ISSN 2073-1523

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ

2012 г., № 3 (21)

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Адельшин А.Б., д-р техн. наук, проф.;
Айдарова Г.Н., д-р архитектуры, проф.;
Айдаров С.С., д-р архитектуры, проф., чл.-корр. РААСН;
Брехман А.И., д-р техн. наук, проф.;
Загидуллина Г.М., д-р экон. наук, проф.;
Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Кузнецов И.Л., д-р техн. наук, проф.;
Куприянов В.Н., д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РААСН;
Лежава И.Г., д-р архитектуры, академик РААСН;
Мирсаяпов И.Т., д-р техн. наук, проф., советник РААСН;
Померанцев А.Л., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Посохин В.Н., д-р техн. наук, проф.;
Рахимов Р.З., д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РААСН;
Родионова О.Е., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Соколов Б.С., д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РААСН;
Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф.;
Сучков В.Н., канд. техн. наук, проф.;
Фурер В.Л., д-р хим. наук, проф.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Санчез А.П., д-р хим. наук, в.н.с. (Испания);
Тхин Н.В., д-р техн. наук, проф. (Вьетнам);
Фиговский О.Л., проф., член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль);
Фишер Х.-Б., д-р (Германия);
Элсайед Т.А., канд. техн. наук, доц. (Египет);
Янотка И., канд. техн. наук, с.н.с. (Словакия).

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

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

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

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

© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2012

ISSN 2073-1523

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

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

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE

2012 г., № 3 (21)

BBC 38
I 33
UDC 69

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

EDITORIAL BOARD:

Adelshin A.B., Dr. tech. sci., prof.;
Aydarova G.N., Dr. arch. sci., prof.;
Aydarov S.S., Dr. arch. sci., prof., corr.-m. RAACS;
Brehman A.I., Dr. tech. sci., prof.;
Zagidullina G.M., Dr. economics sci., prof.;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Kuznetsov I.L., Dr. tech. sci., prof.;
Kuprijanov V.N., Dr. tech. sci., prof., corr.-m. RAACS;
Lezhava I.G., Dr. arch. sci., academic of RAACS;
Mirsayapov I.T., Dr. tech. sci., prof., counselor of RAACS;
Pomerantsev A.L., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Posochin V.N., Dr. tech. sci., prof.;
Rakhimov R.Z., Dr. tech. sci., prof., corr.-m. RAACS;
Rodionova O.Ye., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Sokolov B.S., Dr. tech. sci., prof., corr.-m. RAACS;
Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof.;
Suchkov V.N., Cand. tech. sci., prof.;
Furer V.L., Dr. chem. sci., prof.

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Sanchez A.P., Dr. chem. sci., head of department (Spain);
Thinh N.V., Dr. tech. sci., prof. (Vietnam);
Figovskiy O.L., prof., member of EAS, foreign member of RAACS (Israel);
Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);
Elsayed T.A., Cand. tech. sci., associate prof. (Egypt);
Janotka I., Cand. tech. sci., head of unit (Slovakia).

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:
FSBEI of HHE «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 JCK «ROSPECHAT» Agency; an index of the edition is 36939.

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

© News of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Журавлев М.Ю. Категория времени в теоретических концепциях архитекторов	7
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Андрианова О.С. Проблемы реконструкции зданий, приспособленных под детские социально-реабилитационные учреждения	13
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Загидуллин Р.Р. Территориально-транспортное планирование крупномасштабного спортивного мероприятия	19
Закирова Ю.А. Формирование моделей-прототипов общественных пешеходных пространств	27
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Ахметзянов Ф.Х. К вопросу о влиянии шероховатости поверхности бетона на повреждаемость строительных элементов	32
Замалиев Ф.С., Хайрутдинов Ш.Н. Прочность нормальных сечений сталежелезобетонных изгибаемых элементов при длительных статических нагружениях	41
Шмелев Г.И., Сусаров А.В. Несущая способность облицовочной керамогранитной плиты в составе навесного вентилируемого фасада	47
Шмелев Г.Н., Исламов А.Ф., Крупин В.П., Сусаров А.В. Исследование мягкой кровли на нагрузки от крышных рекламных конструкций	52
ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Мирсаяпов И.Т., Брехман А.И., Королева И.В., Иванова О.А. Прочность и деформации песчаных грунтов при трехосном циклическом нагружении	58
Мирсаяпов И.Т., Брехман А.И., Пискунов А.А., Королева И.В. Расчетная модель деформирования грунтового основания трубопровода	64
Мулюков Э.И. О дисциплине «Инженерно-строительная карстология»	71
Шеменков Ю.М., Глазачев А.О. Расчет буронабивных свай в глинистых грунтах по данным статического зондирования	80
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Энергоэффективные теплообменные аппараты на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых каналов	86
Мустакимова С.А. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена закрученных течений в пружинно-витых каналах	96
Насыбуллин А.А., Правник Ю.И., Антропов Д.Н., Садыков Р.А., Ерёмин С.А. Электронный датчик давления, температуры и расхода	103
Хабибуллин Ю.Х., Барышева О.Б. Энергосберегающее устройство приточной вентиляции	108
Хайруллин М.Р., Золотоносов Я.Д. Математическая модель ламинарного течения аномально-вязкой жидкости во вращающемся канале типа «конфузор-диффузор» овального сечения	113
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Бусарев А.В. О факторе времени, обуславливающем процесс очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков	121
Катраева И.В., Колпаков М.В., Кузина Ю.С., Мынин В.Н., Айнетдинов Р.М. Применение погружных керамических модулей для биомембранных аппаратов	127
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Королев Е.В., Береговой В.А., Костин Д.С. Исследование процессов пластификации сырьевых смесей, применяемых в технологии кремнистого пенокерамобетона	133
Красиникова Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Влияние цементов низкой водопотребности на степень пучинистости пылеватых грунтов	139
Лесовик В.С., Мосьпан А.В. Конструкционно-теплоизоляционные прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях	144
Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Лыгина Т.З., Шинкарев А.А. Исследование продуктов взаимодействия модельной и биологически-активной сред с цементным раствором	150
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Гришин И.В., Каюмов Р.А., Иванов Г.П. К определению температурного поля в покрытии металлического моста с ортотропной плитой	156

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Павлов В.П., Нусратуллин Э.М., Филиппов А.А., Мухамедова И.З. Методика определения упругих характеристик гибридного композиционного материала и оценка ее точности	167
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ (в строительстве)	
Евстафьева А.Х. Выбор оптимальной системы налогообложения малыми предприятиями строительного комплекса региона (на примере Республики Татарстан)	175
Закиева Н.М. Реальные опционы как методическая основа управления инновационным проектом	183
Пермичев Н.Ф., Миронова Е.А. Стимулирование застройщика при аукционном распределении земельных участков	194
Романова А.И. Метод диагностики результатов производственно-хозяйственной деятельности предприятий сферы жилищно-коммунальных услуг	198
Сахапов Р.Л., Абсалямова С.Г. Инновационная пауза как шанс на технологическую модернизацию российской экономики	203
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (в строительстве)	
Прудников П.В., Медведева М.А., Шакирзянов Ф.Р. Численное исследование неравновесной критической динамики структурно неупорядоченных систем с протяженными дефектами структуры вблизи температуры фазового перехода второго рода	209
Христич Д.В., Каюмов Р.А., Мухамедова И.З. Программа экспериментов по определению главных осей анизотропии материала	216
ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (в строительном вузе)	
Денисова А.Б. Роль внеучебной деятельности в подготовке современного специалиста	225
Сучкова Т.В., Яруллина Л.Р., Чернухина М.Е. Реализация технологий эффективного трудоустройства выпускников в строительном вузе	230
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	235

CONTENTS

ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Zhuravlev M.Yu. The category of time in theoretical conceptions of architects	7
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Andrianova O.S. The problem of building reconstruction, adapted for the social-rehabilitation institutions for children	13
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Zagidullin R.R. Territorial and transport planning of large-scale sporting events	19
Zakirova J.A. Formation of models-prototypes of public pedestrian spaces	27
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Akhmetzanov F.Kh. Influence of roughness the surface concretes building elements on the damage	32
Zamaliev F.S., Khairutdinov Sh.N. Durability of normal sections steelconcrete bent elements at long static loadings	41
Shmelev G.N., Susarov A.V. Bearing capacity of facing porcelain pate part hinged ventilated facades	47
Shmelev G.N., Islamov A.F., Krupin V.P., Susarov A.V. The study of the soft roof of the advertising structures	52
FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Mirsayapov I.T., Brechman A.I., Koroleva I.V., Ivanova O.A. Strength and deformation of sandy soils under triaxial cyclic loading	58
Mirsayapov I.T., Brechman A.I., Piskunov A.A., Koroleva I.V. Calculation model of deformation of the pipeline ground base	64
Muljukov E.I. About the discipline of «Engineering construction karstology»	71
Shemenkov Y.M., Glazachev A.O. Calculation of bored piles in clay soil according to cpt	80
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Energy-efficient heat-exchange devices based on heat-exchange elements in the form of a spring-twisted channels	86
Mustakimova S.A. Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer of swirling currents in the spring-twisted channels	96
Nasybullin A.A., Pravnik Y.I., Antropov D.N., Sadykov R.A., Eremin S.A. Pressure sensor, temperature and flow	103
Khabibullin Iu.Kh., Barysheva O.B. Energy saving device of running ventilation	108
Khairullin M.R., Zolotonosov Ya.D. Mathematical model of laminar flow of power-law fluid in the rotating «confusor-diffusor» channel with oval section	113
WATER SUPPLY, SEWERAGE, WATER CONSERVATION CONSTRUCTION	
Adelshin A.A., Adelshin A.B., Busarev A.V. About the time factor, that may influence the process of cleaning oil-field waste water using a swirling flows	121
Katraeva I.V., Kolpakov M.V., Kuzina Y.S., Mynin V.N., Ainetdinov R.M. Submerged ceramic modules in biomembrane installation	127
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Korolev E.V., Beregovoj V.A., Kostin D.S. Examination of the plasticizing process of compositions for siliceous foam-ceramic concrete technology	133
Krasinikova N.M., Khohryakov O.V., Khozin V.G. Influence of cements of low water requirement on degree swellings of dusty soil	139
Lesovik V.S., Mospan A.V. Load-bearing structural insulating material with granulated filler for earthquake resistant building	144
Stroganov V.F., Kukoleva D.A., Lygina T.Z., Shinkarev A.A. Integrated research process biological damage mineral building materials	150
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION	
Grishyn I.V., Kayumov R.A., Ivanov G.P. About definition of temperature field in pavement of steel bridge with orthotropic slab	156
BUILDING MECHANICS	
Pavlov V.P., Nusratullin E.M., Filippov A.A., Muhamedova I.Z. The methodology of determining the elastic characteristics of a hybrid composite material and estimation of its accuracy	167
ECONOMY MANAGEMENT AND ECONOMICS (in building)	
Evstafieva A.Kh. Selection of the optimal tax system in small enterprises of a building complex of the region (The Republic of Tatarstan)	175

Zakieva N.M. Real options as a methodological framework of innovation project management	183
Permichev N.F., Mironova E.A. Stimulation of the builder with the auction of land allocation	194
Romanova A.I. The diagnostic method is a result of industrial and business enterprises of housing and communal services	198
Sakhapov R.L., Absalyamova S.G. Innovation pause as a chance to the technological modernization of the Russian economy	203
MATHEMATICAL MODELLING,NUMERICAL METHODS AND COMPLEXES OF PROGRAMS (in building)	
Prudnikov P.V., Medvedeva M.A., Shakirzyanov F.R. Monte-Carlo simulation of the non-equilibrium critical dynamics of the disordered systems with long-range correlated disorder	209
Khristich D.V., Kayumov R.A., Muhamedova I.Z. A program of experiments for material anisotropy main axes determination	216
THEORY AND VOCATIONAL TRAINING TECHNIQUE (in engineering higher educational institution)	
Denisova A.B. The role of extracurricular activities in the preparation of a modern specialist	225
Suchkova T.V., Jarullina L.R., Chernukhina M.E. Realization of efficient employment's technologies for graduates of engineering university	230
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	235

УДК 72.01
Журавлев М.Ю. – ассистент
E-mail: mihail_zhuravlev@inbox.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 443001, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 194

Категория времени в теоретических концепциях архитекторов

Аннотация
Центральное место в исследовании отводится проблеме времени в архитектуре: формулируется парадокс почти полного его отсутствия в инструментарии архитектора и теоретических основаниях архитектуры. Рассматривается вопрос об участии категории времени в качестве фактора в архитектурной деятельности. Выявляются источники и пути проникновения понятия «время» в список объектов архитектурной теории. Восстанавливается хронология развития вопроса. Проводится анализ высказываний мастеров архитектуры на тему времени, тем самым определяется ряд возможных направлений исследований в данной области архитектурной науки. Выясняется глубина теоретического и практического освоения темы на современном этапе развития архитектуры.
Ключевые слова: время, архитектура, фактор времени, теория архитектуры, архитектурная деятельность.

Такие понятия, как пространство и время, носят фундаментальный характер. Они являются атрибутами бытия и вследствие этого приобретают категориальный масштаб. Но из них только пространство из века в век находится среди предметов архитектурной деятельности. Такое состояние дел отражает и архитектурная наука – ею постулируется, что зодчий организует именно пространство. Но как обстоит дело с другой категорией – временем? Какое место занимает оно структуре архитектурного знания? И каковы общие тенденции в эволюции этого вопроса? Эти проблемы, безусловно, требуют своего изучения.

Прежде чем начать рассмотрение упоминаний мастеров архитектуры о проявлении времени в их профессиональной деятельности, стоит отметить, что не только время, но и вопрос о действии фактора времени на архитектуру не входил в число основных вопросов архитектурной науки. Более того, эта категория лишь изредка фигурирует в концепциях зодчих. Такие случаи единичны. Тем более необходимым представляется подобное исследование.

Также стоит сказать, что теории архитектуры перечисление упоминаний времени в трудах и высказываниях архитекторов послужит не только с точки зрения простой статистики. Эти высказывания отчасти зададут направление дальнейшего исследования. Подскажут, в каких областях следует искать феномены проявления фактора времени.

Если в случае такого способа получения знаний, как философия, категория времени постоянно на протяжении тысячелетий стоит среди важнейших тем, то в архитектуре этот вопрос стал изредка подниматься лишь в XX веке. Нужно сказать, что воззрения архитекторов на этот счет, как правило, не носили характер концепций и, тем более, научных теорий. Исходя из этого, здесь придется обращаться к отдельным высказываниям.

Наиболее вероятно, что обращение ко времени в архитектурной среде стало возможным вследствие обращений к нему в среде смежных наук. К началу XX века время стало учитываться в экономике, строительстве, искусствоведении и мн. др. В своей книге «The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators» один из ведущих британских специалистов в области городского менеджмента Чарльз Лэндри (Charles Landry) говорит о новом импульсе изучения времени именно в этот исторический период [1, с. 61-63]. Он связывает это с переходом от «цикличного» доиндустриального времени к «линейному» времени индустриального общества, отмечая, что и время XXI столетия разительно отличается от времени XX века. Поднимается вопрос: смогут ли эти модели времени, выработанные исходя из прежних потребностей, также хорошо послужить и в условиях подвижной и быстрой

постиндустриальной городской жизни. Именно во времени авторы сборника «The Time Squeeze», посвященного темпоральным проблемам современного общества, видят опорную, объединяющую, стабилизирующую функцию; здесь [2, с. 24-25] говорится:

«Нам всегда нужны надежные ритмы для поддержания в равновесии в переменчивом мире…»

Ч. Лэндри указывает на эффект уплотнения субъективно воспринимаемого времени вследствие повышения интенсивности городской жизни. Он так объясняет это явление [1, с. 61]:

«Новая ментальная география неустойчива – слишком много информации упаковано на коротких отрезках времени. Мобильность все больше уплотняет время, заставляя переживать его физически… Далекие места кажутся ближе, так как нужно меньше времени, чтобы до них добраться».

Там же автор обращает внимание на то, что, как и к пространству, ко времени нужно подходить, принимая в расчет его ценность. Оно преподносится в суждениях британца в качестве ресурса, который можно тратить или экономить, а также как инструмент дифференциации:

«Время – это экономический предмет потребления, своеобразная форма капитала. Мы не можем себе позволить растрачивать его попусту, даже в городской толчее, по дороге на работу. Оно отражает и другие аспекты разделения общества: бедным приходится без конца убивать свободное время, а богатым, напротив, никак не хватает времени, чтобы в полной мере насладиться своим достатком. Умение использовать время, а не просто заполнять его имеет первостепенное значение…»

Намечая новое направление мысли – в сторону тематики устойчивого развития, Лэндри поддерживает тезис о стабилизирующей роли времени. Именно устойчивость он считает необходимым принять за одно из непременных условий развития общества [1, с. 61-62]:

«Устойчивое развитие – ключевая концепция нашей эпохи. Она создает нам новые возможности интерпретации всего происходящего в мире, заставляет нас думать о наследии, о справедливости по отношению к последующим поколениям. Эта концепция постулирует необходимость учитывать потребности будущих поколений при удовлетворении наших текущих потребностей».

Эволюция цивилизации, общества, история культуры и науки, история архитектуры – в таком опосредованном виде историческое время все же входило в круг интересов теоретиков архитектуры. И примеров обращения к этой стороне предмета, пожалуй, больше, чем к какой-либо другой. Тему исторического подхода поддерживает критик и историк архитектуры Зигфрид Гидион (Sigfried Giedion). В своей работе «Space, Time & Architecture» он пишет [3, с. 42]:

«Мы хотим узнать, каким образом мы пришли к пониманию современной нам архитектуры. Для этого надо иметь представление об архитектурном наследии прошлого».

Он же намечает еще одно направление, которое позволяет Гидиону, как и некоторым другим авторам, рассматривать архитектуру как своего рода знак времени, точнее говоря, как символ определенной исторической эпохи [3, с. 39]:

«Архитектура дает безошибочное представление о том, что действительно происходило в определенный период».

Первая заповедь величайшего архитектора своего времени, Фрэнка Ллойда Райта (Frank Lloyd Wright) гласит [4]:

«Забудьте обо всех архитектурах мира, если не понимаете того, что они были хороши в своём роде и в своё время».

Тесная связь архитектуры и ее исторического контекста не подлежит сомнению. Итальянский архитектор Альдо Росси (Aldo Rossi), ставший лауреатом крупнейшей в области архитектуры Прицкеровской премии (1990), полагает, что не пространственная характеристика, не место, а именно временна́я (историческая) компонента характеризует архитектуру (в данном случае стиль). Однажды он с резкостью так высказался на этот счет [4]:

«Клевещущие критики глупы, потому что «фашистской архитектуры» не существует. Существует архитектура фашистского периода, итальянская или немецкая, точно так же, существует архитектура сталинского периода».

Основоположник абстракционизма, выдающийся российский теоретик изобразительного искусства, преподаватель немецкой школы «Bauhaus» Василий Кандинский добавляет о специфике взаимоотношений эпохи и искусства [5, с. 333]:

«Взаимосвязи истории искусства «с историей культуры» (куда входит и раздел о бескультурье) основаны, условно говоря, на трех положениях:

Искусство подчиняется времени –

Либо время обладает силой и полнотой содержания, и столь же сильное и полноправное искусство без принуждения идет в ногу со временем, или

Время сильно, но содержательно разобщено и слабое искусство подчиняется этой разобщенности.

Искусство по различным причинам противостоит и противоречит времени в своих проявлениях…

Искусство выходит за пределы, в которые его хотело бы втиснуть время, и выражает содержание будущего».

Поддерживая тему историзма и преемственности, доктор архитектуры, Ирина Антоновна Иодо подчеркивает [6, с. 26], что и «на любом уровне градостроительного проектирования необходимо учитывать устойчивость и изменяемость пространственных форм и материальных элементов среды, взаимодействие последовательных этапов их развития, что проявляется в преемственности». Этим высказыванием намечается очередной вектор возможных исследований в области проявления времени. И эта область – градостроительство.

Зигфрид Гидион дополняет идею внимательного изучения явления развития и устанавливает связь между историзмом и градостроительством [3, с. 44], считая несомненным, что «лишь весь организм города в целом дает представление об уровне архитектурных познаний в данный период». «Осознать с позиций не только настоящего, но и будущего такие сложные пространственные формы, как город или регион, можно только на основе глубокого и широкого изучения процесса становления во времени основных качественных и количественных характеристик пространства…», – продолжает эту тему И.А. Иодо [6, с. 25].

К упоминанию времени в своих творческих и научных идеях также прибегали те архитекторы, которые занимались проблематикой реконструкции и реставрации, сохранения и восстановления архитектурного наследия. Среди них американский градостроитель, теоретик архитектуры, автор таких знаменательных трудов, как «The Image of the City» (1960) и «What Time is This Place?» (1972), известный специалист по проблемам теории зрительного восприятия города, Кевин Линч (Kevin Lynch). С уверенностью можно сказать, что в области рассмотрения времени как фактора, оказывающего свое влияние на архитектуру, он достиг наибольшей глубины. В данном случае он пишет [7, с. 150-151, 153]:

«Коль скоро часть прошлого сохранена как нечто хорошее, есть надежда, что и будущее сохранит настоящее… Прошлое если это далекое прошлое может даже специально культивироваться как объяснение и оправдание настоящего…».

Обращение к прошлому видится Линчем в качестве инструмента, архитектурного приема. «Покрываясь шрамами прошлого, – говорит он, – ландшафт набирает эмоциональную глубину…». Операции со вниманием пользователя, его направление в сторону прошлого или будущего, сосредоточение на определенном времени, отсылка к конкретному периоду, а значит, и к обстоятельствам, связанным с этим временем – таковы возможные формы участия времени в реконструкции и сохранении архитектурной среды. Набор этих приемов является мощным средством воздействия на восприятие искусственного ландшафта в широком смысле слова. Позже автор замечает [7, с. 200]:

«Возможности выражения времени через ландшафт почти не раскрыты, а соответствующие приемы малоизвестны».

Если заходит речь о приемах, то, следовательно, приходится говорить и об архитектурном проектировании, потому как этот род деятельности является той областью, где используются данные приемы. Действительно, суждения авторов на тему архитектурного проектирования редко, но содержат упоминания о таком факторе, как время. И снова Кевин Линч в этом отношении стоит в авангарде. В своих размышлениях [7, с. 169] он постепенно приходит к тому, что в творческой деятельности зодчего возможен, выражаясь современным языком, темпоральный подход:

«В отдельных случаях мы можем нуждаться в управлении или регулировании расписания фаз деятельности в качестве элемента проектного решения».

Критик подходит к этим соображениям вот с какой стороны. Сперва Линч отмечает, что до недавнего времени проектирование среды было сосредоточено на стабильных «устройствах»: земле, дорогах, зданиях. Но человеческая деятельность, протекающая среди этих устройств, имеет равную, если не большую по сравнению с ними, значимость в определении качества места. На основании этого умозаключения проектирование предметов было расширено и охватило проектирование форм поведения и вещей в пространстве, став пространственным проектированием [7, с. 168]. «Но если в игру включается поведение, – рассуждает автор, – то проектирование должно иметь дело не только с пространственным, но и с временным рисунком, превращаясь в искусство управления меняющейся формой предметов и устойчивыми рисунками поведения людей во времени и пространстве одновременно». И наконец предлагается вывод:

«Распределение действия во времени влияет на функционирование места и его стиль не менее, чем размещение этого действия»

Говоря о потребности применения временно́го проектирования, Линч также высказывается [7, с. 168] о современном состоянии дел в этом секторе методологии:

«В целом распределение во времени осуществляется все еще от случая к случаю».

Своими суждениями он указывает на то, что это направление, безусловно, является актуальным, но остается неисследованным.

Существуют публикации, представляющие собой общий срез культурной мысли в конкретный период времени. К таким, например, относится журнал «Курьер ЮНЕСКО». В 1985 году один из его номеров был полностью посвящен архитектуре – современному на тот момент этапу ее развития. Крупнейшие архитекторы современности высказывали здесь свои идеи. Среди них: Оскар Нимейер [8], Хасан Фатхи [9], Кэндзо Тангэ [10]. Интересно, что почти каждый заголовок номера содержит информацию о времени: «Время жить…», «Жилище завтра», «Город 2000 года», «Меняющийся облик Каира», «ЮНЕСКО и сохранение старого Каира», «Бурный рост городов», «Возвращение к традициям». Во всех этих примерах налицо наличие временной компоненты, при этом именно на нее делается акцент. Но вместе с тем, изучение содержания работ позволяет заключить, что в данном случае время воспринимается архитекторами только «подсознательно» и оно – само по себе или во взаимодействии с архитектурой – не является предметом их научных концепций. Таким образом, можно говорить, что и к концу XX века этот вопрос не нашел своего внимательного исследователя.

