учебных заведениях

В настоящее время специалистов строительных профессий готовят в отраслевых профильных заведениях среднего профессионального и высшего образования. Там же

они проходят различные курсы повышения квалификации. Недостаток специалистов на всех этапах с навыками и базовыми знаниями новых технологий критичен.

Государственное регулирование изменений в образовательном процессе строительных ВУЗов⁶ направлено на изменение, сложившейся на рынке, ситуации: в ближайшей перспективе должны быть изменены и разработаны образовательные стандарты по подготовке специалистов строительной отрасли национальной экономики.

Сотрудничество практиков строительного рынка с учебными заведениями по подготовке программ обучения является, по нашему мнению, важнейшим этапом внедрения BIM-технологии в России на государственном уровне. В этом случае ВУЗы смогут разработать учебные программы на основе рекомендаций по содержанию курсов, предложенных авторами, и подготовить молодых специалистов, которым предстоит работать с новыми инструментами BIM и развивать строительную отрасль.

Сложилась практика, когда большинство разработчиков программного обеспечения (ПО) предоставляют свои продукты для базового обучения в ВУЗы. В результате молодые специалисты получают знания, основанные на опыте работы с узким количеством специализированных программ и оборудования. По нашему мнению, обучение должно раскрывать полную картину возможностей автоматизации проектирования на строительном рынке, без привязки к конкретному разработчику ПО или оборудования.

По нашему мнению, критически важно вести работу по сотрудничеству между ВУЗами и другими заинтересованными учебными заведениями не только с лидерами строительной отрасли по разработке ПО и оборудования, но и с компаниями-интеграторами, имеющими практический опыт разработки, внедрения и сервисного обслуживания комплексных информационных систем управления строительством с применением технологии информационного моделирования, разработки вычислительных комплексов, облачных и сервисных услуг в управлении строительством и информационной безопасности строительной организации. При этом представители разработчиков ПО могут выступать в роли экспертов-практиков, которые будут участвовать в экспертизе учебных курсов для студентов.

Авторы предлагают новую программу обучения BIM и подготовки инженерных кадров в архитектурно-строительных ВУЗах (практикоориентированное обучение BIM):

1.) проведение исследования необходимых компетенций для новых профессий и специальностей в BIM и разработать перечень для согласования на национальном уровне для разработки профессиональных стандартов и образовательных стандартов по специальности;

2.) разработка методики обучения и подготовки BIM-команды, способной работать с инструментами BIM-платформ, создавать сводную трёхмерную модель, организовывать совместную работу и подготавливать проектную и рабочую документации;

3.) подготовка материалов по созданию и формированию BIM-стандарта предприятия, настройке и работе систем управления данными и документооборота предприятия;

4.) проведение обучения системам автоматического управления (САУ) на строительных площадках и развитие базовых навыков и понимания работы инструмента;

5.) разработка методики обучения, позволяющей подготовить студентов к полноценной работе на строительной площадке, где применятся BIM-технология: включение в программу базового курса обучения BIM раздел по работе с модулями оперативного и стратегического контроля за строительством;

6.) разработка методики обучения, позволяющей подготовить студентов к полноценной работе с модулями эксплуатации по содержанию, обслуживанию и ремонту объекта;

7.) сотрудничество между ВУЗами и другими заинтересованными учебными заведениями с лидерами строительной отрасли по разработке ПО и оборудования, с компаниями-интеграторами, имеющими практический опыт разработки, и государственными органами власти по своевременному включению в учебные программы новых технологий, в том числе информационных технологий управления в строительной отрасли.

⁶Приказ Минстроя России от 29 декабря 2014 года № 926/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства».

В результате реализации предложенных авторами методик обучения качество преподавания и учебные программы в ВУЗах будут соответствовать новым требованиям строительной отрасли, а профессиональный диссонанс будет исключен. Предложенный профессиональный подход к разработке, экспертизе, совершенствованию учебных программ позитивно отразится на всех аспектах управления в строительной отрасли на разных уровнях хозяйствования.