Именно с недостатком научной проработки соглашаются и авторы книги, вышедшей в начале XXI века под названием «Time-based Architecture: Architecture Able to Withstand Changes Through Time» [11]. Она посвящена архитектурным сооружениям, способным к изменениям во времени – реагирующим на перемены в окружающих условиях. При этом способы реакции могут быть совершенно различны: от возможности перепланировки, до изменения светопропускания фасада в зависимости от времени суток.

В заглавии книги – термин, появившийся совсем недавно. Понятие «time-based architecture» можно перевести как «архитектура, основанная на времени», «повременная (изменяющаяся во времени) архитектура». В настоящее время в английском языке распространена аббревиатура «TBA», но первоначально (и в большинстве случаев теперь) это сокращение от «time-based arts». Термин, предложенный пионером видеоарта, британцем Дэвидом Холлом (David Hall) в 1972 году, обозначает виды современного искусства, основанные на изменениях во времени: саундарт, видеоарт, медиаперформанс и др. Вероятно, путем перефразирования из «time-based arts» (TBA) образовалось понятие «time-based architecture» (TBA). Таким образом, подтверждается высказанное ранее предположение о том, что знание о времени начало проникать в архитектуру из «соседних» областей знания.

По мнению одного из авторов, Бернара Люпэна (Bernard Leupen), то, чем для архитектора является линейка, для видеохудожника (режиссера, сценариста, монтажера и т. д.) – временна́я шкала. Она дает основное измерение для его работы. «Поскольку проектировщикам зданий – людям, которых принято называть архитекторами – приходится иметь дело с аспектами времени, временная ориентация также может стать актуальной для архитекторов», – пишет он, затем дополняя, что время становится важной составляющей процесса проектирования [11, с. 15].

Данная книга является, пожалуй, единственным в своем роде изданием. Его авторы рассматривают реализованные проекты. Они выступают в качестве эмпирического материала для исследований феноменов учета архитекторами фактора времени. Одним из первых

примеров использования такого подхода является жилой дом, построенный в 1930-х гг. по проекту голландского архитектора Джо ван ден Брука (Jo van den Broek). Использование дома проходило по разным режимам: днем и ночью. Другой же знаменитый голландский архитектор и дизайнер Март Стам (Mart Stam) разработал схемы, иллюстрирующие способы использования комнат этого дома отдельно в дневное и ночное время. Схема, разработанная в 1992 г. Рэмом Колхасом (Rem Koolhaas) для новой застройки в Йокогаме, была основана на том же принципе [12]. В этих примерах использован метод распределения процессов во времени для решения проблемы недостатка пространства. Иной подход, по мнению Б. Люпэна, был продемонстрирован в 1964 г. Седриком Прайсом (Cedric Price), влиятельным английским архитектором и теоретиком. Проект «Potteries Thinkbelt» предусматривал расположение места размещения высшего образования на участке бывших гончарных заводов [13]. Гибкость была обеспечена расположением классных комнат подобно железнодорожным вагонам. Работа, проделанная Прайсом в 1960-ых, вдохновила авторов целого ряда проектов, связанных с подвижными зданиями: например, один из проектов группы Archigram «Шагающий город» («Walking City»).

Так, по мнению составителей книги «Time-based Architecture», делались первые шаги в освоении времени в архитектуре.

Завершая описание источника, необходимо сказать, что это издание – самая целенаправленная попытка изучить данный вопрос. Анализ этой книги – а она вышла в 2005 г. – позволяет судить о современном состоянии дел в области исследования фактора времени в архитектуре.

Конечно, ставя своей задачей широкое и полное изучение характеристик отношения времени и архитектуры, следует иметь в виду весь научный путь, пройденный ранее. Он послужит методологической опорой будущим исследованиям. В результате анализа истории рассмотрения архитекторами понятия «время» и содержания их редких теоретических идей на этот счет, представляется возможным сделать выводы о том, какие стороны вопроса требуют изучения. В этой теме таковых – большинство. И перед исследователем открывается широкий простор для творчества.

На протяжении всей истории развития архитектурной науки время как самостоятельное понятие почти не фигурировало в ее тезисах. В XX веке, в силу изменения социокультурных условий, оно постепенно стало проникать в теоретические концепции все большего числа научных и творческих дисциплин. Этот процесс оказал влияние на появление такого понятия, как время, в некоторых высказываниях теоретиков; затем, к середине столетия, увидели свет единичные проекты, в работе над которыми время воспринималось сознательно; и лишь на рубеже веков стали предприниматься робкие попытки научного описания проявления времени как фактора проектирования. Редкие исследования на эту тему слабо систематизированы, ограничены отдельными узкими аспектами вопроса и носят скорее эвристический характер. Необходимо также отметить, что данная научная непроработанность не касается такого проявления времени в архитектуре, как историзм.

Список литературы

1. Landry Ch. The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators. – Milton Keynes: Earthscan Ltd., 2008. – 2nd Edition. – 300 p.
2. Wilkinson H. The Time Squeeze. – London: Demos Quarterly, 1995. – 191 p.
3. Гидион З. Пространство, время, архитектура / ред. Копелянский Д.Г. / пер. с нем. Леонене М.В., Чернь И.Л. Изд. 2-е, испр. – М.: Стройиздат, 1977.: – 567 с.
4. Прокуратов А.Ю. Архитектура и революция // Проектирование и строительство гражданских зданий. Сайт Александра Прокуратова 2011. 8 ноября. URL: http://konstr.narod.ru/A_R.htm (дата обращения: 3.12.2011).
5. Кандинский В. Точка и линия на плоскости. – СПб.: Азбука, 2001. – 560 с.
6. Иодо И.А. Основы градостроительства (теория, методология). Мн.: Выш. школа, 1983.
7. Линч К. Образ города / ред. Иконников А.В. / пер. Глазычев В.Л. – М.: Стройиздат, 1982. – 328 с.
8. Немейер О. Город 2000 года // Курьер ЮНЕСКО, 1985, № 4.

9. Фатхи Х. Меняющийся облик Каира // Курьер ЮНЕСКО, 1985, № 4.
10. Тангэ К. Архитектура и город // Курьер ЮНЕСКО, 1985, № 4.
11. Leupen B. Time-based Architecture: Architecture Able to Withstand Changes Through Time. – Rotterdam: 010 Publishers, 2005. – 272 p.
12. Koolhaas R. Yokohama Masterplan // Веб-узел архитектурного бюро «OMA». – OMA. URL: http://oma.eu/projects/1992/yokohama-masterplan (дата обращения: 15.06. 2012).
13. Mathews S. Cedric Price and the architecture of 'calculated uncertainty': The Fun Palace and Potteries Thinkbelt (doctoral dissertation). – New York: Columbia University, 2001.

Zhuravlev M.Yu. – assistant
E-mail: mihail_zhuravlev@inbox.ru
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
The organization address: 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 194

The category of time in theoretical conceptions of architects

Resume

The reason for choosing the topic of «time» in architecture for the study was the paradox of its absence among research subjects of architectural theory. Meanwhile such fundamental notions as space and time have great significance as categories and are attributes of Being. Space as the object of arrangement and as a factor influencing building construction has its place in the structure of architectural knowledge. As far as time is almost completely absent in it.

The range of the scientific problems considered in the article is as follows. The source of knowledge about time in architectural science is explored. The chronological development of the aspect in question in theoretical and practical works is described. Through analysis of quotations of architects and people employed in correspondent fields the conclusion on the content of concepts and ideas relating to time in architectural activities is made. Possible directions for further studying are defined including urban development, design, perception and evaluation of architectural environment, history of architecture, architectural projection. Current condition in the field under consideration is analyzed and the depth of theoretical and practical elaboration of the question in modern science is determined.

Keywords: time, architecture, temporal factor, architecture theory, architectural activity.

References

1. Landry Ch. The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators. – Milton Keynes: Earthscan Ltd., 2008. 2-nd Edition. – 300 p.
2. Wilkinson H. The Time Squeeze. – London: Demos Quarterly, 1995. – 191 p.
3. Giedion S. Space, time, architecture. – 2-nd Edition. – M.: Stroyizdat, 1977. – 567 p.
4. Prokuratov A.Yu. Architecture and Revolution // Civil building engineering. Website of Alexander Prokuratov 2011. 8 nov. URL: http://konstr.narod.ru/A_R.htm (reference date: 3.12.2011).
5. Kandinsky W. Point and Line To Plane. – St. Petersburg: Azbuka, 2001. – 560 p.
6. Iodo I.A. Fundamentals of Urban Planning (theory, methodology). – Minsk: Vyshaya shkola, 1983. – 199 p.
7. Lynch K. The Image of the City. – M.: Stroyizdat, 1982. – 328 p.
8. Niemeyer O. City in 2000 // The UNESCO Courier, 1985, no. 4.
9. Fathy H. The Changing Face of Cairo // The UNESCO Courier, 1985, no. 4.
10. Tange K. Architecture and City // The UNESCO Courier, 1985, no. 4.
11. Leupen B. Time-based Architecture: Architecture Able to Withstand Changes Through Time. – Rotterdam: 010 Publishers, 2005. – 272 p.
12. Koolhaas R. Yokohama Masterplan // The Website of the architectural bureau «OMA». – OMA. URL: http://oma.eu/projects/1992/yokohama-masterplan (reference date: 15.06. 2012).
13. Mathews S. Cedric Price and the architecture of «calculated uncertainty»: The Fun Palace and Potteries Thinkbelt (doctoral dissertation). – New York: Columbia University, 2001.

УДК 72.025.5
Андрианова О.С. – аспирант, ассистент
E-mail: olgandra@rambler.ru
Ульяновский государственный технический университет
Адрес организации: 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Проблемы реконструкции зданий, приспособленных под детские социально-реабилитационные учреждения

Аннотация
Целью работы являлось исследование функционально-планировочной системы зданий учреждений для социальной реабилитации детей.

В работе поднимаются актуальные вопросы формирования архитектурной среды центров для беспризорных и безнадзорных детей и подростков – нового типа учебно-воспитательного учреждения в России и странах СНГ.

Автором рассматриваются проблемы реконструкции зданий типовых дошкольных учреждений, приспособленных под социально-реабилитационные учреждения. Перечисляются достоинства и недостатки этих зданий.

Ключевые слова: социально-реабилитационный центр, социальное сиротство, реконструкция, приспособленные здания, типовое дошкольное учреждение.

Детское социально-реабилитационное учреждение – это учреждение, в котором в условиях непрерывного реабилитационного процесса детям и подросткам оказывается социальная, правовая, психолого-медико-педагогическая помощь на основе индивидуальных и групповых программ социальной реабилитации, состоящих из профессионально-трудового, учебно-познавательного, социально-культурного и физкультурно-оздоровительного компонентов. Это принципиально новый тип учебно-воспитательного учреждения в России и странах СНГ, который возник в начале 1990-х гг. XX века и существует сегодня параллельно с традиционными формами воспитания детей «группы риска»: детскими домами, школами-интернатами, воспитательно-трудовыми колониями и т.д.

1990-е гг. оказались переломными для нашей страны. Резкий упадок во всех сферах жизни общества повлек за собой возникновение новых социальных проблем, таких, например, как детское «социальное» сиротство – сиротство при живых родителях. Возникла необходимость в создании специализированного учреждения, осуществляющего профилактику безнадзорности и беспризорности, обеспечивающего временное проживание, социальную помощь и реабилитацию несовершеннолетних детей в возрасте от 3 до 18 лет, оказавшихся в трудной жизненной ситуации. Так начали возникать первые социально-реабилитационные учреждения, к которым сегодня относятся: социально-реабилитационный центр для несовершеннолетних, социальный приют и центр помощи детям, оставшимся без попечения родителей [1]. Их главной задачей являлось возвращение ребенка в нормальную социальную среду или семью, если это было возможно.

В условиях общего экономического упадка и стремительного роста числа беспризорных детей проектирование и строительство нового типа здания не представлялось возможным – было принято решение об использовании имеющегося строительного фонда.

Наиболее подходящим вариантом для работы социально-реабилитационного учреждения оказались здания типовых детских садов, которые в то время из-за резкого снижения рождаемости закрывались один за другим.

В период 1950-80 гг. в связи со стремительным ростом городов и демографическим подъемом, потребовавшим увеличения площадей жилых и общественных зданий, строительство детских садов и яслей имело небывало высокие темпы и велось по типовым проектам [2, с. 3]. Сегодня их условно разделяют на доиндустриальный период строительства (1950-е гг.) и индустриальный период строительства (1960-е, 70-е и 80-е гг.) [3]. Открывались учреждения на 25, 50, 90, 140-145, 160-165, 185-190, 280 и 320-330 мест, что соответствовало распределению детей на 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12 и 14 групп [4, с. 10].

С внедрением прогрессивных направлений полносборного строительства каркасных и каркасно-панельных жилых и общественных зданий к 1980-м гг. в планировочной структуре почти всех детских дошкольных учреждений выделялись объемные двухэтажные блоки на 2 или 4 групповые ячейки, имеющие отдельный выход на улицу. Учреждения имели развитый состав функциональных групп помещений, включающих [5]:

групповые ячейки, состоящие из раздевальной (приемной), групповой (игральной), спальни (веранды), буфетной и туалетной;

помещения общего назначения (без вестибюля), включающие методический кабинет, универсальный зал (или два отдельных зала) для музыкальных и гимнастических занятий с кладовыми;

медицинские помещения и изолятор;

служебно-бытовые помещения, включающие кладовые, помещения персонала и администрации;

а также пищеблок и постирочную.

Подобная структура максимально отвечала требованиям работы социально-реабилитационного учреждения. Во-первых, функциональное назначение дошкольного учреждения позволяло осуществлять в своих стенах основные необходимые жизненные процессы: проживание, питание, лечение, досуг.

Во-вторых, нормы, по которым велось проектирование типовых детских садов и садов-яслей, в достаточной степени отвечали требованиям пожарной безопасности, санитарным нормам и правилам проектирования социально-реабилитационных центров, также являющихся учреждениями для детей.

В-третьих, каркасная или каркасно-панельная конструктивная система детских дошкольных учреждений 1970-80-х гг. давала возможность реконструкции внутреннего пространства здания в целях его адаптации к работе нового учреждения.

Использование существующей архитектурно-планировочной системы в неизменном виде было недопустимо по той причине, что некоторые функциональные зоны (досуговая, административно-хозяйственная, медицинская) в соответствии с требованиями нового типа учреждения нуждались в дополнительных площадях.

Ввиду этого обстоятельства мероприятия по реконструкции и адаптации проводились в двух направлениях: **расширение и перепланировка**. При этом нередко одни функциональные помещения замещались другими.

Расширение определенных функциональных зон происходило за счет сокращения числа групповых ячеек, которые заполнялись помещениями нового назначения (рис. 1). На основе анализа реконструированных зданий было выявлено, что сокращение числа групповых происходило в 2-3 раза, а вместимость учреждения – в 5-6 раз [6, с. 139-140]. Таким образом, был сделан вывод, что в городских условиях наиболее эффективными с технико-экономической точки зрения представлялись здания типовых детских садов-яслей не менее чем на 140 человек (6 групп). В социально-реабилитационном учреждении это соответствовало распределению детей и подростков на три группы: 1) дети дошкольного возраста (мальчики и девочки вместе); 2) мальчики школьного возраста; 3) девочки школьного возраста.

После определения границ площади расширенной функциональной зоны проводилась необходимая **перепланировка**.

Без изменений оставались залы музыкальных и гимнастических занятий, кухня, постирочная, дирекция. На территории учреждения обязательно появлялось новое здание: гараж.

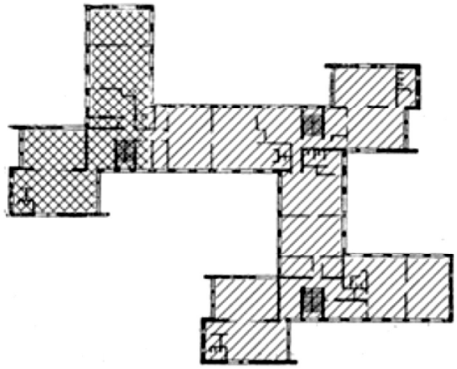
Рекомендации по проектированию детских учреждений по социальной реабилитации появились значительно позже первых попыток реконструкции существующего фонда. Долгое время процесс форсированной адаптации происходил хаотично и носил индивидуальный характер. До сих пор из-за отсутствия жестких норм по проектированию зданий социально-реабилитационных центров номенклатура и состав помещений этих учреждений каждый раз определяются заданием на проектирование. Строительство новых зданий не ведется.

1-й этаж

2-й этаж

Функциональное зонирование 1-го этажа

Функциональное зонирование 2-го этажа



Условные обозначения

- Зона помещений жилого назначения
- Зона помещений медицинского назначения
- Зона помещений реабилитационного назначения
- Зона помещений административно-хозяйственного назначения

Рис. 1. Функциональное зонирование детского дошкольного учреждения,
приспособленного под социально-реабилитационный центр (на примере типового проекта 214-2-42):
1 – игральная-столовая; 2 – групповая; 3 – спальня-веранда; 4 – приемная, раздевальная;
5 – туалетная; 6 – медицинские комнаты; 7 – комната для музыкальных и гимнастических занятий;
8 – методический кабинет; 9 – кабинет заведующего; 10 – кухня;
11 – стиральная-разборочная, сушильная-гладильная

Функционирующие сегодня социально-реабилитационные учреждения не похожи один на другой. Однако можно выделить ряд общих принципов, положенных в основу планировочной структуры всех существующих зданий.

Во-первых, проводилось функциональное зонирование, на сколько это было возможно. Здание разделялось на следующие зоны: жилая, административно-хозяйственная, медицинская и реабилитационная.

Во-вторых, блок-групповая ячейка оставалась главной планировочной единицей. В исходном здании их количество, как известно, менялось в зависимости от вместимости детского дошкольного учреждения. Определенное число ячеек сохраняло свою первоначальную функцию проживания, остальные ячейки в необходимом количестве перепланировались под нужды других функциональных блоков.

В-третьих, происходило частичное замещение одних блоков другими, одних помещений – другими.

Сохранившие свое назначение групповые ячейки становились жилыми «квартирами» воспитанников, рекомендуемое число которых не превышало 7-8 человек. Исходное пространство, состоящее первоначально из трех основных частей: собственно групповой (игральной), спальни и санитарной комнаты, не меняло своих границ, однако претерпевало некоторые изменения ввиду контингента воспитанников и специфики условий для его проживания. Игральная становилась универсальным рекреационным пространством, которое часто служило комнатой для проведения общих мероприятий внутри отдельной группы. Спальня разделялась сплошной перегородкой, как правило, на две большие комнаты. Иногда, по необходимости, для устройства дополнительных комнат на 1-2 человека перегородку также устанавливали в игровой (рис. 2). Санитарный узел оставался на своем месте, менялось только его оборудование. Жилые блоки для детей дошкольного возраста не требовали изменения существующей планировочной структуры.

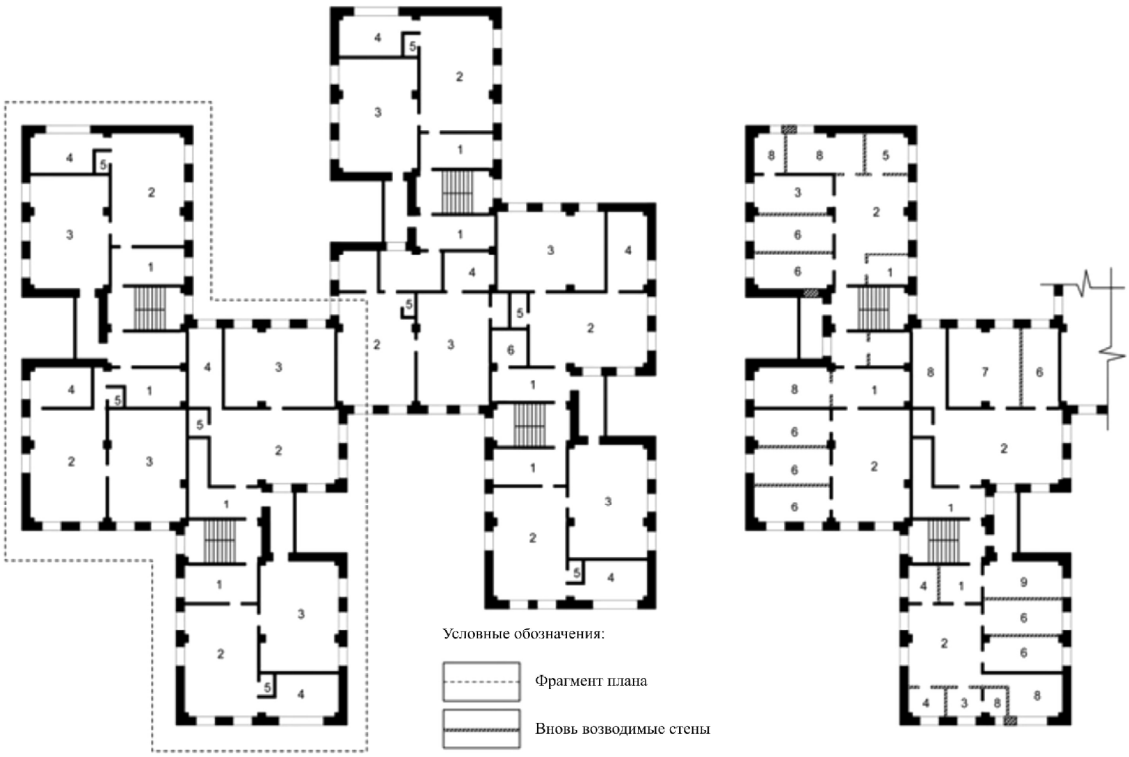


Рис. 2. Варианты перепланировки групповых ячеек типового проекта 212-2-63 яслей-сада на 320 мест: **А** – исходный план: 1 – раздевальная, 2 – игральная-столовая, 3 – спальня, 4 – туалетная, 5 – буфетная, 6 – бельевая; **Б** – примеры перепланировки групповых ячеек под жилые квартиры воспитанников вместимостью 8-12 человек: 1– холл (гардеробная), 2 – общая комната, 3 – комната воспитателя, 4 – комната на 1 человека, 5 – комната на 1-2 человека, 6 – комната на 3-4 человека, 7 – комната на 4-5 человек, 8 – с/у с душевой, 9 – комната для занятий с психологом

Одну из групповых ячеек занимали для работы медицинского блока, состоящего из карантинного (приемного) отделения и изолятора. В поздних проектах детских дошкольных учреждений медицинский пункт имел достаточно развитый состав помещений, что позволяло использовать его в неизменном виде. Однако спецификой работы социально-реабилитационных центров было продиктовано необходимое расширение количества помещений данной зоны, что часто требовало тщательной перепланировки и коррекции площадей. Так, если внутренние стены-перегородки оказывались ненесущими, то их замена не представляла большой сложности. А в том случае, когда стены оказывались капитальными (что было характерно для проектов 1950-60-гг.), выход можно было найти только в устройстве дополнительных перегородок – там, где это было необходимо.

Номенклатура и площади помещений реабилитационного блока решались каждый раз в индивидуальном порядке в соответствии с заданием на проектирование. В него включались помещения различного досугового значения: творческие и трудовые мастерские, спортивные комнаты, комнаты индивидуальной работы с психологом и т.д. Как правило, эта зона тяготела к залу музыкальных и гимнастических занятий, в котором проходили не только творческие и спортивные мероприятия, но и общие собрания, тренинги, лекции-консультации и т.п. Чаще всего эти помещения оказывались в разных уровнях и даже в разных частях здания. Главное условие, которое всегда соблюдалось при устройстве реабилитационного блока, – его равная доступность всем воспитанникам учреждения.

Большинство помещений административно-хозяйственного блока не требовали перепланирования. Однако в отличие от детских дошкольных учреждений, в социально-реабилитационных центрах подразумевалось централизованное питание в общей столовой, которая должна была располагаться вблизи пищеблока. Вследствие этого приоритетным считалось такое его положение, при котором помещения кухни оказывались буквально за стеной одной из групповых ячеек, реконструируемой под обеденный зал. В зданиях, где кухня располагалась в переходах (за пределами типового объемного блока), устройство столовой становилось непростой задачей.

Следует сделать вывод, что, обладая рядом преимуществ, планировочная система типового детского дошкольного учреждения не может быть в полной мере идентична функциональной системе специализированного учреждения для осуществления мероприятий по социальной реабилитации и адаптации детей.

В процессе эксплуатации за период более 20 лет было выявлено определенное число существенных архитектурных недостатков этих объектов:

- низкое эстетическое качество архитектурной среды;
- дискретность функционального зонирования, характеризующаяся в большей или меньшей степени удалением друг от друга помещений одного функционального назначения;
- недостаток площадей и невозможность устройства ряда важнейших помещений:

реабилитационного блока (чаще всего творческих и трудовых мастерских, различных комнат для работы с психологами и педагогами);

жилого блока (комнат психологической разгрузки, комнат приготовления уроков);

административного блока (в различных случаях – отделения социальной диагностики, отделения помощи семье и детям и т.д.).

Сегодня детские социально-реабилитационные учреждения продолжают свою работу в стенах приспособленных зданий, не рассчитывая на серьезные структурно-функциональные преобразования. Хотя в качестве перспективных направлений можно было бы выделить следующие:

- надстраивание мансардных этажей с сопутствующим усилением фундаментов;
- пристраивание дополнительных блоков с устройством утепленных переходов;
- строительство дополнительных зданий на территории центра с перенесением в них части функциональных процессов.

Однако следует учитывать, что увеличение площади застройки окажется возможным в том случае, если площади прилегающей территории будет достаточно.

Так или иначе, несмотря на успешность опыта реконструкции существующего строительного фонда для работы детских социально-реабилитационных центров, вопрос об организации полноценной реабилитирующей среды для детей, оказавшихся в социально опасном положении, остается открытым. Стремительно развивающиеся педагогические технологии требуют принципиально новых проектных решений.

Выводы, сделанные в процессе анализа эксплуатации приспособленных зданий типовых детских садов и садов-яслей, могут послужить основой для создания базовой модели здания детского социально-реабилитационного центра, а также различных типов детских учреждений, предназначенных для оказания экстренной и длительной социально-реабилитационной помощи.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52495-2005. Социальное обслуживание населения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 12 с.
2. Рекомендации по системе и типам детских дошкольных учреждений в городах – новостройках. – М.: ЦНИИЭП учебных зданий, 1980. – 76 с.
3. Рекомендации по реконструкции и модернизации зданий дошкольных учреждений. – М.: Москомархитектура, 1997. – 89 с.
4. Блохина Н.Б. Детские дошкольные учреждения. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
5. Номенклатура типов зданий, составы и площади помещений детских дошкольных учреждений и общеобразовательных школ (для типового проектирования на период 1981-1985 годы). – М.: ЦНИИЭП учебных зданий, 1981. – 27 с.
6. Ахаимова А.О. Принципы архитектурно-планировочных решений социально-реабилитационных центров (для детей и подростков). // Дисс. на соискание уч. степени канд. арх. – Киев, 2005. – 194 с.

Andrianova O.S. – post-graduate student, assistant
E-mail: olgandra@rambler.ru
Ulyanovsk State Technical University
The organization adress: 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venetz st., 32

The problem of building reconstruction, adapted for the social-rehabilitation institutions for children

Resume

In the modern world one of the pressing issues of social protection is the prevention of family problems and as a consequence, child abandonment. In the 90's of the 20th century in our country the first institutions for keeping children safe and providing services for social rehabilitation for children who have found themselves in a difficult situation began to appear. The main tasks of the social rehabilitation centers were emergency social assistance, harmonization of relations between parents and their children and getting a child back into his family.

Today the majority of such institutions are situated in special buildings of the typical kindergartens. Building fund reconstruction is explained by the economic efficiency but at the same time a number of problems in the sphere of functioning of the institution appear. Each social rehabilitation center should include a developed block of rooms for social rehabilitation. Among them: rooms for individual and group work with a psychologist, rooms for psychological relief for children, creative and professional workrooms, gyms, swimming pool and etc. These buildings do not allow to place all the necessary rooms on their area in full. Having a number of advantages, a planning system of the typical pre-school institution cannot meet the requirements of a planning system of the social rehabilitation center enough. This problem prevents full-scale rehabilitation process.

Keywords: social-rehabilitation center, child abandonment, reconstruction, adapted buildings, typical pre-school institution.

References

1. GOST R 52495-2005. Social service. Terms and definitions. – M.: Standartinform, 2006. – 12 p.
2. Recommendations on a system and types of the preschool institutions in cities – new buildings. – M.: CNIIEP of educational buildings , 1980. – 76 p.
3. Recommendations on reconstructions and modernization of preschool institution buildings. – M.: Moscomarhitectura, 1997. – 89 p.
4. Blohina N.B. Preschool institutions. – M.: Stroyizdat, 1974. – 192 p.
5. Nomenclature of building types, structure and area of pre-school institutions and comprehensive secondary schools (for standardized design for the period from 1981 till 1985). – M.: CNIIEP of educational buildings, 1981. – 27 p.
6. Ahaimova A.O. Principles of architectural-planning decisions of socially-rehabilitation centers (for neglected children and teenagers). // Diss. for receiving of cand. arch. degree. – Kiev, 2005. – 194 p.

УДК 351.811: 656.025.6:711.558:711.73
Загидуллин Р.Р. – аспирант
E-mail: r.r.zagidullin@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Территориально-транспортное планирование крупномасштабного спортивного мероприятия

Аннотация

Данная статья направлена на определение целей, задач, принципов транспортного обслуживания крупномасштабного спортивного мероприятия (КСМ) и создания эффективной системы транспортно-пассажирского комплекса (ТПК) для повышения качества транспортного обслуживания населения и гостей города, стимулирования экономического роста и привлекательности как экономического, делового, культурного, спортивного центра всероссийского и мирового масштаба в долгосрочной перспективе.

Развитие городских транспортных систем в условиях роста уровня автомобилизации, обеспечение спроса на передвижения населения и перевозки грузов требуют реализации взаимоувязанных и сбалансированных мер по развитию улично-дорожной сети и городского пассажирского транспорта, по автоматизированному управлению транспортными потоками и элементами транспортного комплекса и по организации дорожного движения.

Ключевые слова: крупномасштабное спортивное мероприятие, Универсиада, улично-дорожная сеть, городской пассажирский транспорт, пассажиропоток, организация дорожного движения, Казань.

В оптимизации планирования работы транспорта в период проведения Универсиады ведущую роль играет детальная и точная оценка перспективных нагрузок на транспортную систему. Именно параметры пиковой и средней прогнозной нагрузки на транспортную систему определяют потребности в ее реконструкции и развитии, требования к планировочным и иным характеристикам отдельных элементов, конструктивные особенности и другие показатели, в комплексе оказывающие решающее влияние на сроки модернизации транспортной системы и объемы ее ресурсного обеспечения.

Нагрузка на транспортную систему Казани в период Универсиады определяется численностью групп участников Универсиады и рядом специфических параметров, влияющих на пространственное и временное распределение пассажиропотоков.

На пространственное распределение пассажиропотоков влияние оказывают:

– расположение спортивных объектов, используемых в период Универсиады, и их мощности;

– характеристики системы расселения всех групп участников Универсиады;

– перспективная топология транспортных сетей;

– особенности организации движения автомобильного транспорта и пассажирского транспорта общего пользования.

На временное распределение пассажиропотоков влияние оказывают:

– расписание проведения мероприятий Универсиады;

– скорости передвижения по участкам транспортных сетей;

– специальные параметры, такие, как протяженности периодов завоза и вывоза различных групп пользователей транспортной системы и др.

В настоящем разделе на основе анализа перечисленных факторов выполнены оценки спроса на передвижения в период Универсиады и сформулированы основные принципы и пути его удовлетворения.

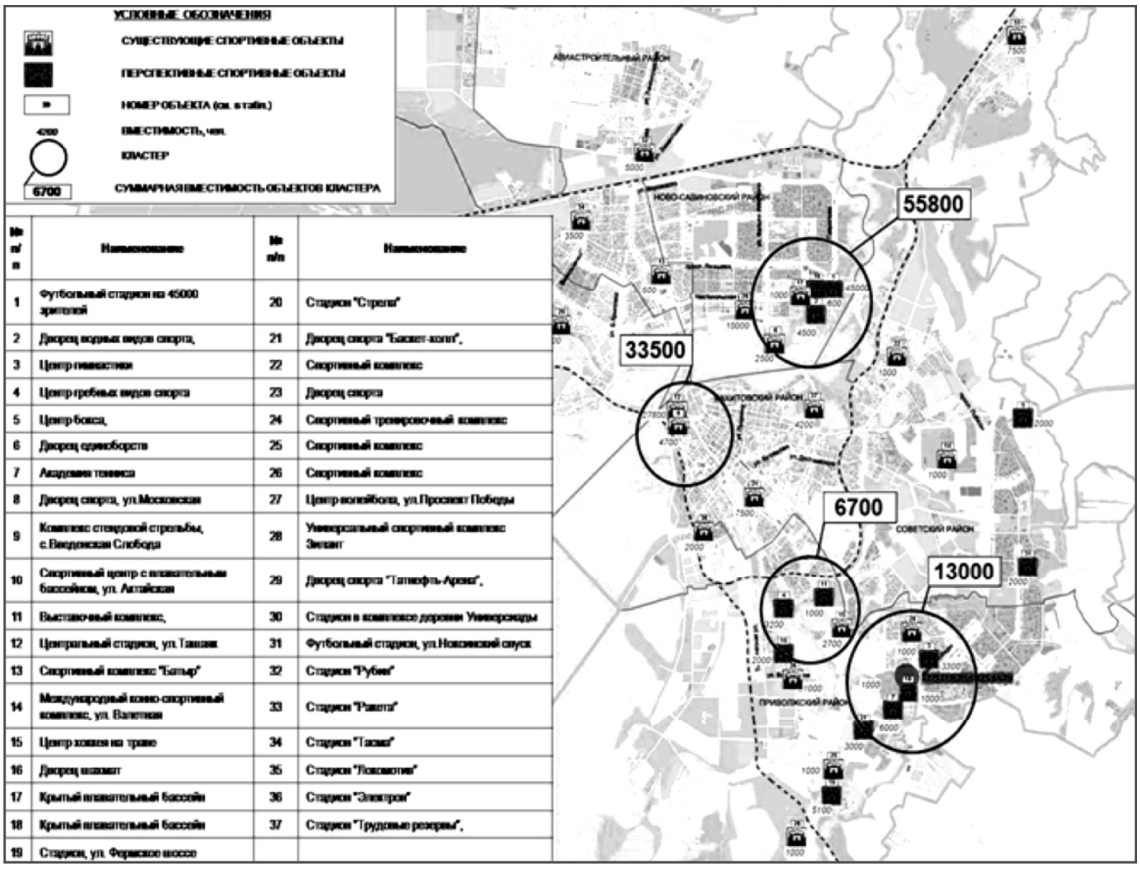
Схема расположения и вместимости спортивных объектов Универсиады

Общее количество спортивных объектов Универсиады составляет 64 единицы:

– 1 объект предусмотрен для открытия и закрытия Универсиады;

– на 26 объектах будут проводиться непосредственно соревнования Универсиады;
– на 10 объектах предусмотрены соревнования и тренировки спортсменов;
– на 27 объектах предусмотрено только проведение тренировок.

На рис. 1 представлена схема расположения спортивных объектов Универсиады.



№ п/п	Наименование	№ п/п	Наименование
1	Футбольный стадион на 45000 зрителей	20	Стадион "Стрела"
2	Дворец водных видов спорта,	21	Дворец спорта "Баскет-холл",
3	Центр гимнастики	22	Спортивный комплекс
4	Центр гребных видов спорта	23	Дворец спорта
5	Центр бокса,	24	Спортивный тренировочный комплекс
6	Дворец единоборств	25	Спортивный комплекс
7	Академия тенниса	26	Спортивный комплекс
8	Дворец спорта, ул.Московская	27	Центр волейбола, ул.Проспект Победы
9	Комплекс стендовой стрельбы, с.Введенская Слобода	28	Универсальный спортивный комплекс Зилант
10	Спортивный центр с плавательным бассейном, ул. Алтайская	29	Дворец спорта "Татнефть-Арена",
11	Выставочный комплекс,	30	Стадион в комплексе деревни Универсиады
12	Центральный стадион, ул.Ташаяк	31	Футбольный стадион, ул.Ноксинский спуск
13	Спортивный комплекс "Батыр"	32	Стадион "Рубин"
14	Международный конно-спортивный комплекс, ул. Валетная	33	Стадион "Ракета"
15	Центр хоккея на траве	34	Стадион "Таэма"
16	Дворец шахмат	35	Стадион "Локомотив"
17	Крытый плавательный бассейн	36	Стадион "Электрон"
18	Крытый плавательный бассейн	37	Стадион "Трудовые резервы",
19	Стадион, ул. Фермское шоссе		

Рис. 1. Схема расположения спортивных объектов для проведения соревнований с пространственным распределением по кластерам

На сегодняшний день в городе работает 31 спортивный объект вместимостью от 0,3 до 27,8 тыс. человек, в перспективе предполагается построить еще 33, в том числе футбольный стадион на 45 тыс. чел.

Пространственное распределение спортивных объектов Универсиады позволяет выделить 4 кластера:

– первый кластер включает в себя 4 спортивных объекта, общей мощностью 20,2 тыс. зрителей: Центр водных видов спорта, Дворец единоборств, Крытый плавательный бассейн, Дворец спорта «Татнефть Арена»; находится в Ново-Савиновском районе;

– второй кластер состоит из 7 спортивных объектов, общей мощностью 33,5 тыс. зрителей: Дворец спорта, спортивный комплекс «Центральный стадион», Дворец шахмат, крытый плавательный бассейн, спортивный комплекс «Баскет-холл», универсальный спортивный комплекс «Москва», стадион «Электрон»; находится в Вахитовском районе;

– третий кластер обозначен 5 спортивными объектами, общей мощностью 9,7 тыс. зрителей: Центр гребных видов спорта, Центр бокса, фехтовальный комплекс, Центр хоккея, универсальный спортивный комплекс; находится в Приволжском районе;

– четвертый кластер состоит из 3 спортивных объектов, общей мощностью 11 тыс. зрителей: Центр гимнастики, Казанская академия тенниса, универсальный спортивный комплекс; находится в Приволжском районе.

Открытие и закрытие Универсиады будет проводиться в Ново-Савиновском районе на Футбольном стадионе вместимостью 45 тыс. зрителей.

Остальные объекты Универсиады расположены дисперсно, их вместимость составляет от 0,5 до 10 тыс. чел. Наиболее значимыми из них являются:

– стадион «Локомотив», вместимостью 5 тыс. зрителей;

– конно-спортивный комплекс «Казань», вместимостью 7 тыс. зрителей;

– стадион «Рубин», вместимостью 10 тыс. зрителей;

– стадион «Ракета», вместимостью 10 тыс зрителей;

– стадион «Тасма», вместимостью 10 тыс. зрителей.

Все спортивные объекты расположены в черте города, кроме центра стендовой стрельбы, который расположен в с. Введенская Слобода на территории Верхнеуслонского района. Вместимость этого объекта составляет 0,5 тыс. зрителей.

Параметры системы расселения в период проведения Универсиады по группам пользователей

Нагрузка на транспортную систему в период Универсиады будет определяться:

– объемами движения временного населения, находящегося в городе в связи с проведением Универсиады;

– объемами движения постоянного населения, связанного с проведением игр (зрители, персонал, волонтеры);

– объемами движения постоянного населения, не связанного с проведением игр.

Расселение временного населения в целях расчета нагрузок на транспортную систему в период Универсиады необходимо прогнозировать с учетом его дифференциации на группы. Данная дифференциация должна выполняться с учетом:

– различий в требованиях к транспортному обслуживанию в период Универсиады,

– различий, учитывающих особенности формируемого группами пространственного распределения спроса на передвижения.

Нагрузка на транспортные связи зависит от количества представителей каждой группы, системы их расселения и структуры формируемого ими спроса на передвижения. Данные о количественных характеристиках каждой группы пользователей транспортной системы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Количественные характеристики групп пользователей транспортной системы в период Универсиады

Группа	Количество, чел.
Спортсмены и члены делегаций	15 000
Журналисты и представители СМИ	1 500
Зрители	100 000
VIP	1 100

Определение спроса на передвижения всех участников подготовки и проведения Универсиады и прогноз объемов транспортных потоков, обусловленных транспортным обслуживанием мероприятий Универсиады

Спрос на передвижения в период Универсиады, как было указано выше, определяется рядом факторов, среди которых решающее значение имеют расписание мероприятий Универсиады, численность групп пользователей транспортной системы,

размещение и характеристики объектов проведения мероприятий Универсиады, особенности требований к обслуживанию отдельных групп пользователей.

К параметрам пассажирской логистики, оказывающим решающее влияние на нагрузку на транспортную систему, относятся:

– используемый для перевозок каждой из групп пользователей вид транспорта и подвижной состав;

– параметры организации перевозок групп пользователей.

Виды транспорта и тип подвижного состава, используемые для перевозки всех групп пользователей, за исключением обслуживающего персонала, волонтеров и зрителей, а также участников выступлений на церемониях открытия и закрытия Универсиады, определяются требованиями FISU (Международной федерации университетского спорта). Сведения о видах транспорта, рекомендуемых для перевозки различных групп пользователей транспортной системы в период Универсиады, приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Виды транспорта для обслуживания групп пользователей транспортной системы Универсиады во внутригородских перевозках

Группа	Вид транспорта, процент заполнения			
	Пассажирский транспорт общего пользования	Автобус 50 мест	Автобус 12 мест	Легковой автомобиль
Спортсмены и представители делегаций	-	75 %	75 %	-
Журналисты и представители вещательных компаний	-	70 %	-	-
Представители FISU, VIP-гости	-	-	-	50 %
Зрители	100 %			
Персонал и волонтеры	100 %			

Анализ данных о количественных характеристиках групп пользователей показывает, что наиболее многочисленной группой пользователей являются зрители. Как видно из табл. 3, суммарное количество зрителей в период с 15 июля до 19 июля 2013 г. может превысить 100 тыс. человек.

Точное расписание соревнований в настоящее время не утверждено, но даже с учетом разнесения по времени соревнований в пределах одного дня пиковые часовые нагрузки, формируемые потоками зрителей, составляют не менее 5-8 тыс. зрителей.

При активном использовании зрителями личного транспорта они могут сформировать значительные (до 3-5 тыс. автомобилей в час) нагрузки на транспортную систему, потребовать обеспечения дополнительных парковочных мест в зонах проведения соревнований.

Пропуск таких потоков по улично-дорожной сети должен будет осуществляться одновременно с доставкой спортсменов и членов национальных делегаций, а также представителей VIP-контингента и средств массовой информации. Данные группы пользователей имеют значительную численность и должны пользоваться приоритетом в транспортном обслуживании.

Таблица 3

Распределение программы XXVII Всемирной летней Универсиады 2013 по дням

Мероприятия	Вместимость спортивных объектов, на которых будут проходить соревнования по дням, тыс. чел.										
	13 июля	14 июля	15 июля	16 июля	17 июля	18 июля	19 июля	20 июля	21 июля	22 июля	23 июля
Открытие	45,0										
Баскетбол (мужчины)	7,5	7,5	7,5		7,5	7,5	7,5		7,5	7,5	
Баскетбол (женщины)	7,5	7,5	7,5		7,5	7,5		7,5			
Водное поло (мужчины)			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		
Водное поло (женщины)				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Волейбол (мужчины)		10,0	10,0	10,0		10,0	10,0	10,0		10,0	10,0
Волейбол (женщины)		10,0	10,0	10,0		10,0	10,0		10,0		
Дзюдо		4,2	4,2	4,2	4,2						
Легкая атлетика		27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8				
Настольный теннис					4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	
Плавание				5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		
Подводное плавание				5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		
Художественная гимнастика		4,0	4,0	4,0	4,0						
Теннис		6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Фехтование		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0				
Футбол (мужчины)	10,0		10,0		10,0		10,0		10,0		10,0
Футбол (женщины)		10,0		10,0		10,0		10,0		10,0	
Спортивная гимнастика							4,0	4,0	4,0		
Бокс	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0				
Борьба (мужчины)							4,2	4,2			
Борьба (женщины)							4,2	4,2			
BMX			3,0	3,0	3,0						
Каноэ					3,0	3,0	3,0	3,0			
Пляжный волейбол (мужчины)			7,0	7,0		7,0	7,0				
Пляжный волейбол (женщины)			7,0	7,0		7,0	7,0				
Стрельба		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
Подъем веса			0,5	0,5	0,5	0,5					
Хоккей (мужчины)	2,7	2,7		2,7	2,7		2,7	2,7		2,7	
Хоккей (женщины)	2,7	2,7		2,7	2,7		2,7	2,7		2,7	
Закрытие											45,0
Итого, тыс. чел.	77,4	95,9	109,0	110,4	99,1	116,5	125,8	71,0	53,2	43,6	65,0

В то же время, как показывает анализ объемов движения транспортных потоков и прогноз их перераспределения с учетом реализации мероприятий по развитию улично-дорожной сети, резерв ее пропускной способности на участках, обслуживающих маршруты подъезда к объектам Универсиады, не превышает 300-800 приведенных автомобилей в час. Данный резерв может обеспечить пропуск транспорта приоритетных групп участников Универсиады, но не пассажиропотоков зрителей, передвигающихся на личном транспорте.

Таким образом, приоритетным видом транспорта для обслуживания зрительского контингента должен стать пассажирский транспорт общего пользования. При этом особое внимание должно уделяться видам транспорта, обеспечивающим движение в скоростном и ускоренном режиме и характеризующимся высокой провозной способностью: метрополитену, железной дороге, трамваю.

Система городского пассажирского транспорта общего пользования г. Казани представлена четырьмя основными видами: метрополитеном, трамваем, троллейбусом и автобусом. Их работу реализуют 14 транспортных предприятий различных форм собственности:

– на автобусном транспорте работает 13 перевозчиков, в том числе одно муниципальное унитарное предприятие;

– на электротранспорте, включая метрополитен – муниципальное унитарное предприятие «Метроэлектротранс».

Суммарные объемы перевозок на всех видах городского пассажирского транспорта составили около 320 млн. пасс. за 2008 год, что на 7,6 % меньше, чем в 2007 году. В целом, в результате существенного изменения маршрутной сети городского пассажирского транспорта за последние годы (2007-2009 гг.) произошло перераспределение пассажиров с одного вида пассажирского транспорта на другой. В результате сокращения транспортной сети трамвая объемы перевозок на нем снизились на 14 % по отношению к 2007 году, при этом в связи со строительством новых участков транспортной сети троллейбуса произошло увеличение объемов перевозок на троллейбусном транспорте на 16 %. На метрополитене произошел рост объемов перевозок на 12 %, обусловленный вводом в строй новой станции «Парк Победы» в спальном районе города,. Данные об объемах перевозок по видам городского пассажирского транспорта представлены в табл. 4.

Таблица 4

Объемы перевозок по видам городского пассажирского транспорта

Год	Объем перевозок, тыс. пасс/год					
	Автобус муниципалный	Автобус коммерческий	Трамвай	Троллейбус	Метро-политен	Итого
2008	84 938	152 660	33 894	40 827	7 649	319 968
2007	61 564	198 436	40 898	38 475	6 878	346 251
2006	220 083		30 519	27 336	5 000	282 938

Данные таблицы показывают тенденцию увеличения объемов перевозок за последние годы (2007-2009 гг.) по отношению к 2006, что связано, в первую очередь, с постоянной работой Комитета по транспорту Исполнительного комитета муниципального образования г. Казани над усовершенствованием маршрутной сети городского пассажирского транспорта, повышением качества обслуживания пассажиров, строительством новых участков транспортной сети, организацией выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта.