Заключение

Технология информационного моделирования раскрывает и объединяет процессы, происходящие на всех этапах жизненного цикла объекта строительства. Существующая в России, сложившаяся десятилетиями система подготовки специалистов, не приспособлена к коллективной, совместной работе над проектом BIM. Реализация BIM-технологии основана именно на принципах коллективной работы. Через единую информационную модель объекта строительства предполагается тесное взаимодействие всех участников проекта на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства. Современная система образования направлена на подготовку специалиста только в рамках своей специальности, что в условиях новой технологии недостаточно для эффективной командной работы над проектом.

Перед преподавательским сообществом строительных высших учебных заведений стоит задача разработки и внедрения новых методик обучения в устоявшиеся учебные процессы.

Рассмотренный и обобщенный практический опыт авторов в процессе внедрения технологии информационного моделирования и выявленные типичные проблемы могут служить основой для разработки новых методик обучения и подготовки инженерных кадров для строительной отрасли. Авторы предлагают новую методику выявления необходимых компетенций для новых специальностей, создание в ВУЗах базового курса обучения «BIM-технологии в строительстве» («Технология информационного моделирования в строительстве») на основе инструментов различных производителей, охватывающий весь жизненный цикл объекта строительства, наполненного механизмами работы с EPC-контрактами, систем автоматического управления в процессе эксплуатации объектов строительства.

По нашему мнению, следует придерживаться поступательного процесса обучения новой технологии. Необходимо начинать с основ трёхмерного моделирования на первых курсах, с последующим развитием знаний и навыков совместной работы над единым проектом, до детального разьяснения сути и устройства BIM-технологии в проектной организации с описанием процессов, определением задач, составлением планов реализации и т.п., в том числе во время практики на предприятиях инвестиционно-строительного комплекса.

В результате применения предложенных новых методик обучения и подготовки инженерных кадров в архитектурно-строительных ВУЗах строительная отрасль получит высококвалифицированных, подготовленных к новым реалиям управленцев и специалистов управления строительством мирового уровня.

Список библиографических ссылок

1. Четверик Н. П. Предложения в концептуальные основы национальной технологической инициативы // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. № 3-4 (207). С. 38–40.
2. Корабейников И. Н., Дмитриенко О. В. Факторы развития рынка информационных услуг // Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-3 (76-3). С. 775–780.
3. Shindina T. A. Organization of Interaction Between The Participants in Modern Construction // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 2113–2118.
4. Бахарева О. В., Кордончик Д. М. Институты развития в инновационной структуре региона // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2016. № 12 (94). С. 21.

5. Бахарева О. В. Институты развития: долгосрочные инвестиции в региональную инфраструктуру // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 21. С. 2849–2864.
6. Воронцова Н. Д., Лосев Р. Н. Инновационный процесс как базовый компонент стратегии развития предприятия // В сборнике Общество, наук, инновации (НПК-2016) Сборник статей 2-е издание, исправленное и дополненное / Вятский государственный университет. 2016. С. 3073–3077.
7. Шишкина А. В., Сизова О. В. Статистическое моделирование результатов инновационной деятельности организаций в регионах Центрального Федерального округа // Вопросы инновационной экономики. 2017. Т. 7. № 1. С. 9–22.
8. Gollay I. N. Gollay A. V., Shindina T. A., Salimonenko E. N., Chuvashova A. D. Priority Area of Analysis of The External Environment of A Company-Innovator Depending On A Type of Introduced Innovations // Polish Journal of Management Studies. 2016. V. 13. № 2. P. 58–68.
9. Fridrich J., Kubecka K. BIM – The Process of Modern Civil Engineering in Higher Education. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. Vol. 141. P. 763–767.
10. Баранцев А. В., Кулямин В. В., Омельченко В. А., Петренко О. Л. Проблемы внедрения наукоемких технологий // Труды Института системного программирования РАН. 2004. Т. 8. Ч. 1. С. 9–24.
11. Vatin N. I., Kolosova N. B., Tokareva E. E. (2007). The Teaching a Subject of Professional Cycle With a Duplication in a Foreign Language As a Method Preparation of Specialists of International Level (On A Example The Training of An Engineer-BUILDER) // Construction of Unique Buildings and Structures. № 5 (56). P. 7–16.
12. Sharmanov V. V., Simankina T. I., Mamaev A. E. BIM In The Assessment of Labor Protection // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 1 (69). P. 77–88.
13. Спрыжков А. М., Приворотский Д. С., Приворотская Е. В. Междисциплинарная интеграция BIM и IPD в высшем профессиональном образовании // Известия Самарского научного центра РАН. Социально-гуманитарные, медико-биологические науки. 2015. Т. 17. № 1-2. С. 348–351.
14. Лежнина Ю. А., Хоменко Т. В. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном ВУЗе // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 2 (12). С. 78–82.
15. Воронцова Н. Д. Конкурентоспособность выпускников вуза на рынке труда // В сборнике «Общество, наука, инновации» (НПК-2015) Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция : сб. мат. Общеуниверситетская секция, БХ, ХФ, ФСА, ФАМ, ЭТФ, ФАВТ, ФПМТ, ФЭМ, ФГСН, ЮФ. ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет». 2015. С. 1752–1753.
16. Талапов В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М. : ДМК Пресс, 2011. 393 с.
17. Loots P., Henchie N. (2007) Worlds Apart: EPC and EPCM Contracts: Risk issues and allocation. London: Mayer-Brown International LLP. 18 p. URL: http://fidic.org/sites/default/files/epcm_loots_2007.pdf (дата обращения: 20.03.2017).
18. Четверик Н. П. Зачем инжиниринг с применением EPC(M)-компетенций // Наука и безопасность. 2015. № 1 (14). С. 8–12.

Grishina N.M. – technical director of the direction of information modeling of building objects

E-mail: NGrishina@croc.ru

Chaly Iu.Iu. – leading analyst of the direction of information modeling of building objects

E-mail: YChalyy@croc.ru

Closed joint-stock company «CROC Incorporated»

The organization address: 111033, Russia, Moscow, Volotchaevskaya st., 5, bl. 1

Problems and prospects of BIM in high school: development management in construction

Abstract

Problem. The purpose of the research is to study the problems of the process of introducing a new technology of information modeling that arise in connection with the small amount of methodological literature and the insufficient preparedness of specialists in the construction industry who are able to work and develop BIM-technology in the Russian Federation.

Results. The main results of the research are the authors' creation of approaches to the introduction of new BIM-technologies in construction management. The method of research is analytical. The solutions and competences of the integrator company are presented for all stages of the life cycle of the facility in the context of BIM-technology – design, construction and operation. New approaches to the system of training engineering personnel in higher educational institutions for the construction industry are proposed: the progressive process of learning new technology is considered.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that as a result of the practical application of new methods of training and training of engineering personnel in architectural and construction universities, the construction industry will receive highly skilled managers trained for new realities.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), BIM-command, 3D-information model, BEP, EIR, LOD.