В 2007 г. была внедрена новая маршрутная сеть пассажирского транспорта. При этом основные изменения коснулись маршрутной сети автобусного транспорта: было сокращено на 36 % количество автобусных маршрутов, на 52 % – их протяженность и на 55 % – их плотность. Результатом работы стало снижение в 3 раза уровня дублирования маршрутной сети на основных магистралях города (рис. 2). В 2008 году по обращениям жителей города часть маршрутов автобусного транспорта была продлена, что позволило снизить количество пересадок. Это стало одной из причин сокращения на 8,6 % суммарных объемов перевозок на автобусном транспорте в 2008 г. по отношению к 2007 г. (табл. 4).

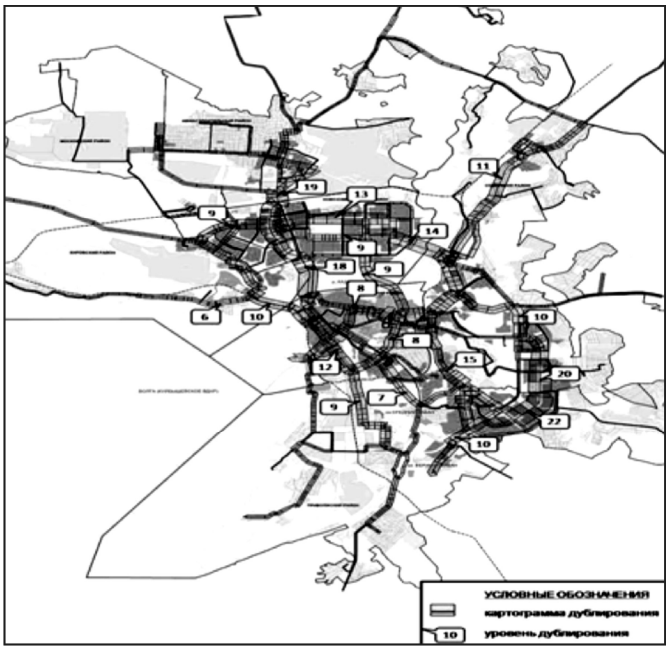


Рис. 2. Картограмма дублирования существующей маршрутной сети

Целями транспортного обслуживания Универсиады 2013 года являются:

- обеспечение надежного и безопасного транспортного обслуживания всех участников Универсиады с качеством, соответствующим стандартам и требованиям FISU, а в идеале – превышающим эти требования;
- обеспечение эффективного расходования средств бюджетов всех уровней на подготовку и проведение Универсиады в части транспортного обеспечения при условии соблюдения оптимального соотношения между затратами на организацию и проведение транспортного обслуживания и его качеством, надежностью и безопасностью;
- обеспечение в период проведения Универсиады устойчивого функционирования всей транспортной системы города, в том числе и не задействованной в обслуживании Универсиады;
- обеспечение реализации принципа наследия: все объекты как спортивной, так и транспортной инфраструктуры должны эффективно использоваться в долгосрочной перспективе.

Основными принципами, обеспечивающими достижение этих целей, являются:

- социально-экономическая обоснованность принимаемых решений по развитию транспортной инфраструктуры, включая инфраструктуру городского пассажирского транспорта и улично-дорожную сеть;
- плановая реализация мероприятий по подготовке транспортного обслуживания Универсиады в соответствии с разработанными и утвержденными программными документами;
- ориентация на пассажирский транспорт общего пользования для обслуживания массовых пассажирских перевозок в период проведения Универсиады.

Достижение перечисленных целей требует решения комплекса взаимоувязанных задач, направленных на обеспечение транспортных процессов в период проведения Универсиады.

Комплекс задач, направленных на обеспечение транспортных процессов в период проведения Универсиады 2013 года, включает:

- задачи планирования транспортного обеспечения в период проведения Универсиады;
- задачи инфраструктурного и ресурсного обеспечения транспортных процессов в период проведения Универсиады;
- задачи организации транспортного обслуживания и управления пассажирскими перевозками в период проведения Универсиады;
- задачи организации движения и его регулирования в период проведения Универсиады;
- задачи информационного обеспечения транспортных процессов в период проведения Универсиады.

Список литературы

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Перевод с английского Коваленко Е.Г. и Шермана Г.Д. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
3. Черепанов В.А. Транспорт в планировке городов: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 216 с.

Zagidullin R.R. – post-graduated student
E-mail: r.r.zagidullin@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Territorial and transport planning of large-scale sporting events

Resume

Development of urban transport systems under the conditions of automobilization level increasing, as well as providing of demand for population movement and cargo transportation requires the implementation of interconnected and balanced measures on developing of the road network and urban passenger transport, on automated management of traffic and elements of the transport system and on traffic management. Only the implementation of such a set of measures allows the modern cities to avoid traffic jams, characterized by permanent congestions leading to limitation of population mobility, efficiency of the social and economic system, as well as low levels of ecological safety of the urban environment.

The aim of the present work is to define goals, issues, principles and the ways of development of the city transport complex, directed to solving the problem of an effective public transport service, and as well as formation of the transportation system corresponding with the needs of the city that will combine the road infrastructure and public transport infrastructure of common use.

The particular importance and relevance of the development of the transport complex in Kazan makes the need for efficient, high-quality and safe transportation support of the large-scale sporting event, the XXVIIth World Summer Universiade, comparable in scale only to the Olympic Games, scheduled for summer 2013.

Keywords: large-scale sporting event, Universiade, street and road network, urban public passenger transport, passenger, traffic management, Kazan.

References

1. Drew D. The theory of traffic flow and management. Translated from English by Kovalenko E.G. and Sherman G.D. – M.: Transport, 1972. – 424 p.
2. Lobanov E.M. Transport urban planning: A textbook for university students. – M.: Transport, 1990. – 240 p.
3. Cherepanov V.A. Transport in urban planning: A textbook for high schools. 2-nd ed., Revised. And extra. – M.: Stroiizdat, 1981. – 216 p.

УДК 712.25
Закирова Ю.А. – кандидат архитектуры, ассистент
E-mail: jzakirova@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Формирование моделей-прототипов общественных пешеходных пространств

Аннотация
Для создания общественных пешеходных пространств в центральной исторической части города необходимо выработать функционально-пространственные модели разных типов общественных пешеходных пространств. Каждая модель имеет свою структуру, которая определяется следующими подсистемами: 1) рекомендуемые пространственно-планировочные параметры; 2) рекомендуемые деятельностные характеристики; 3) параметрические модели организации общественного пешеходного пространства; 4) типологические рекомендации, обусловленные особым статусом, типом общественного пространства, спецификой протекающих в нем функциональных процессов.
Ключевые слова: формирование, центральная историческая часть города, модель, общественное пешеходное пространство.

Для большинства крупных городов России сегодня характерными признаками являются высокий уровень автомобилизации, неблагоприятная экологическая обстановка, низкое качество городской архитектурной среды, необустроенность пешеходных пространств, отсутствие комфортных общественных пространств. Несмотря на это, происходящие сейчас в городах социально-экономические, культурные преобразования повысили активность общественной жизни городов, и, как следствие этого, возросла потребность в безопасных общественных пешеходных пространствах.

В отечественной теории архитектуры проводились исследования, посвященные организации движения пешеходов и формированию в городах пешеходных зон. Большинство этих работ опираются на градостроительный опыт советского и постсоветского времени. В настоящее время с переходом от централизованного планирования и распределения ресурсов к рыночным отношениям, с принятием в 2001 г. Земельного кодекса (№ 257-ФЗ) и в 2004 г. Градостроительного кодекса (№ 190-ФЗ), появлением рынка недвижимости в России произошли и происходят значительные экономические, социальные, градостроительные преобразования [1, 2]. Изменилась система финансирования, усилилось социальное расслоение общества, интенсивнее протекают инновационные процессы, меняется архитектурный облик, совершенствуется система управления городом. Законодательно закрепилась территориальная самостоятельность и местное самоуправление. Контроль над распределением и потреблением городских ресурсов теперь полностью обеспечивается городскими властями. В связи с этим необходима новая методическая и нормативная база для формирования в городах в целом и в историческом центре в частности системы общественных пешеходных пространств.

Системный целевой подход к созданию комфортных пешеходных пространств можно проследить лишь в столичных городах. В основном же практический опыт представлен как бессистемная, стихийная деятельность по созданию разнохарактерных, фрагментарных пешеходных пространств. Все это является следствием отсутствия у муниципальных органов власти нормативов и стандартов, отработанных организационно-правовых и архитектурно-градостроительных методик по созданию в городах комфортных общественных пространств. Для создания общественных пешеходных пространств в центральной исторической части города необходимо выработать единую модель (или ряд моделей), которая будет выступать прототипом (образцом-«каноном») функционально-планировочной организации общественного пешеходного пространства.

Модели разрабатываются градостроителями, архитекторами, дизайнерами и, с одной стороны, имеют рекомендательный характер (нормирующий и просвещающий), с другой стороны – регламентирующий.

Такая функционально-пространственная модель («паттерн») имеет структуру, которая определяется следующими подсистемами:

1. Рекомендуемые пространственно-планировочные параметры общественных пешеходных зон (площадь, протяженность территорий пешеходных зон, геометрические размеры отдельных элементов) – подсистема универсального характера.

В качестве примера можно рассмотреть рекомендуемые пространственно-планировочные параметры общественных пешеходных зон, предназначенных для прогулочного движения:

- общая площадь пешеходной прогулочной зоны может составлять 14-30 га;
- основным модулем при построении пространства принимается 250 м;
- рекомендуемые расстояния для пешеходного прогулочного движения в центре города составляют: 1) дальность находится в довольно широких границах – от 200-300 м до 1500-2000 м; 2) протяженность перехода между наиболее удаленными друг от друга объектами не должна превышать 400 м; 3) длина перехода из любой точки до ближайшей площадки временного хранения автомобилей не должна превышать 400 м, до общественного туалета – 150 м;
- рекомендуемые параметры отдельных элементов ППП – улицы, площади, бульвара, сквера (оптимальная длина улицы для прогулочных передвижений – 800-1200 м; ширина не должна превышать 25-30 м, оптимальная ширина – 12-20 м, пропорции сечения улицы – 1:2, рекомендуемая высота зданий в историческом центре города не более 15 м (5 этажей) и т.д.) [3, 4].

2. Рекомендуемые деятельностные характеристики общественных пешеходных пространств (плотность движения пешеходов; интенсивность использования территории; проницаемость; доля застройки общественного назначения) – подсистема универсального характера.

Например, рекомендуемые деятельностные характеристики общественных пешеходных зон, предназначенных для прогулочного движения, следующие:

- плотность движения пешеходов – от 0,1 до 0,3 чел./м^2 (3,3-10 м^2 /чел.);
- интенсивность использования территории застроенных частей кварталов – не менее 30 тыс. м^2/га плотности застройки и 50 % застроенности территории; суммарная емкость фонда застройки – не менее 100 тыс. м^2;
- проницаемость, открытость для горожан – не менее 70 % внутриквартальных территорий;
- общественное назначение первых этажей зданий, выходящих на улицы и переулки – не менее 25 % площадей;
- доля застройки общественного назначения составляет не менее 50-70 % суммарной поэтажной площади всей застройки прогулочных пространств, сохранение жилой функции не менее чем в 25-30 % фонда застройки;
- застройка уличного фронта должна иметь суммарную протяженность интервалов между зданиями не более 25 %. Входы в общественные объекты (учреждения обслуживания, торговли, культуры) на основном пешеходном уровне должны располагаться с частотой не реже, чем через 15 метров (не менее 5 на каждые 100 м уличного фронта) и т.д. [3, 4].

3. Параметрические модели организации общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (функциональная, транспортная, архитектурно-художественная, социальная, ландшафтно-экологическая параметрические модели) – подсистема универсального характера:

- параметрическая модель функциональной организации общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (расширение общественных функций на территории пешеходной зоны в центре города; решение

первых этажей зданий и сооружений, выходящих на уличный фронт; вынесение промпредприятий, нарушающих экологичность среды, с территории исторического центра города; система отступов; оборудование мест отдыха; размещение объектов мелкорозничной торговли и летних кафе; выполнение санитарно-гигиенических требований и ряд других рекомендаций);

- параметрическая модель организации транспортного обслуживания общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (интеграция каркаса пешеходного прогулочного движения с транспортной системой; внедрение мер регулирования дорожного движения на территориях, отведенных под создание общественных пешеходных зон и ряд других рекомендаций);
- архитектурно-художественная параметрическая модель создания общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (формирование активного образа территории общественного пешеходного пространства в центре города; общие рекомендации к городскому дизайну среды: уличному оборудованию, архитектурным деталям и малым формам благоустройства, колористическому и световому решению и ряд других рекомендаций);
- социальная параметрическая модель создания общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (учет неоднородности посетителей исторического центра города; создание своеобразной масштабной шкалы при моделировании городской среды для пешеходного движения);
- ландшафтно-экологическая параметрическая модель создания общественного пешеходного пространства в центральной исторической части города (сочетание зданий, озеленения и открытого пространства; восстановление и поддержание оптимального баланса между озелененными и замощенными поверхностями, сохранение целостности городского ландшафта; планировочные параметры озелененных участков; рекомендации по покрытию, зеленым насаждениям; организация уборки и ряд других рекомендаций).

В качестве примера можно рассмотреть разработанную параметрическую модель функциональной организации общественных пешеходных зон, предназначенных для прогулочного движения (рис. 1).

4. Типологические рекомендации по формированию общественного пешеходного пространства в историческом центре города, обусловленные особым статусом, типом общественного пространства, спецификой протекающих в нем функциональных процессов («шопинг», развлечения, социальные контакты, культурное просвещение, рекреация).

В качестве примера можно рассмотреть рекомендуемые пространственно-планировочные параметры общественных пешеходных зон, предназначенных для прогулочного движения с сопутствующей функцией «шопинга» (рис. 2).

На сегодняшний день регламентирующей основой, в рамках которой в городе можно проектировать и осуществлять различные по масштабам и срокам проекты планировки, являются «Правила землепользования и застройки», вследствие чего разработанная модель должна найти отражение именно в данном нормативном документе. Причем при введении «Правил землепользования и застройки» необходимо активно использовать двухстадийность введения регламентов – на первой стадии параметры строительства устанавливаются для стандартных зон, предусмотренных Градостроительным кодексом РФ (№190-ФЗ). При создании системы общественных пешеходных пространств на основе регламентов, установленных на первой стадии, учитываются особенности их реализации в центральной исторической части города в условиях реконструкции. Регламенты, вводимые на второй стадии с помощью проектов планировки, учитывают особенности функционирования, организации общественных пешеходных пространств, устанавливают дополнительные виды разрешенного использования, уточняют границы зон, корректируют параметры разрешенного использования территории. Именно регламенты, внедряемые позже, должны базироваться на разработанных моделях-прототипах.

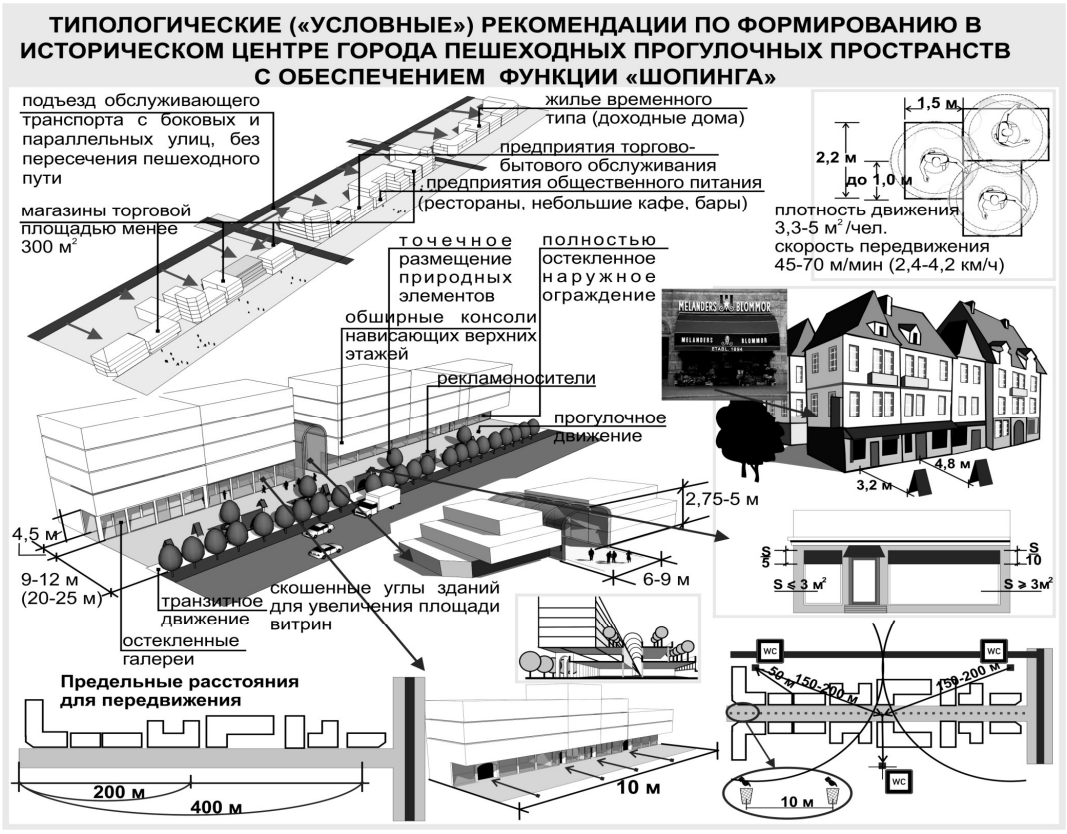

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ («УСЛОВНЫЕ») РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ГОРОДА ПЕШЕХОДНЫХ ПРОГУЛОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ФУНКЦИИ «ШОПИНГА»
подъезд обслуживающего транспорта с боковых и параллельных улиц, без пересечения пешеходного пути
магазины торговой площадью менее 300 м²
жилье временного типа (доходные дома)
предприятия торгово-бытового обслуживания
предприятия общественного питания (рестораны, небольшие кафе, бары)
точечное размещение природных элементов
полностью остекленное наружное ограждение
обширные консоли нависающих верхних этажей
рекламоносители
прогулочное движение
транзитное движение
скошенные углы зданий для увеличения площади витрин
остекленные галереи
1,5 м
2,2 м
до 1,0 м
плотность движения 3,3-5 м²/чел.
скорость передвижения 45-70 м/мин (2,4-4,2 км/ч)
4,8 м
3,2 м
2,75-5 м
4,5 м
9-12 м (20-25 м)
6-9 м
S ≤ 3 м²
S ≥ 3м²
Предельные расстояния для передвижения
200 м
400 м
10 м
50 м
150-200 м
150-200 м
WC

Рис. 1.

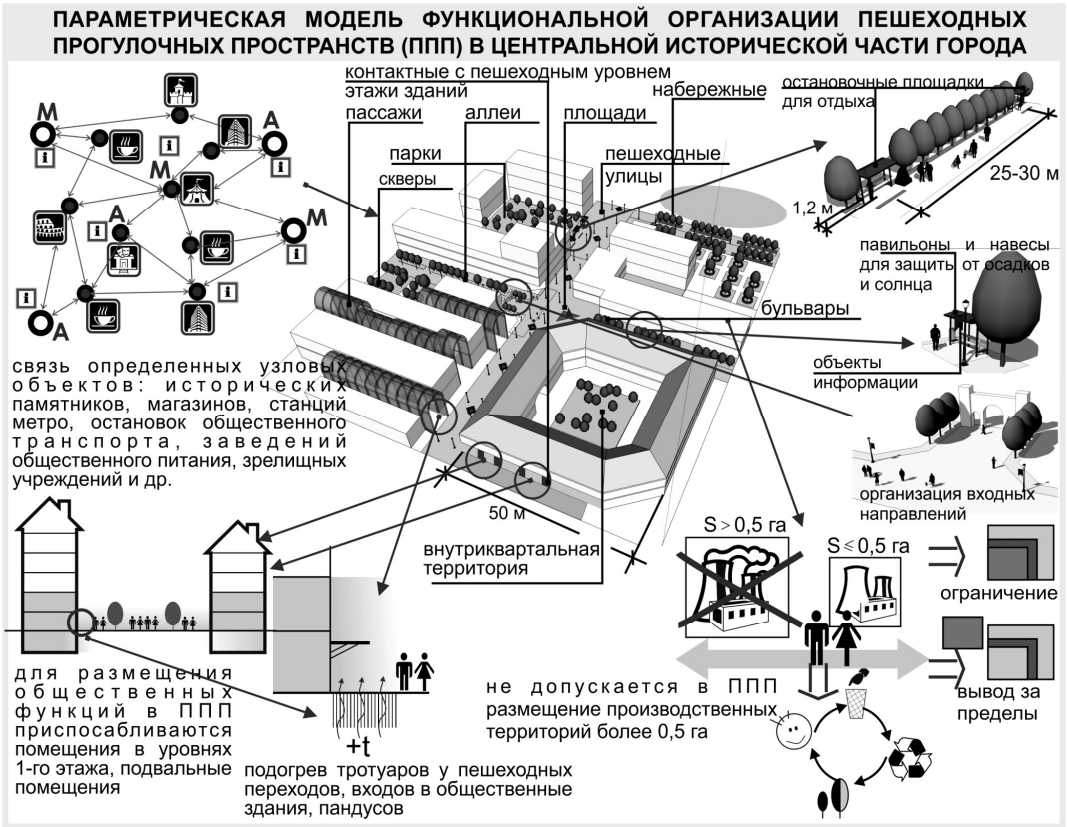

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕШЕХОДНЫХ ПРОГУЛОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ (ППП) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГОРОДА
контактные с пешеходным уровнем этажи зданий
набережные
пассажи
аллеи
площади
парки
скверы
пешеходные улицы
остановочные площадки для отдыха
25-30 м
1,2 м
павильоны и навесы для защиты от осадков и солнца
бульвары
объекты информации
организация входных направлений
связь определенных узловых объектов: исторических памятников, магазинов, станций метро, остановок общественного транспорта, заведений общественного питания, зрелищных учреждений и др.
50 м
внутриквартальная территория
S > 0,5 га
S ≤ 0,5 га
ограничение
вывод за пределы
для размещения общественных функций в ППП приспосабливаются помещения в уровнях 1-го этажа, подвальные помещения
+t
подогрев тротуаров у пешеходных переходов, входов в общественные здания, пандусов
не допускается в ППП размещение производственных территорий более 0,5 га

Рис. 2.

Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации, 2004 (№ 190-ФЗ).
2. Земельный кодекс РФ. – М.: Проспект, 2008. – 112 с.
3. Крашенинников А.В. Градостроительное развитие жилой застройки: исследование опыта западных стран: учебн. пособие. – М.: Архитектура-С, 2005. – 112 с.
4. Дайджест документа: МГСН 1.01-98 Часть 2. Временные нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы.
5. Крашенинников А.В. Градостроительная интервенция в центре Ливерпуля: новые эффективные технологии формирования городского ландшафта // Архитектурный Вестник, 2008, № 5 (104). – С. 3-9.

Zakirova J.A. – candidate of the architecture, assistant
E-mail: jzakirova@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Formation of models-prototypes of public pedestrian spaces

Resume

To create a public pedestrian spaces in the central historic district it is necessary develop a single model (or several models), which will act as a prototype (model, «the canon»), functional and planning organization of public pedestrian spaces. Models developed by city planners, architects, designers, and one side are advisory in nature (normalizing and enlightening), on the other hand which regulates.

Each model has it's own structure which is defined by following subsystems: 1) spatial and layout parameters recommended; 2) characteristics of activities recommended; 3) parametric models of the public pedestrian spaces organization; 4) typological recommendations caused by the special status, type of public space, specific character of functional processes progressing in it.

To date, the regulatory frameworks within which the city can design and implement a variety of time-bound project plan are the «Land Use and Development Regulations». The result is that the model developed should be reflected in this particular regulatory document. And with the introduction of «Rules of Land Use and Development» it is necessary to use actively the two-stage introduction of regulations. In the first stage of building parameters are set for standard zones under Town Planning Code of the Russian Federation. Regulations imposed by the second stage, take into account the peculiarities of functioning, organization of public pedestrian spaces, establish special types of permitted uses, specify the boundaries of the zones, adjusting the parameters of permitted land use.