References

1. Chetverik N. P. Proposals to the conceptual basis of the national technological initiative // *Stroitelnye materialy, oborudovanie,ologii XXI veka*. 2016. № 3-4 (207). P. 38–40.
2. Korabeynikov I. N., Dmitrienko O. V. Factors of development of the information services market // *Economika i predprinimatel'stvo*. 2016. № 11-3 (76-3). P. 775–780.
3. Shindina T. A. Organization of Interaction Between The Participants in Modern Construction. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 2113–2118.
4. Bakhareva O. V., Kordonchik D. M. Development Institutions in the Innovation Structure of the Region // *Upravlenie ekonomicheskimi systemami: elektronnyii nauchnyii zhurnal*. 2016. № 12 (94). C. 21.
5. Bakhareva O. V. Development institutions: long-term investments in regional infrastructure // *Rossiskoe predprinimatel'stvo*. 2016. Vol. 17. № 21. P. 2849–2864.
6. Vorontsova N. D., Losev R. N. Innovative process as a basic component of enterprise development strategy // In the Collection of the society, sciences, innovations (NPK-2016) Collection of articles 2nd edition, revised and enlarged / Vyatka State University. 2016. P. 3073–3077.
7. Shishkina A. V., Sizova O. V. Statistical modeling of the results of innovative activity of organizations in the regions of the Central Federal District // *Voprosy innovacionnoi ekonomiki*. 2017. T. 7. № 1. P. 9–22.
8. Gollay I. N. Gollay A. V., Shindina T. A., Salimonenko E. N., Chuvashova A. D. Priority Area of Analysis of The External Environment of a Company-Innovator. *Polish Journal of Management Studies*. 2016. V. 13. № 2. P. 58–68.
9. Fridrich J., Kubecka K. BIM – The Process of Modern Civil Engineering in Higher Education. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 141. P. 763–767.
10. Barantsev A. V., Kulyamin V. V., Omelchenko V. A., Petrenko O. L. Problems of introduction of science-intensive technologies // *Trudy Instituta systemnogo programmirovaniya Rossiiskoi Academy Nauk*. 2004. T. 8. C. 1. P. 9–24.
11. Vatin N. I., Kolosova N. B., Tokareva E. E. (2007). The Teaching a Subject of Professional Cycle With a Duplication in a Foreign Language As a Method Preparation of Specialists of International Level (On A Example The Training of An Engineer-BUILDER) // *Construction of Unique Buildings and Structures*. № 5 (56). P. 7–16.
12. Sharmanov V. V., Simankina T. I., Mamaev A. E. BIM In The Assessment of Labor

- Protection. Magazine of Civil Engineering. 2017. № 1 (69). P. 77–88.
13. Spryzhkov A. M., Privorotsky D. S., Privorotskaya E. V. Interdisciplinary integration of BIM and IPD in higher professional education // Izvestija Samarskogo nautchnogo centra Russiiskoi Akademii Nauk. Socio-humanitarian, biomedical sciences. 2015. Vol. 17. № 1-2. P. 348–351.
 14. Lezhnina Yu. A., Khomenko T. V. Problems of introducing new information technology Building Information Modeling in a construction university // Ingenerno-stroitel'nyii vestnik Prikaspija. 2015. № 2 (12). P. 78–82.
 15. Vorontsova N. D. Competitiveness of graduates of the university in the labor market // In the Collection of the Society, Science, Innovation (NPK-2015) All-Russian annual scientific and practical conference : Collection of materials: General University section / Vyatka State University. 2015. P. 1752–1753.
 16. Talapov V. V. BIM Foundations: Introduction to Information Modeling of Buildings. M. : DMK Press, 2011. 393 p.
 17. Loots P., Henchie N. Worlds Apart: EPC and EPCM Contracts: Risk issues and allocation. London: Mayer-Brown International LLP. 2007. 18 p. URL: http://fidic.org/sites/default/files/epcm_loots_2007.pdf (reference date: 20.03.2017).
 18. Chetverik N. P. Why engineering with the use of EPC (M) –competencies // Nauka I bezopasnost'. 2015. № 1 (14). P. 8–12.

**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 – 297×210 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 – 80×80 мм, максимальный – 170×240 мм.

Все формулы и символы набирать только в Microsoft Word. Для набора тех формул, которые невозможно набрать в Word, 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 нанокompозитов 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. Гушин 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. Theses 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.

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 20116X06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 0000000000000000130 реализация изд. деэт-ти.

Известия КГАСУ
2017 г., № 3 (41)

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 27.09.2017

Заказ 271

Усл.-печ. л. 36,5

Формат 60×84/8

Бумага тип. № 1

Уч.-изд. л. 37

Тираж 500 экз.

I завод-100

Отпечатано в Издательстве КГАСУ, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1