Keywords: formation, the central historic part of a city, model, public pedestrian space.

References

1. Urban Development Code of the Russian Federation 2004 (№ 190-FL).
2. The Land Code of the Russian Federation. – M.: Prospect, 2008. – 112 p.
3. Krasheninnikov A.V. Urban development of residential buildings: a study of experience of Western countries: teaching. Manual. – M.: Architecture-S, 2005. – 112 p.
4. Digest of the document: MGSN 1.01-98 Part 2. Time norms and standards for design planning and construction in Moscow.
5. Krasheninnikov A.V. Town-planning intervention in the heart of Liverpool: new efficient technologies forming the urban landscape // Arkhitecturniy Vestnik, 2008, № 5 (104). – P. 3-9.

УДК624.012
Ахметзянов Ф.Х. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: ahunor@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К вопросу о влиянии шероховатости поверхности бетона на повреждаемость строительных элементов

Аннотация
Задача включает две части. В первой – описан алгоритм определения вероятностных характеристик случайного поля шероховатости поверхности бетона: среднего значения и корреляционной функции. Во второй части по известным вероятностным характеристикам ординат шероховатости вычисляются вероятностные характеристики тензора напряжений для плоского напряженного состояния, а также дисперсия напряжений и коэффициент концентрации напряжений. Для второй части использовано решение Пальмова В.А. для машиностроительных элементов.
Ключевые слова: шероховатость, корреляционная функция, случайная функция, концентрация напряжений, трещина (повреждаемость).

Реальная поверхность строительных элементов никогда не бывает абсолютно гладкой, а всегда имеет неровности, образующие шероховатость.

Под шероховатостью поверхности понимается совокупность неровностей, располагаемых в пределах рассматриваемого участка. Шероховатость будем отличать от отклонения формы. Различие между ними видно на рис. 1. Первая – местное (локальное) отклонение в близких друг от друга поперечных сечениях элемента, а отклонение формы – различие в отметках осредненной поверхности на значительном, например, не менее характерного размера, расстоянии между поперечными сечениями.

Далее рассматриваем только шероховатость.

Шероховатость и ее влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя материала достаточно детально исследованы в машиностроительных изделиях из металла и сплавов в противоположность строительным элементам из бетона и железобетона [2, 3, 4], для которых не встречены статьи в технической литературе.

Известно, что изменение размеров, геометрии поперечного сечения вызывает концентрацию напряжений. В экспериментальных испытаниях образцов из бетона и железобетона при кратковременных и продолжительных нагружениях трещины возникают в поверхностном слое при статическом, динамическом и знакопеременном нагружении [5, 9].

Наличие подъемов и впадин на поверхности материала не позволяет произвести передачу нагрузки равномерно и полностью на всей поверхности элемента. Поэтому, естественно, напряжения возрастают при передаче пропорционально коэффициенту К, равному отношению геометрической площади поверхности А, К площади за вычетом впадин $A_в$:

$$К= A/(A-A_в) = 1/(1 - A_в/A) = 1/(1 – К_в) \quad (1)$$

$$0 \le К_в \le 1 \quad (2)$$

Сопроматовские напряжения (в упругой области работы материала) σ^e будут равны:

$$\sigma^e = (q/A)\cdot К \quad (3)$$

где q – нагрузка; А – площадь нагружения поверхности бетона.

Кроме этого, при эксцентричном расположении центра тяжести всех впадин относительно геометрического центра тяжести поверхности с нагрузкой $\ell_{сл}$ возникает изгибающий момент:

$$M_q = N \cdot \ell_{сл} \quad (4)$$

Шероховатость влияет на следующие эксплуатационные свойства поверхностных слоев материала:

1. Концентрацию напряжений и прочность, трещиностойкость материала;
2. Обтекаемость жидкостями и газами;
3. Запыляемость поверхностей;
4. Прочность и качество покрытия;
5. Коррозионную стойкость;
6. Отражение электромагнитных волн от поверхности;
7. Износ, повреждаемость поверхностей материала.

Оценку шероховатости поверхности бетонных и железобетонных изделий рационально производить по стандартным числовым параметрам, аналогично изделиям в машиностроении для металлических изделий [7]:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии в пределах ℓ (рис. 2, 3);

R_2 – высота неровностей профиля (среднее расстояние между пятью высшими и пятью низшими точками профиля в пределах длины ℓ), определяемые по формулам:

$$R_a = 1/\ell \int_o^{\ell} |\gamma| dx \approx \Sigma^h |\gamma|/h \quad (5)$$

$$R_2 = [\Sigma^5_{r=1} h_{imax} - \Sigma^5_{r=1} h_{imin}]/5 \quad (6)$$

(Профиль – кривая, полученная в сечении шероховатой поверхности плоскостью, перпендикулярной к ней).

Совокупность впадин и выпуклостей поверхности элемента представляет статистическую случайную функцию с определенным законом распределения.

Впадины и выпуклости на поверхности представляют отклонения от среднего значения. В поперечном сечении со впадиной сопротивляемость нагружению на определенную величину, естественно, ниже сопротивляемости в сечении с выпуклостью. То есть отклонения будут зависеть от перепада локальных значений поверхности (шероховатости).

Шероховатость имеют и поверхности трещин в бетонных и железобетонных элементах. Кроме этого, при измерениях раскрытия трещин на поверхности бетона элемента явно прослеживается случайная составляющая.

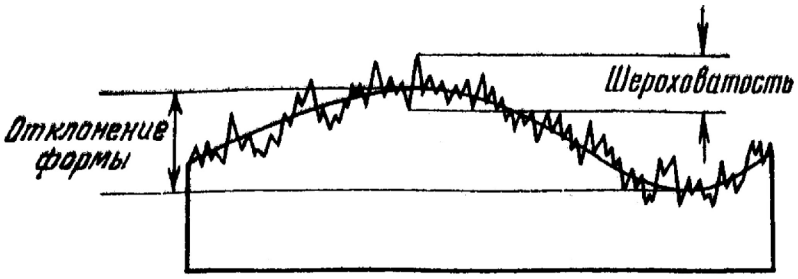


Рис. 1. Различие между отклонением формы и шероховатостью

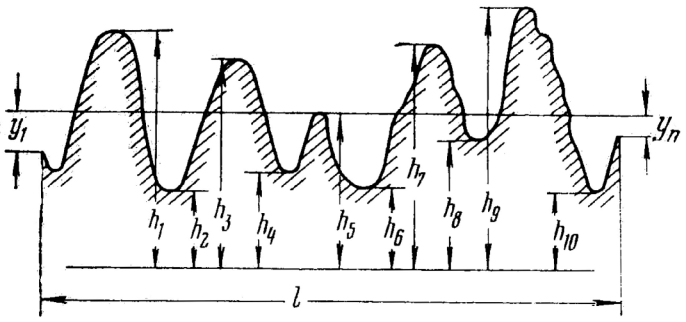


Рис. 2. Профиль поверхности

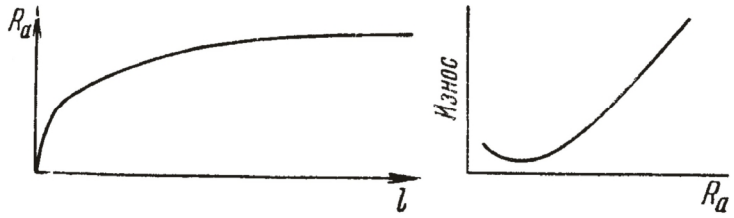


Рис. 3. Изменение параметра R_a с увеличением длины l

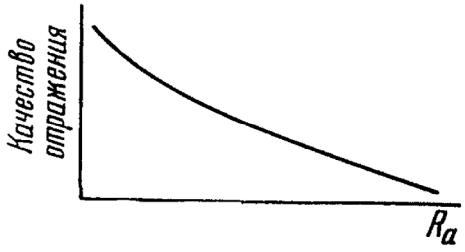


Рис. 4. Влияние параметра R_a на эксплуатационные свойства поверхности

Композиционная модель шероховатости, исходящая из разделения причин неровностей на поверхности строительных элементов на детерминированную (определенную) периодическую основу и налагающуюся на нее случайную компоненту, позволяет принципиально использовать аппарат случайных функций для обработки и определения параметров компонент. Характер периодичности определяется технологическими факторами: составом; удобоукладываемостью; уплотнением бетонной смеси.

Понятие детерминированной составляющей можно свести к периодической составляющей со случайной фазой [6] (рис. 5).

В практическом приложении для описания случайного процесса шероховатости поверхности бетона строительных элементов нужно определять среднее значение случайной функции X (ℓ) и ее корреляционную функцию K (ℓ).

Для определения корреляционной функции исходим из предпосылки стационарности случайной функции (независимости среднего значения от ℓ), что практически выполняется (например, поверхности перекрытий, покрытий, наружных и внутренних стен стараются выполнять ровными). Стационарная корреляционная функция зависит лишь от разности аргументов, т.е.:

$$K(\ell_1 \cdot \ell_2) = K(\ell_2 - \ell_1). \quad (7)$$

По исследованиям автора, случайные функции на поверхности железобетонных панелей жилых домов (например для раскрытия трещин) имеют стационарные участки с корреляционными функциями вида, показанного на рис. 6 [7]:

$$K(\ell) = \ell^{-\alpha|\ell|} \cdot \cos\beta\ell, \quad (8)$$

где ℓ – длина интервала по рассматриваемому участку поверхности элемента.

По теореме Биркгофа-Хинчина корреляционная функция непрерывного случайного процесса может быть представлена в виде интеграла:

$$K(\ell) = \int \ell^{i\lambda\ell} \cdot dF(\lambda), \quad (9)$$

где F (λ) – вещественная, неубывающая ограниченная функция, называемая спектральной функцией процесса x(ℓ).

Если известна корреляционная функция K(ℓ), то производная от спектральной функции S(λ) находится по формуле обращения интегралов Фурье:

$$S(\lambda) = 1/2\pi \int_{\infty} \ell^{i\lambda\ell} \cdot K(\ell)d\ell \quad (10)$$

Спектральные представления случайных функций дают возможность аппроксимировать случайные процессы линейными комбинациями гармоник вида

$$\Sigma X_K \ell^{i\lambda к} к^{\ell}, \quad (11)$$

где X_K – попарно некоррелированные случайные величины, а $\lambda_к$ – вещественные числа. Точность аппроксимации зависит от числа h слагаемых в сумме [6].

Коэффициент концентрации напряжений на шероховатой поверхности упругого тела

Выше были изложены соображения, что шероховатость поверхности бетона можно рассматривать как реализацию случайной функции профиля поверхности строительного элемента. Экстремальные значения шероховатости можно рассматривать как выбросы случайной функции, теория которых разработана и использовалась в практических приложениях [8]. В случаях гаусовского процесса решение задачи упрощается. При этом в технической литературе приводятся примеры близости к нормальному закону распределения как деформативных, так и прочностных характеристик бетона (рис. 7).

Напряжения от нагрузки с учетом шероховатости можно рассматривать как отклонения от напряжений σ на поверхности с осредненной отметкой (с положительным или отрицательным пригрешением напряжения σ ±Δσ.

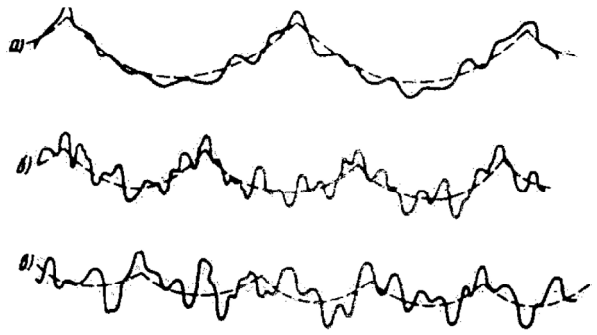


Рис. 5. Влияние технологических факторов
на соотношение детерминированной и случайной составляющей профиля

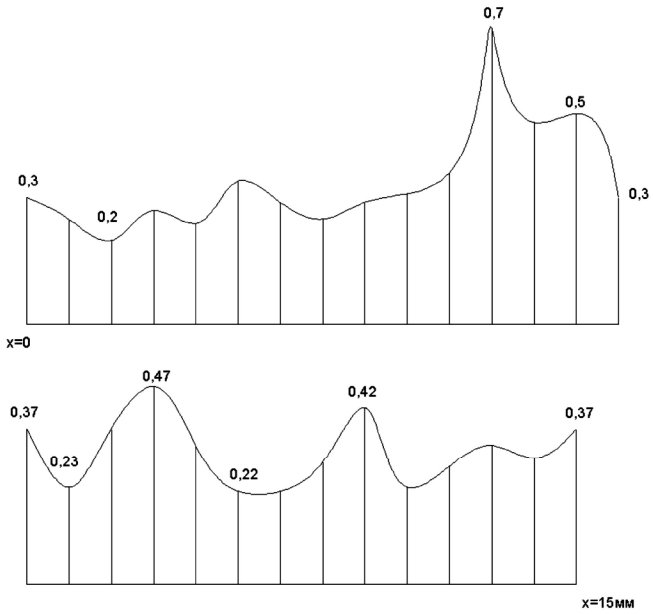


Рис. 6. Случайная функция раскрытия трещины

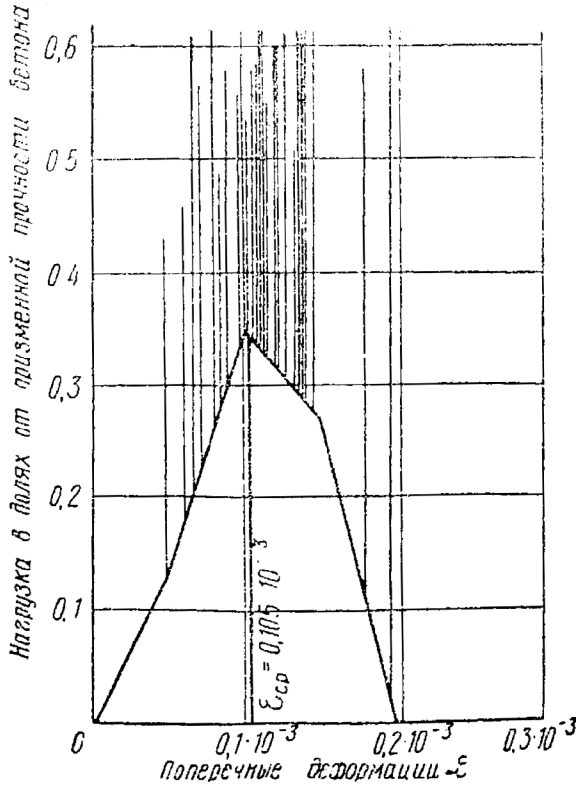


Рис. 7. Кривая распределения величин предельных поперечных деформаций бетона

Коэффициент концентрации напряжений определяется отклонением:

$$K = (\sigma + \Delta\sigma) / \sigma = 1 + \Delta\sigma/\sigma. \quad (12)$$

Заметим, что в сопромате коэффициент концентрации напряжений есть отношение напряжения на участке с дефектом (например с отверстием) к напряжению при отсутствии дефекта (отверстия).

Принимая профиль границы поверхности H(y) – стационарную случайную функцию от переменной y с нулевым математическим ожиданием, задают ее спектральное представление [6], по которому можно определить корреляционную функцию по выражению (9):

$$H(y) = \int \ell^{i\lambda L} \cdot dF(\lambda). \quad (13)$$

Таким образом, определяются вероятностные характеристики ординат H шероховатой поверхности. По известным характеристикам H вычисляются вероятностные характеристики тензора напряжений для плоского напряженного состояния элемента, определяемого напряжениями σ_x, σ_y, τ_{xy}. Эта задача для машиностроительных элементов была решена Пальмовым В.А. [10]. Им было предложено спектральное представление напряжения от шероховатости границы полуплоскости, с помощью которого находилось математическое ожидание и корреляционная функция случайного напряжения σ_s, действующего в сечении, перпендикулярном границе.

Полученная прямая связь вероятностных характеристик напряжения на границе с вероятностными характеристиками шероховатости поверхности позволяет вычислять среднее на единицу длины границы число выбросов N(u) напряжения σ_s за некоторый уровень u:

$$N(u) = 1/2\pi \sqrt{-\frac{\hat{e}s(0)}{\hat{e}s(\hat{\imath})}}\ \ell\ \frac{(u-s)}{2\hat{e}s(0)}. \quad (14)$$

Предполагалось, что закон распределения H и σ_s является нормальным. Математические ожидания среднего числа пересечений контуром шероховатости нулевого уровня и среднего числа максимумов соответственно равны:

$$h = \frac{1}{p}\sqrt{-\frac{\hat{e}''(0)}{\hat{e}(0)}} \quad (15)$$

$$m = \frac{1}{2p}\sqrt{-\frac{\hat{e}''(0)}{\hat{e}''(0)}} \quad (16)$$

Здесь K(o) – дисперсия напряжения на границе полуплоскости:

(L'(o) = D = - $4\sigma^2$K"[H(y) = 0]).

K"(o); $K^{(4)}(0)$ – вторая и четвертая производные корреляционной функции H(y) при y = 0;

выражения (15) и (16) после преобразований позволяют получить среднее квадратическое отклонение напряжения σ_s:

$$B = 2\pi n R_q \sigma, \quad (17)$$

а дисперсия $D = \beta^2$

R_q – среднее квадратическое отклонение высоты шероховатости

$$N(u) = m \cdot \ell\ \frac{(u-s)'}{2b'}. \quad (18)$$

Дисперсия напряжений имеет максимальное значение на поверхности и быстро убывает по мере удаления от нее. Концентрация напряжений на шероховатой поверхности есть случайная величина со средним значением σ_s. Это среднее значение попадает в интервал значений (например, с вероятностью 0,95):

$$\sigma - 2\beta < \sigma_s < \sigma + 2\beta. \quad (19)$$

Если отнести оценку напряжения к номинальному напряжению σ (без учета шероховатости), то коэффициент концентрации α (условный) равен: (с учетом выражения (19)):

$$\alpha = 1 + 2\,\beta/\sigma. \quad (20)$$

Подставив по выражению (17) β, имеем:

$$\alpha = 1 + 4\pi n\, R_q. \quad (21)$$

Рассматривая профиль H как реализацию случайного процесса, находим вероятностные характеристики n и R_q удержанием по одной реализации. В работе [6] оценка α для металлических машиностроительных деталей при разных шероховатостях поверхностей (проката, обработанных шлифовкой поверхностей и др.) и разных видах напряженного состояния составляли 1,09…1,56, а по графикам с более значительными отклонениями шероховатости увеличивались до 4…5.

В опытах автора на цементных образцах с размерами 4x4x16 см, испытанных при четырехточечном изгибе, разница в средней разрушающей нагрузке составляла 12 %. Образцы (3 шт. контрольные с обычной, в лабораторных условиях, технологией изготовления сравнивались по разрушающей нагрузке с образцами, отличавшимися (3 шт.) тем, что были обернуты при изготовлении одним слоем полиэтиленовой пленки, что обуславливало менее шероховатую поверхность. Последняя была причиной образования трещин при более высоком уровне нагружения и в итоге более высокой несущей способности. Изготовлены образцы больших размеров поперечного сечения с целью проверки влияния шероховатости на область

таких размеров образцов. Отметим, что когда шероховатая граница полуплоскости образована системой периодичности повторяющихся выступов и впадин:

$$H = A \cos (2\pi/\tau) \cdot y, \quad (22)$$

где: A – высота выступов, τ – шаг; y – координата по длине элемента.

Значение коэффициента концентрации напряжений имеет вид [11]:

$$\alpha_н = 1 + 2 \sqrt{g \frac{2\grave{A}}{r}}, \quad (23)$$

где: r – радиус кривизны границ во впадине;

γ – функция отношения τ/2A.

У Тимошенко С.П. исследования концентрации напряжений в металлических изгибаемых профилях интересны и графическими зависимостями, приведенными в [12], по которым (опытные данные) коэффициент концентрации напряжений возрастает с уменьшением отношения радиуса впадины r к высоте поперечного сечения элемента d. Это позволяет предположить, что концентрация напряжений над вершиной трещины в бетоне при r/d <0,1 более трех раз превышает напряжение, которое возникает от нагрузки при отсутствии трещин.

В бетоне строительных элементов в сечении с концентрацией напряжений $\sigma_к$, которые относительно напряжений без концентрации σ будут:

$$\sigma_к = \alpha_н \cdot \sigma, \quad (24)$$

при условии:

$$\sigma \geq R_{\ell bn}, \quad (25)$$

будут образовываться трещины (повреждения).

Глубина влияния образованной от шероховатости поверхности бетона трещины будет зависеть от раскрытия образующейся трещины (имеющей также случайную составляющую) [13].

Выводы:

1. Шероховатость поверхности бетона – одна из причин, наряду с неоднородностью структуры, вызывающая концентрацию напряжений в поверхностном слое строительных элементов.

2. В опытах автора при испытании образцов на изгиб, изготовленных в лабораторных условиях, с обычной поверхностью и с более гладкой поверхностью превышение разрушающей нагрузки в последних составляло до 12 % из-за повышенной трещиностойкости при гладкой поверхности.

3. Предложено экспериментально установленное для бетона выражение для корреляционной функции и квазиэргодичность на поверхности бетона случайной функции шероховатости.

Список литературы

1. Витенберг Ю.Р. Оценка волнистости поверхности с помощью корреляционных функций. // Вестник машиностроения, 1971.
2. Голубев Ю.М., Небольских В.Я. Функциональная связь критериев и параметров шероховатости с некоторыми эксплуатационными показателями деталей машин. // Сборник «Наука и производство». – Новосибирск, 1968.

3. Пальмов В.А. Напряженное состояние вблизи шероховатостей поверхности упругих тел. // ПММ, 1963, № 5.
4. Кошек Л.Н. Статические параметры шероховатости поверхности и их измерение. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 1970.
5. Ахметзянов Ф.Х. Влияние поверхности бетонных и железобетонных элементов на повреждаемость. // Известия КГАСУ, 2010, № 1 (13).
6. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей, теоретико-вероятностный подход. – М., Наука, 1975.
7. Ахметзянов Ф.Х. Надежности по трещиностойкости железобетонных наружных стеновых панелей жилых зданий и исследованию раскрытия трещин в них как случайных функций. // Межвузовский сборник научных трудов «Надежность строительных конструкций». – Куйбышев: Архитектурно-строительный институт, 1991.
8. Ахметзянов Ф.Х. К оценке расстояния между трещинами в бетонных и слабоармированных железобетонных изгибаемых и сжатых элементах с использованием теории выбросов случайных функций. // Материалы 3-й Всероссийской конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции». – Чебоксары, 2001.
9. Берг О.Я. Исследование прочности железобетонных конструкций при воздействии на них многократно повторных нагрузок. // Труды института транспортного строительства «Исследования железобетонных конструкций», вып. 19. – М.: Трансжелдориздат, 1956.
10. Пальмов В.А. Концентрация напряжений около шероховатостей границы упругого тела. // Известия АН СССР, ОТН, «Механика и машиностроение»,1963, № 3, 5.
11. Нейбер Г. Концентрация напряжений. – Гостехиздат, 1947.
12. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов, т. 2. – М.: Наука, 1965.
13. Ахметзянов Ф.Х., Арсентьев Е.З. О соотношении заглубления трещин в бетоне к ширине их раскрытия на поверхности бетонных и железобетонных конструкций. // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. Тезисы доклада II Всероссийской конференции. – Чебоксары, 1999.

Akhmetzanov F.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ahunor@mail.ru
Kazan state University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043. Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of roughness the surface concretes building elements on the damage

Rezume

The author’s experiments established a decrease in bearing capacity in the area of pure bending of naturally-rough cement samples as compared to smooth-surfaced twin samples. Dependence of tensions on the curve of the bent element, as is known from the Theory of Strength of Materials cannot, , provide a way to evaluate the influence of surface roughness on the amount of stress from outer load without a further extension to this approach.

Roughness on the surface of the element is a random coordinate function. To describe these functions in concrete, the specific work-tested correlation function [7] was used, while for defining intervals between rugosities, the range between overshoots of a random function was employed.

The stress value, adjusted for concrete’s surface roughness, were recommended for estimation on the basis of Palnov’s solution as applied to engineering materials [10].

The presented formulae of relationship between the behavior of roughness in concrete and the mean expectation value, as well as the correlation function of random stress δ operating in the section perpendicular to the surface boundary, allows you to define plane stress condition on a rough element surface.

Keywords: roughness, probability function, correlation function, concentration of tensions, crack, damage.

References

1. Witenberg Ju.P. Estimation wavy surface with using of correlations functions. // Herald mechanical engineering, 1971, № 8.
2. Golubev Ju.M., Nebolskih V.Ja. Criteria and parameters of roughness together binding with some indexes machinery components on exploitation stage. Collected articles. Science and production. – Novosibirsk, 1968.
3. Palmov V.A. Tension condition nearby roughness surfaces on elastic bodies. Applied mathematics and mechanic, 1963, № 5.
4. Coshek L.N. Statistical parameters of roughness surfaces and their measurement. Dissertation candidates degree for technical. – Novosibirsk, electro institute, 1970.
5. Akhmetzyanov F.Kh. Influence of surface the concretes and reinforced concretes elements on the damage.
6. Khusu A.P., Witenberg Ju.P., Palmov V.A. Roughness of surfaces, theoretical-probable of approach. – Moscow, science, 1975.
7. Akhmetzyanov F.Kh. Reliability crack fastness of reinforced outwardly walls elements on building and research cracks with use the correlation functions. Collected articles «Reliability of building constructions». Architectural-building institute. – Kuibyshev, 1991.
8. Akhmetzyanov F.Kh. Estimation of distance the cracks on concrete and reinforced elements in compress and bending with use the theory of throws fortuitously function. In materials of Russians conference «New in the architecture, planning and reconstruction building constructions». – Cheboksary, 2001.
9. Berg O.Ja. Research of durability reinforced concrete constructions with influence repeatedly many times loasts. Works of Transports building institute «Research of reinforced concrete constructions on bridges». – Moscow, transgeldorisdat, 1956.
10. Palmov V.A. Tension concentration by the roughness's boundary elastic bodies. Herald of Science Academy Soviet Unions, mechanic and mechanical engineering, 1963, № 3, № 5.
11. Newber G. Tensions concentration. State publishing, 1947.
12. Timoshenko S.P. Resistance of materials. – Moscow, Science, Bandwidth, 1965.
13. Akhmetzyanov F.Kh., Arsentjev E.S. Correlation depth of cracks to width on surface of concrete and reinforced concrete on constructions. In materials of Russian conference «New in the architecture, planning and reconstruction building constructions». – Cheboksary, 1999.

УДК 624.01235/45
Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент
Хайрутдинов Ш.Н. – инженер
E-mail: em_z@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Прочность нормальных сечений сталежелезобетонных изгибаемых элементов при длительных статических нагружениях

Аннотация

Предлагается методика расчета сталежелезобетонных изгибаемых элементов на действие длительных нагрузок. Даются распределение напряжений и деформаций в нормальном сечении изгибаемого элемента и трансформированные диаграммы деформирования бетона и стали. Приводятся зависимости для вычисления напряжений и усилий для любого этапа длительного нагружения. Показана сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, прочность, длительные нагружения.

Введение

В зданиях и сооружениях конструктивные элементы испытывают длительные статические нагрузки. Расчет сталежелезобетонных изгибаемых элементов на длительные нагрузки имеет определенные сложности. Существующие методы расчета мостовых [1] сталежелезобетонных конструкций, основанные на полуэмпирических зависимостях, малопригодны. Требуется разработать методы расчета, основанные на учете фактического напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных элементов, что позволит проектировать экономичные сталежелезобетонные конструкции и получать надежные решения.

При расчете прочности нормальных сечений сталежелезобетонных изгибаемых элементов на длительные нагружения необходимо учитывать особенности изменения напряженно-деформированного состояния сечения во времени и режимы деформирования бетона и стали.

Наиболее перспективной является методика, базирующаяся на расчетной модели (рис. 1), отражающей действительную работу сталежелезобетонных конструкций, которая учитывает действительное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента и реальные режимы деформирования бетона и стали [2-4].

Предпосылки и расчетные выражения

При расчете прочности нормальных сечений исходим из следующих предпосылок:

- рассматриваются сечения, нормальные к продольной оси элемента;
- в качестве расчетных принимаются нормальные напряжения в монолитном бетоне плиты и в стальной балке;
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона представляется в виде диаграмм «σ-ε» (рис. 2), трансформированных, при необходимости, для учета влияния вида и режима нагружения;
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями стали принимаются в виде диаграмм, показанных на рис. 3;
- для средних деформаций бетона плиты и стальной балки считается справедливой гипотеза плоских сечений;
- податливость швов объединения стальной и железобетонной частей не учитывается и принимается условие совместности деформаций бетона и стали на уровне контактной поверхности.

Исходя из гипотезы плоских сечений и трансформированных диаграмм зависимостей «$\sigma_в$-$\varepsilon_в$» и «σ_s-ε_s» по соответствующим деформациям определяются напряжения в бетоне монолитной плиты и в стальной балке. По напряжениям в бетоне $\sigma_в$

и напряжениям в стали s_s определяются внутренние усилия в сечении для любого рассматриваемого уровня и режима нагружения:

$$N_x = \int\sigma_в [\ \varepsilon_в (x_i)]\ B(x)\, dx + \sigma_s (\varepsilon_s{}') A_s{}' - \sigma_s (\varepsilon_s) A_s, \quad (1)$$

$$M_x = \int\sigma_в [\ \varepsilon_в (x_i)] B(x) (x_i - hm/2)\, dx + \sigma_s (\varepsilon_s{}') A_s{}' Z_2 - \sigma_s (\varepsilon_s) A_s Z_3, \quad (2)$$

где:

$\sigma_в (\varepsilon_в)$, $\sigma_s (\varepsilon_s)$ – зависимости «напряжения-деформация» бетона и стали;

$\varepsilon_в (x_i)$ – закон изменения деформаций по высоте сечения;

B (x) – функция изменения ширины поперечного сечения бетонной плиты по высоте;

x_i – высота сжатой зоны для рассматриваемого вида и режима нагружения;

$Z_1 = x_i - hm/2$ – расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений в бетоне до нейтральной оси;

Z_2 – расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений сжатой части стальной балки до нейтральной оси;

Z_3 – расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений в растянутой зоне стальной балки до нейтральной оси.

Вычисления внутренних усилий по формулам (1) и (2) выполняются методом последовательных приближений, пока не выполнится условие:

$$|\Delta N_x| \le \delta,$$

где δ – заданная точность вычислений.

Прочность сталежелезобетонной конструкции на всех стадиях нагружения оценивается исходя из условия:

$$M_j + \Delta M_{sj} + \Delta M_{вj} \le M_z, \quad (3)$$

где M_j – изгибающий момент от максимального значения внешней нагрузки в рассматриваемом режиме нагружения;

$\Delta M_{sj} = e_{pL}(t)\dfrac{(h_0 - x)^2}{x} E_s W_{sx}$ – дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения и развития остаточных деформаций в стальной балке;

$\Delta M_{bj} = e_{pL}(t)\dfrac{(h_0 - x)^2}{x} E_b W_{bx}$ – дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения дополнительных напряжений в бетоне сжатой зоны плиты;

E_s, E_b, W_{sx}, W_{bx} – соответственно модуль упругости, момент сопротивления стальной балки и бетонной плиты.

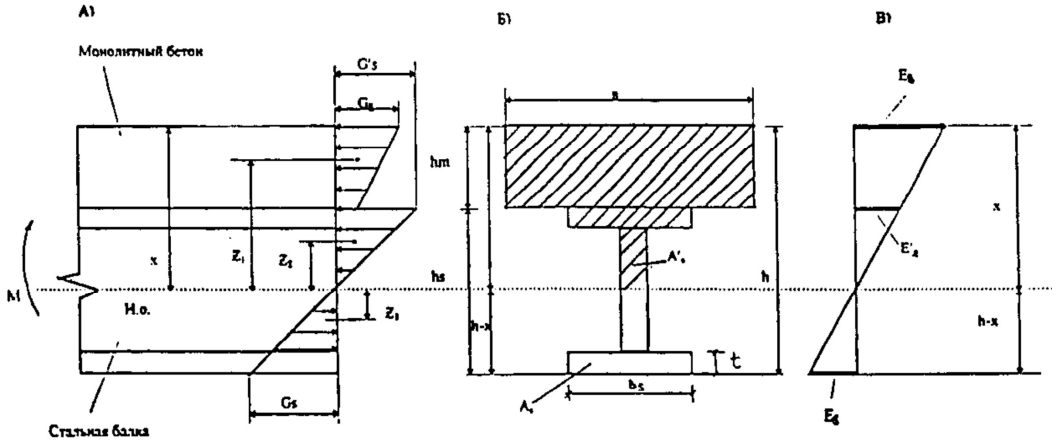


Рис.1 Расчетная схема усилий, эпюры напряжений и деформаций:
а) расчетная схема усилий и эпюра напряжений, б) поперечное сечение, в) эпюра деформаций

Диаграммы деформирования материалов

Для описания диаграмм деформирования материалов при длительных нагружениях в качестве исходной используются диаграммы стали и бетона «σ-ε» для случая однократного кратковременного статического нагружения.

Аналитические зависимости для описания диаграмм деформирования бетона при длительном статическом нагружении получаются путем трансформирования исходных диаграмм [3]. Трансформированные диаграммы по виду принимаются аналогичными исходным диаграммам с учетом следующих дополнительных положений (рис. 2):

- в качестве параметров основной узловой точки диаграмм принимаются напряжения в бетоне, равные пределу длительной прочности при длительном статическом нагружении Rec и пределу выносливости P_{bc}, отвечающие деформациям в вершине диаграмм при однократном кратковременном нагружении $\varepsilon_{bc} = \varepsilon_{br}$,

- для дополнительной узловой точки, определяющей" границы диаграмм, деформации принимаются равными предельным деформациям при однократном кратковременном статическом нагружении, $\varepsilon_{bc} = \varepsilon_{bu}$,

- координаты начала диаграмм принимаются переменными, а именно: смешенными на величину, равную деформациям ползучести при длительном статическом нагружении в рассматриваемый момент времени:

$$\varepsilon_{pL}(t) = C(t,\tau)\,\sigma_b(t_0)\,f(t),$$

- угол наклона диаграмм принимается с учетом изменения модуля упругости бетона.

Зависимости для характерных точек диаграмм

Зависимость между координатой вершины диаграммы и временем нагружения при длительном статическом нагружении описывается уравнением:

$$R_b(t,t_0) = C(t,t_0)R_b = \frac{R_b}{\sqrt{\dfrac{E_b(t)}{E_b(t_0)} + 2C(t_2t_0)E_b(t)}},$$

где $C(t,t_0)$ – мера ползучести бетона в момент времени t;

$E_b(t)$, $E_b(t_0)$ – модуль упругости бетона соответственно в моменты времени t и t_0.

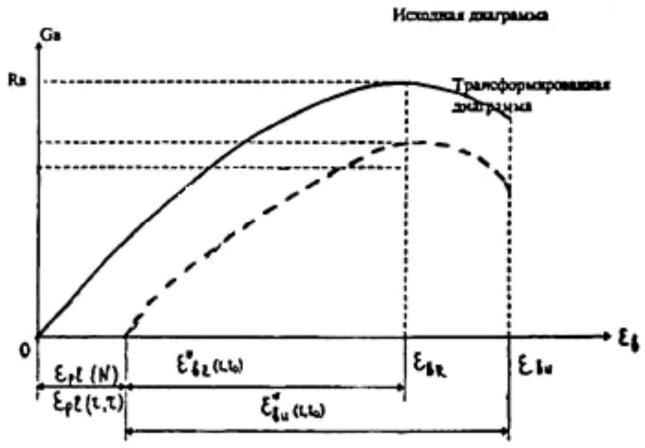


Рис. 2. Трансформированные диаграммы деформирования бетона при стационарном режиме длительного статического нагружения

Деформации ползучести бетона в рассматриваемый момент времени вычисляются по формулам:

$$\varepsilon_{pL}(t,t_0) = C(t,\tau)\,\sigma_b(t,t_0)\,f(t,t_0),$$

где $f(t,t_0) = 1 - e^{-j(t-t0)}$ – функция роста деформаций ползучести;

J – параметр ползучести бетона.

При этом деформации в характерных точках трансформированных диаграмм принимаются равными (рис. 2):

$$\varepsilon^{*}_{br}(t,t_0) = \varepsilon_{br} - \varepsilon_{pL}(t,t_0),$$
$$\varepsilon^{*}_{bu}(t,t_0) = \varepsilon_{bu} - \varepsilon_{pL}(t,t_0),$$

где ε_{br} – деформации в вершине исходной базовой диаграммы при кратковременном нагружении;

ε_{bu} – предельные деформации при кратковременном статическом нагружении.

В настоящее время имеется значительное количество предложений по аналитической записи диаграммы «σ-ε» для стали. Среди них можно выделить рекомендации В.Н. Байкова, Ю.П. Гущи, С.А. Мадатяна, Р.Л. Маиляна и П.И. Ганаш, Н.И. Карпенко. Т.А. Мухамедиева и другие.

Используем аналитическую запись, предложенную Н.И. Карпенко, Т.А. Мухамедиевым [2], которая учитывает особенности деформирования бетона и стали и наиболее проста для описания работы сталежелезобетонных элементов.

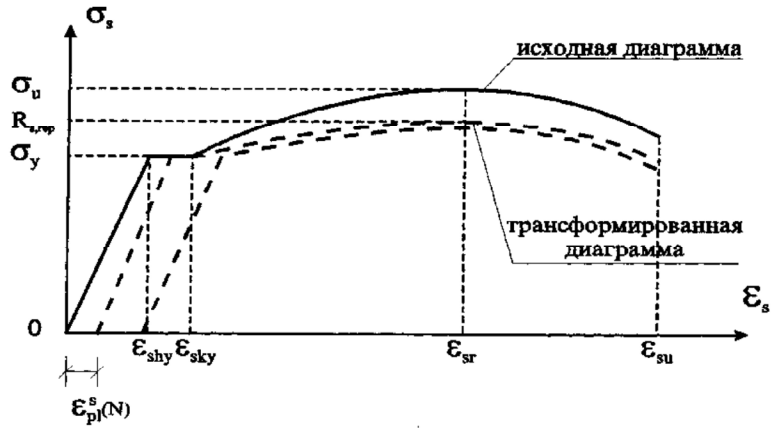


Рис. 3. Исходная и трансформированная диаграммы деформирования стали

Общая аналитическая зависимость для стали записывается в виде:

$$e_s = \frac{s_s}{E_s V_s}, \text{ где } V_s = \hat{V}_s + (V_0 - \hat{V}_s)\sqrt{1 - w_1 h} - w_2 h^2 .$$

Параметры диаграммы деформирования стали вычисляются в зависимости от характеристик E_s, $\sigma_{s,eL}$, $\hat{\sigma}_s$, $\hat{\varepsilon}_s$, условного (или физического) предела текучести σ_{02} (или σ_y) и соответствующего ему значения деформаций ε_{02} (или ε_y), причем:

$$\sigma_{s,eL} = \eta_{s,eL}\,\sigma_{02},$$

$$e_{02} = \frac{s_{0z}}{E_s} + 0{,}002 .$$

Коэффициент ω_{1s} определяется с использованием дополнительной нормируемой характеристики предела упругости $\sigma_{s,eL}$:

$$w_{1s} = \frac{(V_0 - \hat{V}_s)(h_{02} - 1) + (V_{02} - \hat{V}_s)^2}{(h_{02}^2 - h_{02})(V_0 - \hat{V}_s)^2}\ \mathrm{V}_0 = 1,$$

$$h_{02} = \frac{s_{02} - s_{s,eL}}{\hat{s}_s - s_{s,eL}},\ V_{02} = \frac{s_{02}}{E_s e_{02}},\ \hat{V}_s = \frac{\hat{s}_s}{E_s \hat{e}_s}.$$

Численные значения $\hat{\sigma}_s$ и $\hat{\varepsilon}_s$ принимаются равными соответственно временному сопротивлению стали разрыву и ее относительному удлинению при разрыве.

Для сталей с физической площадкой текучести величины $\hat{\sigma}_s$ и $\hat{\varepsilon}_s$ являются условными и соответствуют напряжениям и деформациям в конце площадки текучести:

$$\hat{s}_s = 1{,}01 s_y \quad \hat{e}_s = \frac{\hat{s}_s}{E_s} + l_T,$$

$$\sigma_{02} = 0{,}99\,\sigma_y,\ \eta_{s,eL} = 0{,}97,$$

где λ_T – длина площадки текучести.

Если в процессе нагружения сталь с физическим пределом текучести деформируется в зоне упрочнения, полную диаграмму за пределом упругости рекомендуется разбивать на два участка, один из которых начинается в точке $\sigma_s=\sigma_y$, $\varepsilon_y=\frac{s_y}{E_s}$, заканчивается в конце площадки текучести с координатами $\sigma_s = 1{,}01\,\sigma_y$, $\varepsilon_s = \lambda_T + 1{,}01\frac{s_y}{E_s}$, а второй начинается с конца площадки текучести и заканчивается в точке разрыва материала. Участок укрупластического деформирования этих сталей описывается теми же зависимостями, приведенными выше, в которых принимаются:

$$\hat{s}_s = s_y,\ \hat{e}_s = e_y,\ V_0 = \frac{1{,}01 s_y}{E_s e_s},\ h_s = \frac{s_s - 1{,}01 s_y}{s_{su} - 1{,}01 s},\ h_{02} = \frac{s_{s(c)} - 1{,}01 s_y}{s_{su} - 1{,}01 s},\ V_{02} = \frac{s_{s(c)}}{E_s e_{s(c)}}.$$

где с – дополнительно нормируемая точка на участке упрочнения стали с физическим пределом текучести:

$$\sigma_{s(c)} \approx 1{,}2\sigma_y,\ e_{s(c)} \approx 1{,}6 l_T + \frac{s_{s(c)}}{E_s}.$$

Изложенная методика опробована авторами при определении прочности сталежелезобетонных балок по нормальным сечениям [5]. Экспериментальные балки изготовлены из двутавра № 12 (сталь С 245) длиной 2000 мм и бетонной плиты размерами 2000х400х50 мм. Для обеспечения совместной работы стальной балки и бетонной плиты на контактной поверхности установлены вертикальные анкерные стержни высотой 40 мм.

Исследованы четыре группы балок по 3 образца в группе под воздействием нагрузки в течение шести месяцев, при этом длительная нагрузка P_{max} принята 0,85-0,95 $P_{разр.стат.}$

Сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных показывает удовлетворительную сходимость. Деформационный расчет с использованием аналитических диаграмм деформирования стали и бетона дает сходимость в пределах 4-10 %.

Заключение

Предложена методика, базирующаяся на расчетной модели, отражающей работу сталежелезобетонной конструкции, которая учитывает действительное напряженно-деформированное состояние изгибаемого элемента и реальные режимы деформирования бетона и стали, позволяющая вычислить напряжения и усилия для любого этапа длительного нагружения. Показана удовлетворительная сходимость теоретических расчетов с данными экспериментальных исследований.

Список литературы

1. СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – С. 214.
2. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры. / Напряженно-деформированное состояние бетона и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1986. – С. 7-25.
3. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А. Диаграммы деформирования бетона для развития методов расчета железобетонных конструкций с учетом режимов нагружения / Эффективные материалоемкие железобетонные конструкции. – М.: НИИЖБ, 1988. – С. 4-18.
4. Мирсаяпов И.Т. Совершенствование методов расчета усталостной прочности железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности бетона и

режимов нагружения//Материалы Международной конференции по бетону и железобетону: Инженерные проблемы современного железобетона. – Иваново, 1995. – С. 201-210.
5. Хайрутдинов Ш.Н., Замалиев Ф.С. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций при длительном действии нагрузок. // Известия КГАСУ, 2008, № 1 (9). – С. 65-67.

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

Durability of normal sections steelconcrete bent elements at long static loadings

Resume

Steelconcrete designs in the developed countries in construction find the increasing application, however in domestic construction practice they didn't find wide application. One of the reasons, possibly, lack of the domestic design procedures, is giving reliable and at the same time economic decisions. In actual practice designs of loading affects during the whole period of operation therefore calculation methods considering short-term influences don't reflect the real intense deformed condition of a design. In article offered the design procedure of steelconcrete bent elements on action of long loadings. Given calculation preconditions distribution of tension and deformations on the basis of which are given in normal section of a bent element settlement expressions. Given analytical dependences for the description of the transformed charts of deformation of steel and concrete for long loadings and as initial charts of work of materials are used at single short-term static loading. Given dependences for calculation of tension and efforts for any stage of long loading. The stated technique is tested for determination of durability of steelconcrete beams tested by authors. Used physicomechanical and geometrical parameters of skilled beams. Shown convergence of theoretical and experimental results.

Keywords: steelconcrete constructions, durability, long loading.

References

1. Building Code 2.05.03-84* Bridges and pipes. Gosstroy Rossii. – M., GUP TsPP, 2002. – P. 214.
2. Karpenko N.I., Mukhamediyev T.A., Petrov A.N. Initial and transformed strain diagrams of concrete and reinforcement. Mode of deformation of concrete and reinforced concrete structures. – M.: NIIZhB, 1986. – P. 7-25.
3. Karpenko N.I., Mukhamediyev T.A. Concrete deformation curves for development of reinforced concrete design methods taking into account load conditions / Effective resource-demanding reinforced concrete structures. – Moscow, NIIZhB, 1988. – P. 4-18.
4. Mirsayapov I.T. Development of fatigue strength calculation methods for reinforced concrete structures taking into account physical nonlinearity of concrete and load conditions // Proceedings of the International Conference of Concrete and Reinforced Concrete: Engineering Problems of the State-of-the-Art of Reinforced Concrete. Ivanovo, 1995. – P. 201-210.
5. Khayrutdinov Sh.N., Zamaliyev F.S. The experimental investigation of composite steel and concrete flexible structures under sustained loads. – Kazan, News of the KSUAE № 2, 2008. – P. 65-68.

УДК 69.022.32
Шмелев Г.Н. – кандидат технических наук, профессор
E-mail: shmelev@kgasu.ru
Сусаров А.В. – инженер
E-mail: susarovav@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Несущая способность облицовочной керамогранитной плиты в составе навесного вентилируемого фасада

Аннотация

В статье рассматриваются результаты натурных испытаний керамогранитной облицовочной плиты на действие равномерно распределенной нагрузки. Предложена методика проведения испытаний. Определена зависимость напряжений от деформаций в коротком сечении плиты. Установлено, что данная зависимость имеет нелинейный характер. Представлены диаграммы максимальных растягивающих напряжений и деформаций. Численными способами определено напряженно-деформированное состояние облицовочного элемента от действия статической составляющей ветровой нагрузки.

Ключевые слова: навесной вентилируемый фасад, облицовочный элемент, керамогранитная плита, ветровая нагрузка.

В системе навесного вентилируемого фасада керамогранитная плита выступает в роли облицовочного элемента. Вследствие высокой стоимости керамогранита им облицовывают, как правило, только нижнюю, цокольную часть здания. Стоит отметить, что к нагрузкам, воспринимаемым облицовкой, относят лишь горизонтальные нагрузки от ветрового воздействия, но если учитывать тот факт, что облицованная поверхность находится практически на уровне земли, то в данном случае могут быть воздействия, превышающие ветровое во много раз. Такими нагрузками могут быть снеговая (сугроб), нагрузка от каких-либо посторонних предметов и т.д. Поэтому важно определить, каким образом будут восприняты эти воздействия. С этой целью был проведен расчет плиты на действие ветровой нагрузки и расчет с целью определения максимальной разрушающей нагрузки.

Выполнено определение напряженно-деформированного состояния облицовочных элементов фасадных систем. С этой целью в расчетный комплекс «ANSYS» была задана конечно-элементная модель керамогранитной облицовочной плиты и проведен расчет на действие ветровой нагрузки.

В результате численного моделирования получены значения деформаций керамогранитной плиты от ветровой нагрузки, а также распределение напряжений, проиллюстрированное на рис. 1. Эти данные были подтверждены натурными испытаниями, в обоих случаях максимальные напряжения были зафиксированы по короткому сечению.

Испытание керамогранитной плиты «GRASARO» на действие равномерно распределенной нагрузки

Испытывается керамогранитная плита «GRASARO» с геометрическими размерами 600х600х8 мм.

Целью эксперимента является исследование напряженно-деформированного состояния и определение фактической несущей способности и деформативности керамогранитной плиты, находящейся в системе навесного вентилируемого фасада.

Методика проведения испытания

Для определения фактической несущей способности и деформативности керамогранитной плиты были проведены экспериментальные исследования 1 образца плиты. Испытание плиты проводилось в лаборатории кафедры металлических конструкций и испытания сооружений КГАСУ, при температуре +20 °С.

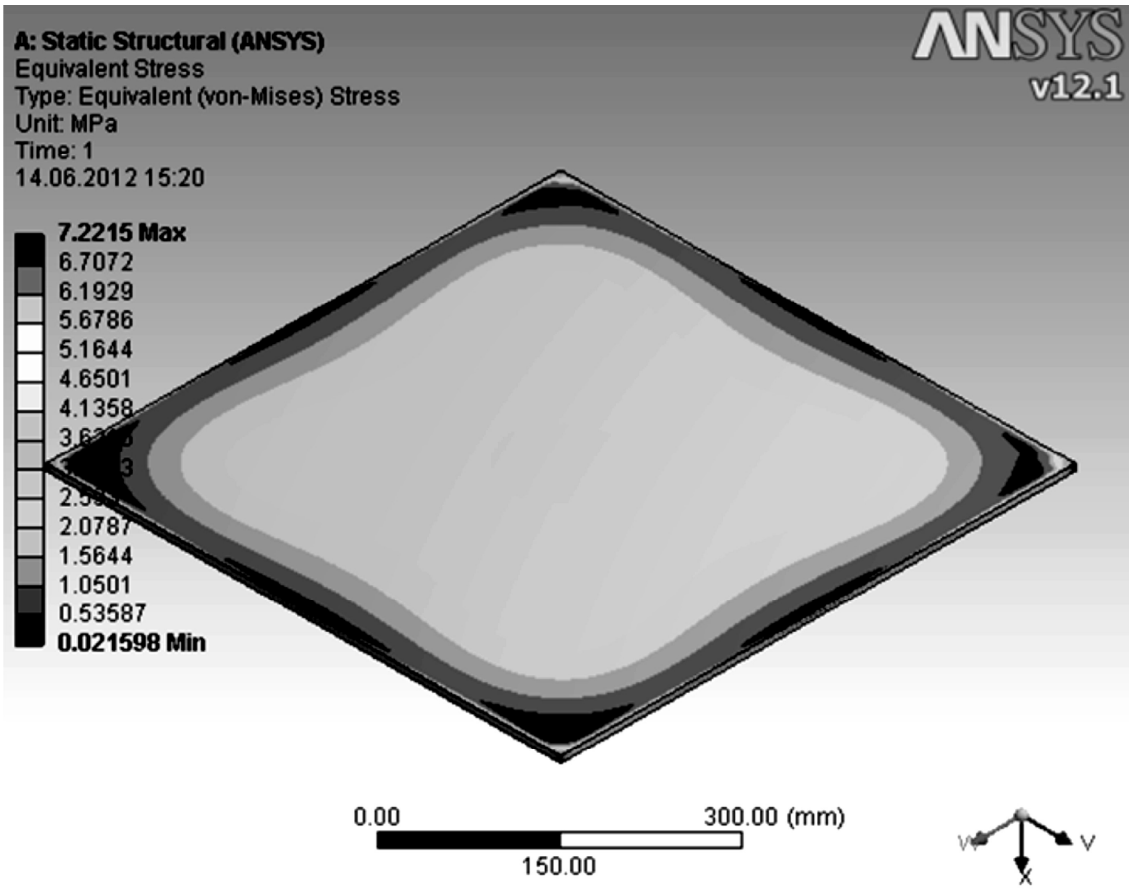


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в облицовочной керамогранитной плите

Испытание плиты проводилось на специально оборудованном стенде, имитирующем систему навесного вентилируемого фасада. Нагружение плиты равномерно распределенной нагрузкой проводилось посредством рычажной системы, через распределительные подушки с песком.

Нагрузка прикладывалась ступенчато, с шагом 50 кг. После каждого нагружения снимались показания тензорезисторов, наклеенных на внутреннюю и наружную поверхность керамогранитной плиты (рис. 2). Сопротивление тензорезисторов фиксировалось тензометрической станцией АИД-4. Деформации пластины фиксировались индикаторами часового типа, установленными в 5 точках на поверхности плиты (рис. 3).

Определена зависимость напряжений от деформаций в коротком сечении пластины (рис. 4). Как видно из диаграммы, зависимость нелинейная.

График максимальных растягивающих напряжений показан на рис. 5. Графики деформаций представлены на рис. 6.

Необходимо учесть и тот факт, что в пределах цокольной части здания на облицовочные элементы могут быть нагрузки, многократно превышающие расчетные (снег, различные механические воздействия, вандальные действия). Поэтому целесообразным будет отказ от устройства вентилируемого фасада в цокольной части здания, использовав при этом более стойкий к данным воздействиям способ отделки фасада, а монтаж вентилируемого фасада производить уже с определенной высоты здания.

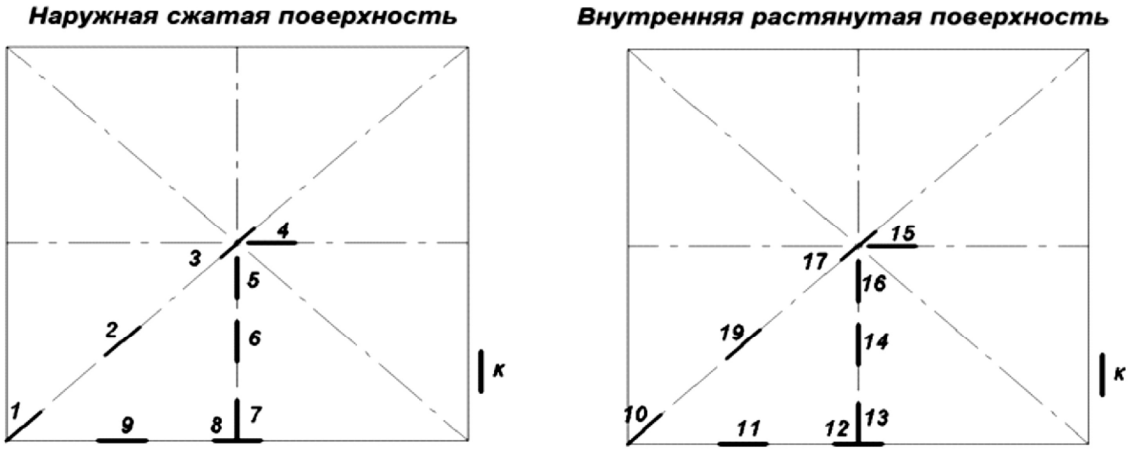


Рис. 2. Схема расположения тензорезисторов

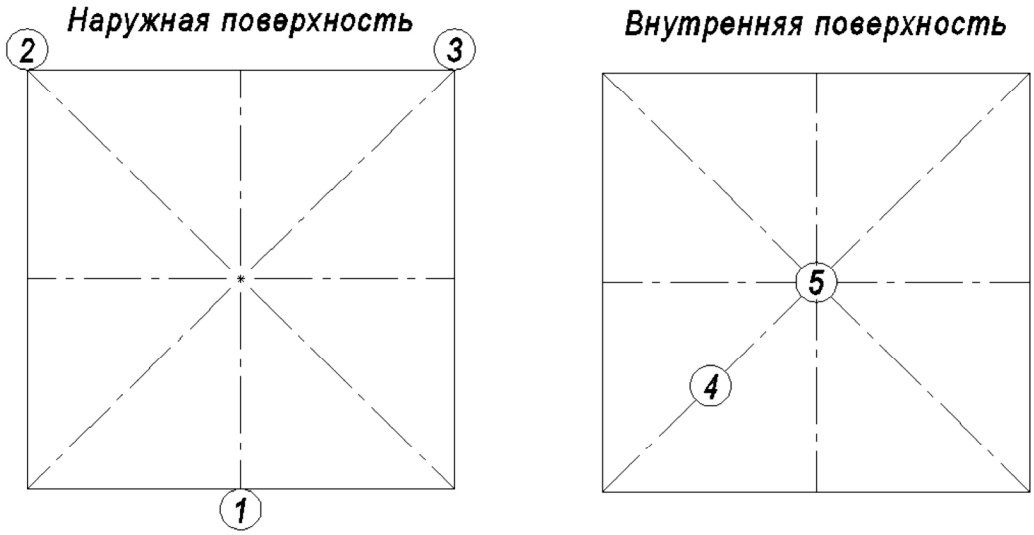


Рис. 3. Схема расположения индикаторов часового типа

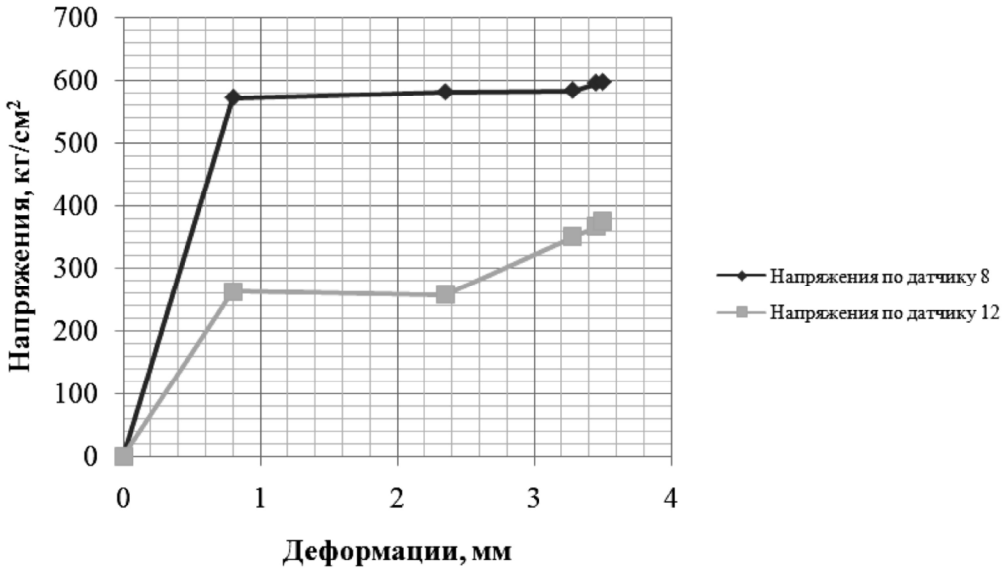


Рис. 4. Зависимость напряжений от деформаций в коротком сечении пластины

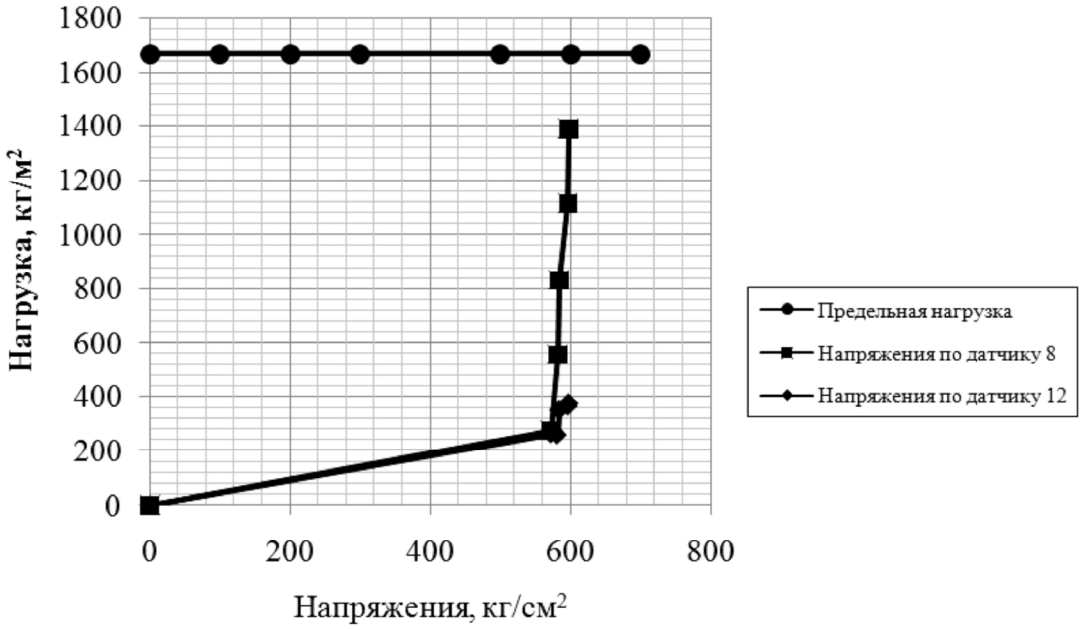


Рис. 5. Диаграмма максимальных растягивающих напряжений

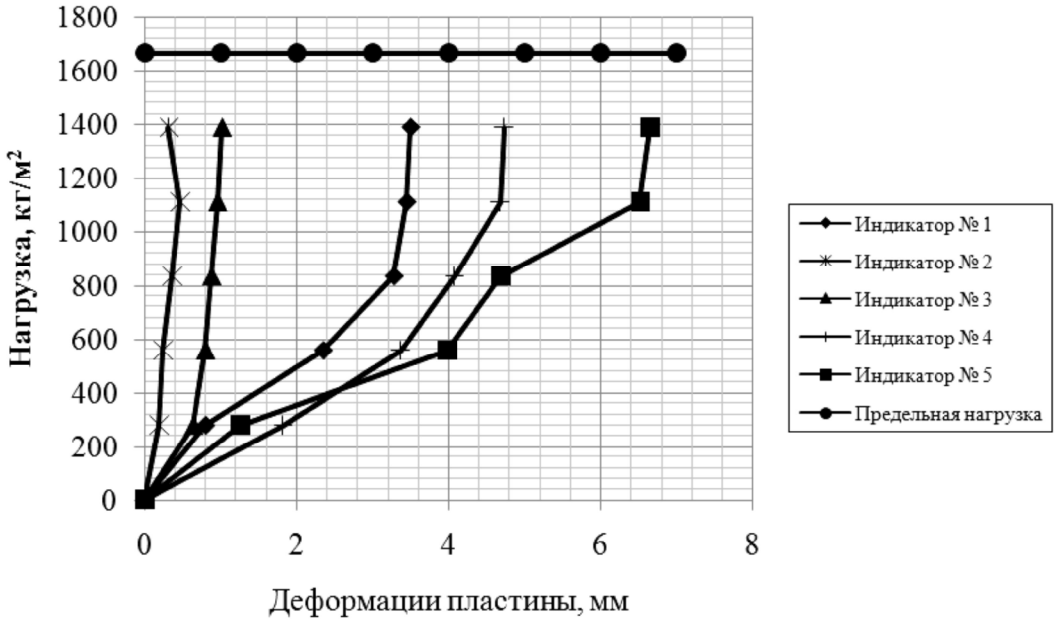


Рис. 6. Графики деформаций плиты

В результате натурных испытаний керамогранитной облицовочной плиты определена предельная нагрузка, которая составила 1660 кг/м^2. При этом установлено, что запас прочности невелик, при расчетной нагрузке 1550 кг/м^2 он составляет всего лишь 7 %. Важно отметить, что в эксперименте рассматривалось идеальное положение керамогранитной плиты, т.е. опирание по 4 точкам. Но в реальных условиях ее опирание может быть иным, например, по 3 точкам или по 2 сторонам, и это зависит от качества монтажа системы. Поэтому с учетом этих факторов разрушение облицовки может произойти при нагрузках, ниже расчетных, а ввиду немалого веса облицовочной плиты и при падении ее с большой высоты могут произойти чрезвычайные ситуации.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 2003. – 43 с.
2. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. – М.: Госстрой России, 2004.

Shmelev G.N. – candidate of technical sciences, professor
E-mail: shmelev@kgasu.ru
Susarov A.V. – engineer
E-mail: susarovav@mail.ru
Kazan State Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Bearing capacity of facing porcelain pate part hinged ventilated facades

Resume

A variety of architectural forms of modern buildings, the high requirements for their appearance and texture, finishing materials require a new treat the problem of selection of finishing materials of the building facade. Thin metal construction of hinged ventilated facade under the influence of wind loads is separate from the cast (in terms of wind) fences – exterior walls. The lack of valid methods for calculating design hinged facade systems to the action of wind loads on separate fronts recorded significant deformation, which can lead to isolation and falling slabs lining. Moreover, we can soon predict the emergence of separation due to the lining of the accumulated fatigue of the metal substructure hinged facade systems when exposed to pulsed alternating wind loads. If we consider that the design of front mounted systems are also loads of thermal deformation and corrosion damage, then after a certain period of time the process of collapse of the cladding can take massive. Thus, to solve all these problems requires a serious scientific study.

Keywords: hinged ventilated facade, facing element, porcelain oven, wind load.

References

1. SNIP 2.01.07-85 *. Load and impact. – M., 2003. – 43 p.
2. Facade insulation system with an air gap. Recommendations for the composition and content of documents and materials submitted for technical evaluation of the suitability of products. – M.: Russian State Committee for Construction, 2004.

УДК 69.024.15
Шмелев Г.Н. – кандидат технических наук, профессор
E-mail: shmelev@kgasu.ru
Исламов А.Ф. – магистр
E-mail: kazanlion@mail.ru
Крупин В.П. – инженер
E-mail: vol-pin@mail.ru
Сусаров А.В. – инженер
E-mail: susarovav@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование мягкой кровли на нагрузки от крышных рекламных конструкций

Аннотация

В статье рассматриваются результаты натурных испытаний трех типов мягкой кровли на действие сосредоточенной нагрузки. Предложена методика проведения испытаний. Построены графики зависимости деформации кровли от нагрузки. Численными способами определено напряженно-деформированное состояние кровельного пирога от действия сосредоточенной нагрузки. На основании полученных при испытании кровельных составов данных выработаны рекомендации по установке фундаментов балластного типа на кровельный ковер здания.

Ключевые слова: крышные рекламные конструкции, балластное крепление, мягкая кровля, утеплитель.

Наружная реклама – это обязательный атрибут любого предприятия или организации, независимо от характера деятельности. Даже рукописный текст на листе бумаги, приклеенный пластилином на входную дверь «предприятия», уже является вывеской, то есть способом рекламы. Конечно, сейчас такое уже почти не встречается, ведь каждая компания стремится выделиться среди конкурентов, для чего в ход идут и сложной конфигурации световые короба, и неоновая реклама, и сложные конструкции, размер которых подчас превышает размер двухэтажного дома.

Крышные установки – это объемная рекламная конструкция, которая устанавливается на крышах зданий. Высота крышной установки обычно составляет от 1 до 5 метров, а длина зависит от содержания вывески.

Изготовление крышной установки – сложный процесс, включающий в себя: оценку состояния крыши здания и возможности установки крепёжных элементов, дизайн с учетом технологических требований, паспортизация вывески или объекта наружной рекламы, проектирование несущих элементов и согласование проекта, собственно изготовление самой крышной установки, монтаж. При установке крышной установки используются специальные сложные крепежные системы, цель которых – обеспечение надежности конструкции и безопасности для окружающих. В крышных установках используются сваренные секции из стальной трубы. Каждая секция соединяется поперечными трубами. Часто крышная конструкция требует установки бетонных блоков для фиксации вывески и защиты её от колебаний и порывов ветра.

Крышные установки разделяются по способу крепления к зданию на две принципиально разные группы. К первой отнесём те, про которых говорят: «крышная конструкция на пригрузах». Вторую группу образуют те крышные установки, монтажные столы которых невозможно разместить на кровельном пироге, поэтому их крепят к силовым элементам здания (колоннам, ригелям, ветровым стенкам или капитальным постройкам, расположенным на крыше). Используется также комбинированный метод крепления.

Балластное крепление (крышная конструкция на пригрузах) – метод заключается в том, что монтажный стол конструкции к силовым элементам здания не закреплён никак, расположен на плоской кровле и удерживается от смещения силами трения. Для устойчивости такой крышной установки от опрокидывания её ветром на монтажном

столе располагают и закрепляют от смещения пригрузы (бордюрные камни или тротуарную плитку) расчётного веса. В редких случаях, когда высота крышной установки и её ветровая площадь невелики, пригрузов может не потребоваться, если массы и габаритов монтажного стола окажется достаточно для устойчивости конструкции. Характерными моментами при размещении крышных установок на пригрузах являются несущая способность кровельного перекрытия и контактная прочность кровельного пирога. В большинстве случаев запаса прочности перекрытия оказывается достаточно. А уберечь кровельный пирог от продавливания помогают доски или фанера, подкладываемые под монтажный стол.

Данный метод является наиболее приемлемым при установке конструкций на гидроизолированной крыше уже существующего здания, при этом гидроизоляция не нарушается.

Испытание кровельного пирога на действие сосредоточенной нагрузки

Порядок подготовки к проведению испытаний:

- подготавливается жесткое основание под прессом из сварного каркаса из 12-го швеллера. На жесткий каркас укладываются металлические пластины толщиной 20 мм;
- для выравнивания основания укладывается фанерная доска толщиной 10 мм;
- для крепления датчиков между слоями вырезаются металлические пластины размерами 25х10 мм, к которым плотно крепится струна. Пластина устанавливается между исследуемыми слоями;
- датчики часового типа крепятся над кровельным ковром ровно над пластинами расположенными между слоями утеплителя;
- для контроля хода штока пресса натягивается струна;
- для более точного измерения нагрузки использовался динамометр с датчиком часового типа.

Схема установки приведена на рис. 1.

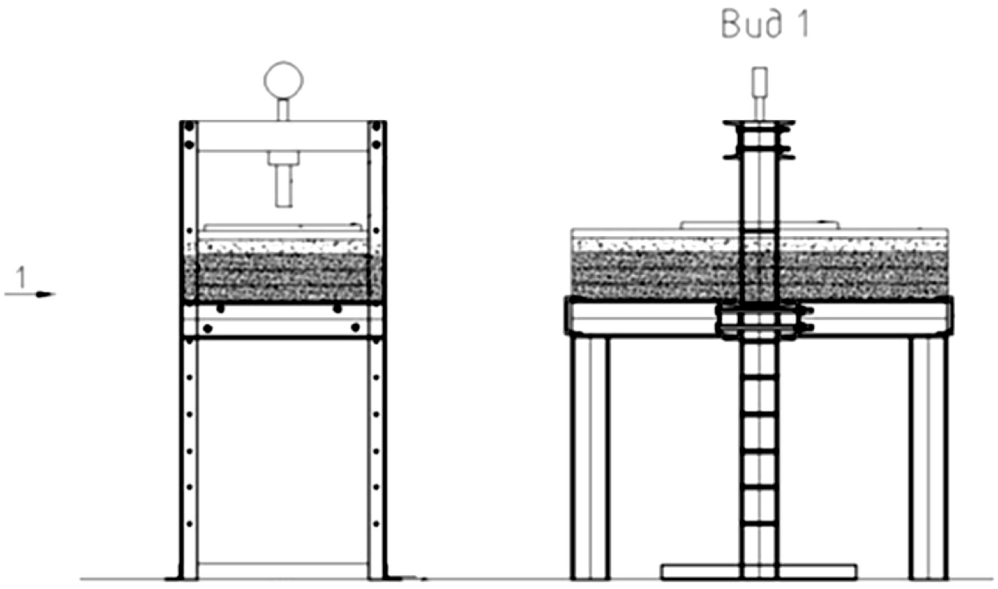


Рис. 1. Схема испытательного стенда

Рассматриваемые типы кровельных пирогов:

Первый тип:

- Полимерная мембрана LOGICROOF V-RP;
- Минераловатный утеплитель Технoруф В60 t=50 мм;
- Минераловатный утеплитель Технoруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Технoруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Технoруф Н30 t=50мм.

Второй тип:
- Полимерная мембрана LOGICROOF V-RP;
- Экструзионный пенополистирол Технониколь 30-250 t=50 мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм.

Третий тип:
- Полимерная мембрана LOGICROOF V-RP;
- Сборная стяжка из АЦП – 2 листа;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм;
- Минераловатный утеплитель Техноруф Н30 t=50мм.

Порядок проведения испытания

1. Кровельные ковры расстилаются таким образом, чтобы шток от пресса давил ровно по центру. Пластины от датчиков вклеиваются между слоями ровно друг под другом. Струны от пластин крепятся к датчикам часового типа и заранее натягиваются.

2. Производится нагружение образца с шагом 50 кг (в необходимых случаях – 10 кг к концу нагружения) и фиксацией деформаций кровельного ковра. Нагружение производится до достижения 10 %-ой деформации, либо до начала площадки текучести.

3. По полученным данным строятся графики зависимости напряжения от деформации.

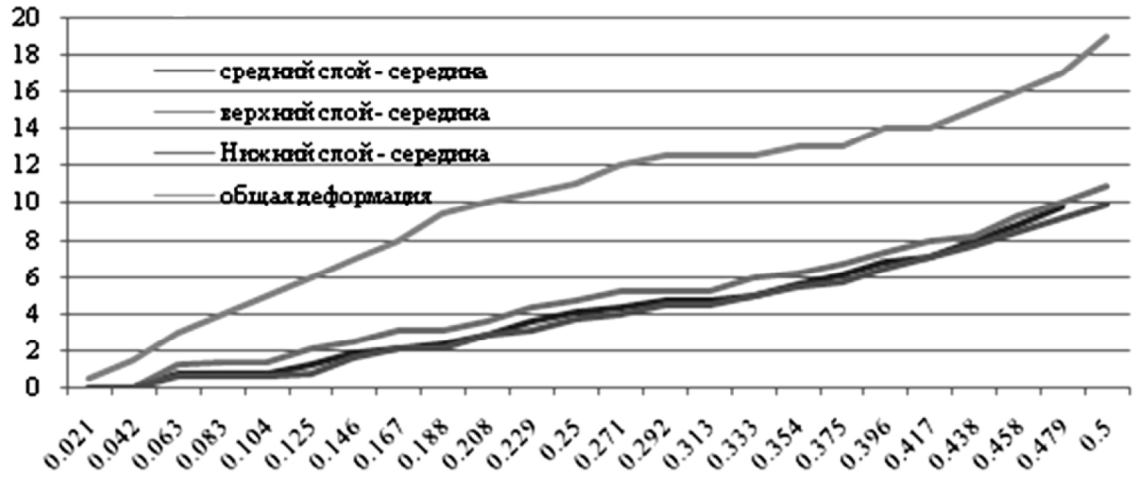


Рис. 2. График зависимости деформаций от напряжения по средней зоне для первого типа

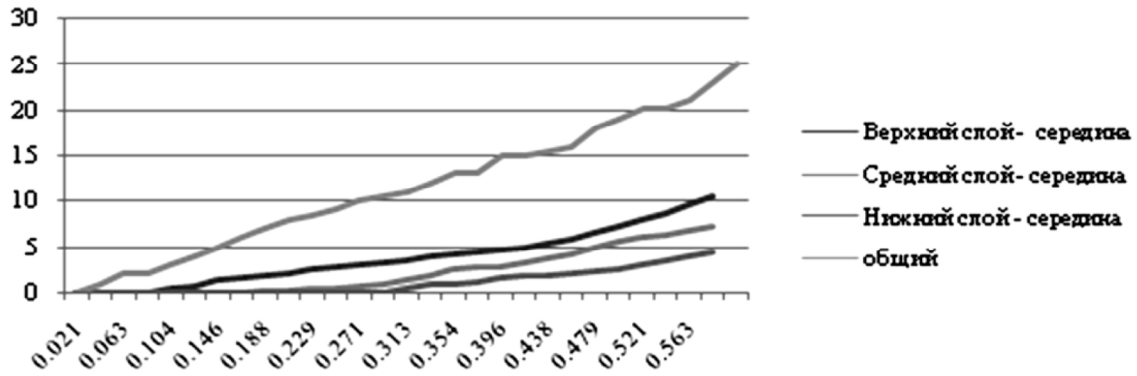


Рис. 3. График зависимости деформаций от напряжения по средней зоне для второго типа

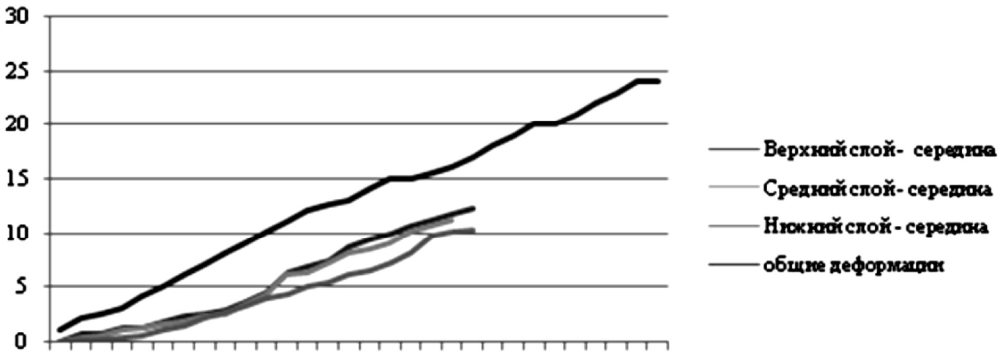


Рис. 4. График зависимости деформаций от напряжения по средней зоне для третьего типа

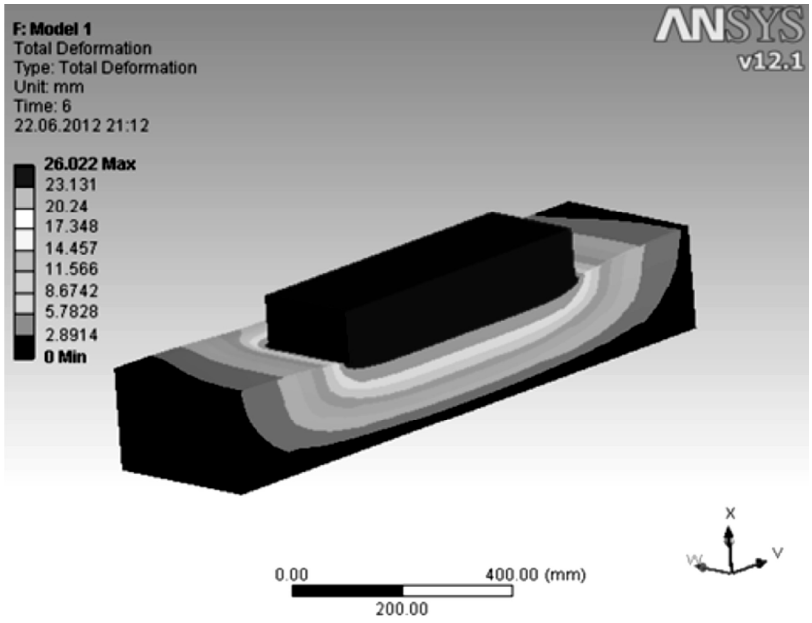


Рис. 5. Изополя деформаций для первого типа

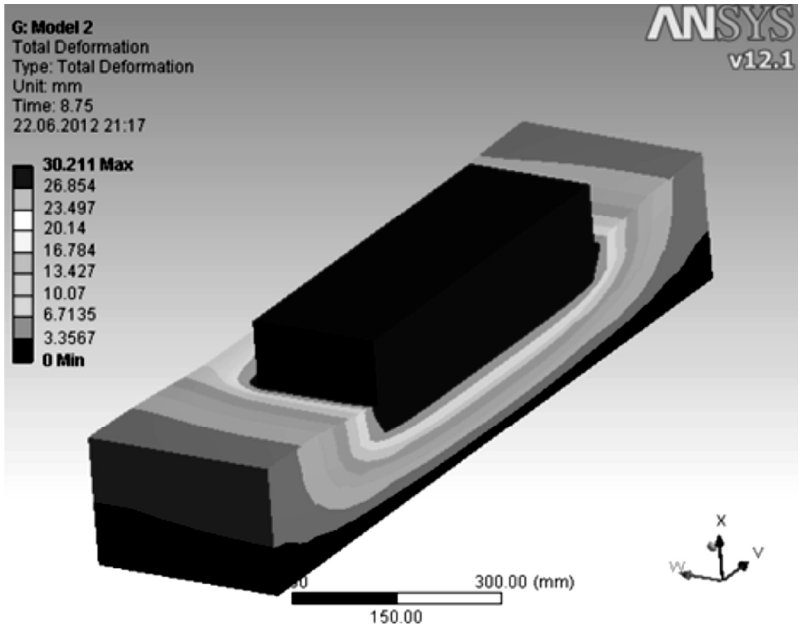


Рис. 6. Изополя деформаций для второго типа

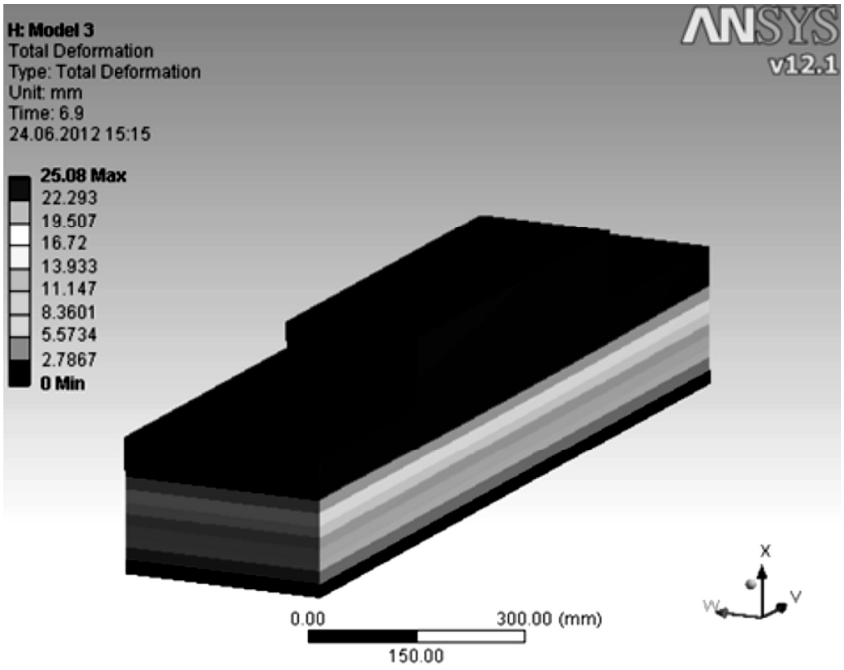


Рис. 7. Изополя деформаций для третьего типа

В результате сопоставления экспериментальных данных и результатов, полученных при численном моделировании, наблюдается сходство картины распределения деформаций по слоям кровельного пирога.

На основании полученных при испытании кровельных пирогов данных выработаны рекомендации по установке фундаментов балластного типа на кровельный ковер здания:

- под фундамент балластного типа необходимо использовать более плотный верхний слой, например, экструдированный пенополистирол, либо организовывать кровельный состав с использованием верхнего слоя фанеры;
- фундамент рекламной конструкции необходимо устанавливать на расстоянии хотя бы 20 см от края ковра во избежание выдавливания утеплителя с краев.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 2003. – 43 с.
2. ГОСТ 2678-94. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний. – М., 2003.
3. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – М., 1996.

Shmelev G.N. – candidate of technical sciences, professor
E-mail: shmelev@kgasu.ru
Islamov A.F. – magister
E-mail: kazanlion@mail.ru
Krupin V.P. – engineer
E-mail: vol-pin@mail.ru
Susarov A.V. – engineer
E-mail: susarovav@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The study of the soft roof of the advertising structures

Resume

Roof advertising structure characterized by a large number and variety of used parts and materials (Neon, LEDs, large letters, light boxes, etc.), the complexity of carrying a metal frame in accordance with acceptable standards of power, and wind loads. Typical moments when placing roof systems are load-bearing capacity of roof covering and roof of the contact resistance. Installation of outdoor advertising and advertising structures in the cities has severe limitations. The main reason for this lies in the requirements for the safety of people whose lives may be compromised due to errors in the design of outdoor advertising and ignore the rules of construction for installation of advertising designs. Thus the question of placing advertising on a building roof structures are given as well as the calculation, not enough attention, which raises the shotgun approach to its installation. This area requires a more serious approach both in the choice of mounting options and implement the selected option, and in the proper operation during the life of the structure.

Keywords: rooftop advertising structures, ballast mounting, soft roofing, insulation.

References

1. SNIP 2.01.07-85 *. Load and impact. – M., 2003. – 43 p.
2. GOST 2678-94. Rolled roofing and waterproof materials. Methods of testing. – M., 2003.
3. GOST 17177-94. Thermal insulating materials and products for building application. Test methods. – M., 1996.

УДК 624.154
Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Брехман А.И. – доктор технических наук, профессор
E-mail: brechman@kgasu.ru
Королева И.В. – старший преподаватель
E-mail: koroleva@kgasu.ru
Иванова О.А. – магистрант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Прочность и деформации песчаных грунтов при трехосном циклическом нагружении

Аннотация
В статье приведены результаты экспериментальных исследований деформаций и прочности песчаных грунтов при циклических нагружениях, проведенных в лаборатории грунтоведения кафедры оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КазГАСУ. Получены новые экспериментальные данные о закономерностях изменения деформаций и прочностных показателей песчаных грунтов в условиях циклического трехосного сжатия. Выполнен анализ результатов исследований и установлены аналитические зависимости поведения песчаных грунтов при циклических нагружениях.
Ключевые слова: циклическое нагружение, песок, трехосное сжатие, объемные деформации, модуль деформации.

Грунтовые основания фундаментов зданий и сооружений, а также автомобильных и железных дорог, кроме статических, подвергаются воздействию различных циклических нагрузок, требующих особого внимания при расчетах и проектировании (рис. 1).

Рис. 1. Реакция грунтов на динамические воздействия

В связи с этим возникает необходимость в проведении экспериментальных и теоретических исследований прочности и деформируемости песчаных грунтов при циклических нагружениях.

В целях экспериментального изучения деформируемости и прочности песчаного грунта при воздействиях на него циклических нагрузок и установления некоторых закономерностей в лаборатории грунтоведения кафедры оснований фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КазГАСУ была проведена серия испытаний в пневматическом стабилометре системы «АСИС».

В качестве испытуемого грунта был принят песок со следующими физическими характеристиками: $r = 2{,}0\,\frac{г}{см^3}$; $r_s = 2{,}65\,\frac{г}{см^3}$; $W = 24\,\%$; $j = 35^0$; $e = 0{,}325$. Образцы грунтов изготавливались в соответствии с приложением «В» ГОСТ 30416-96. «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения». Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» по неконсолидированно-недренированной схеме трехосного сжатия.

Для исследования деформационных свойств песчаных грунтов были использованы искусственно приготовленные грунты. Для установления предела прочности грунта при однократном статическом нагружении проведены статические испытания образцов грунта при девиаторном нагружении по схеме «раздавливание» при заданном значении бокового давления.

Циклические испытания грунта проводились по следующей методике: испытуемый образец подвергался всестороннему обжатию в течение 30 минут, затем к образцу прикладывалась вертикальная нагрузка ступенями по 10 %. После достижения заданной величины относительной вертикальной деформации ($e_{цик}$) начиналось циклическое воздействие с амплитудой разгрузки 80 %, при этом циклы вертикального нагружения прикладывались непрерывно без ожидания условной стабилизации относительных деформаций N раз. Если образец выдерживал N циклов, то прибор доводил его до разрушения ступенчато по схеме раздавливания. Все параметры нагружения принимались по ГОСТ 12248-2010 для схемы неконсолидированно-недренированных испытаний.

При проведении испытаний были приняты следующие параметры нагружения: величина всестороннего обжатия $s_2 = s_3 = 100, 200, 300, 400\ кПа$, время выдержки образцов в эксикаторе после изготовления образца $t_1 = 1$ час и $t_2 = 73$ часа, ступень вертикального нагружения – 10 % величины всестороннего обжатия, предельная деформация при разрушении – 15 % (11 мм), интервал времени между ступенями нагружения – 15 сек, амплитуда нагружения – 80 % от максимального значения девиатора напряжений.

На рис. 2 представлен график изменения вертикальных деформаций при циклическом нагружении.

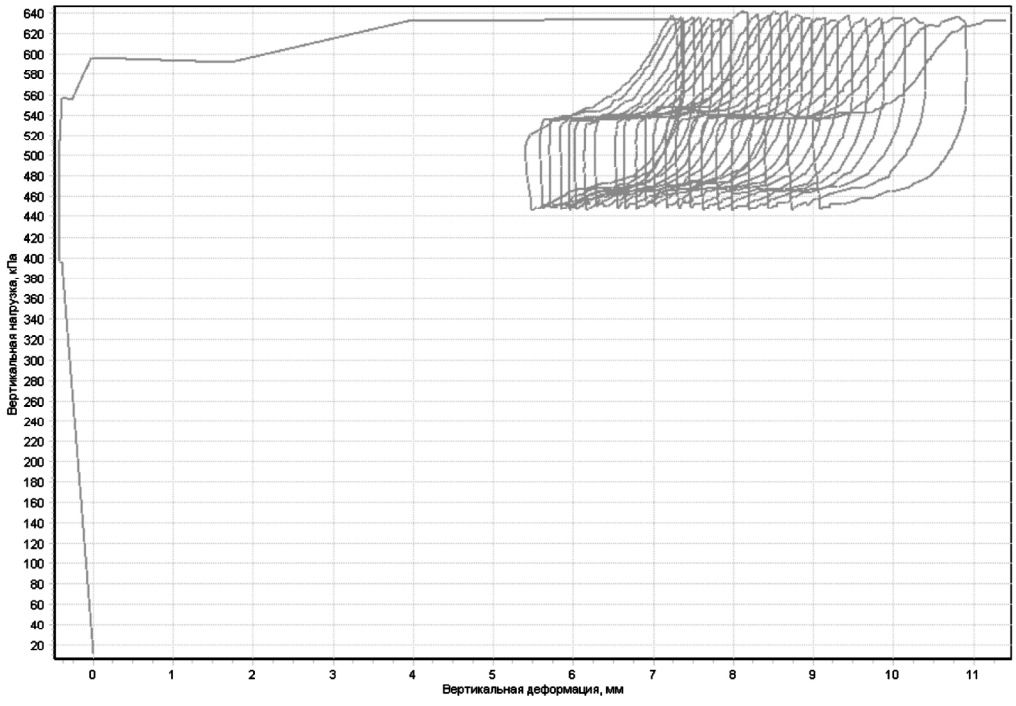


Рис. 2. Зависимость продольных деформаций от вертикального напряжения при циклическом испытании песка в стабилометре

По результатам циклических испытаний в приборе трехосного сжатия стабилометрического типа получены графические зависимости относительных вертикальных деформаций, объемных деформаций, линейного и объемного модулей деформации от количества циклов нагружения (рис. 3-6).

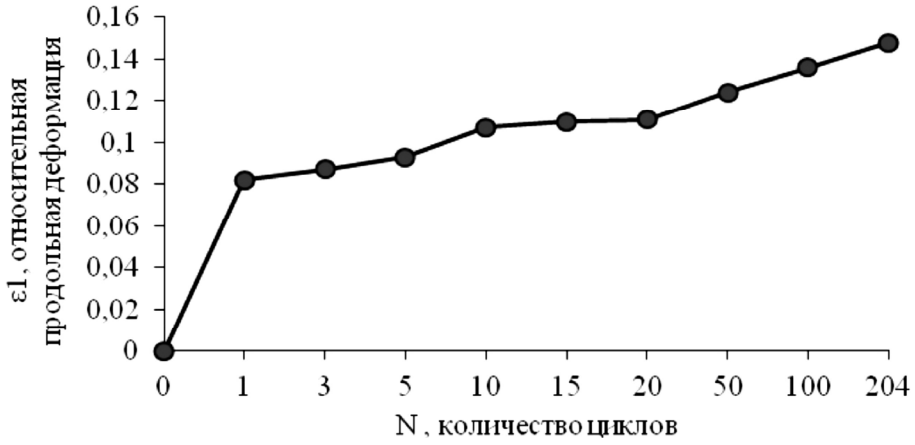


Рис. 3. Влияние числа циклов на изменение значений максимальных относительных продольных деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

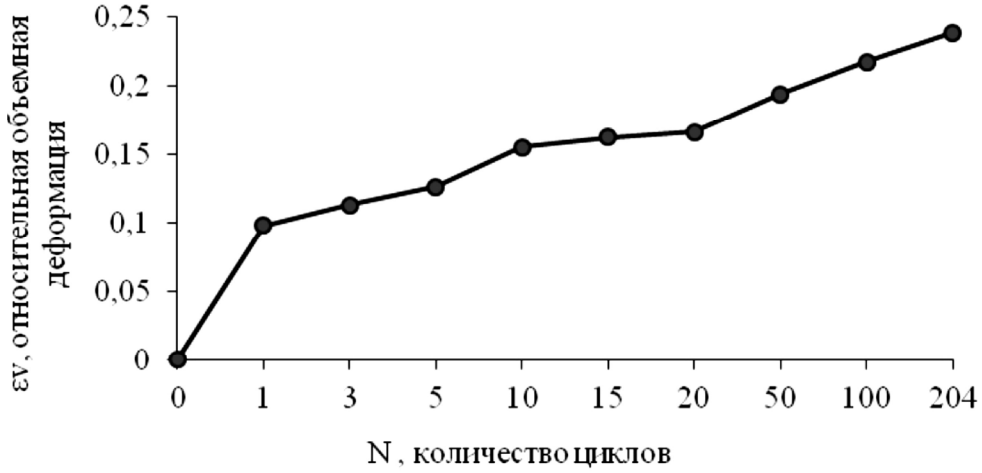


Рис. 4. Влияние числа циклов на изменение значений максимальных относительных объемных деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

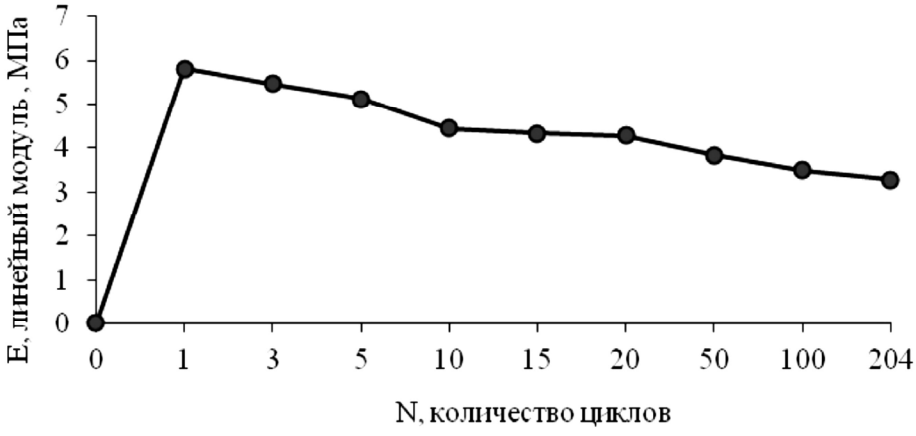


Рис. 5. Влияние числа циклов на изменение линейного модуля деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

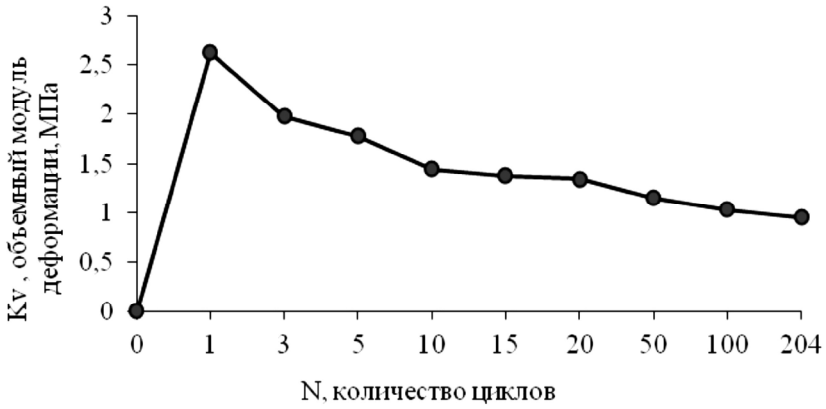


Рис. 6. Влияние числа циклов на изменение объемного модуля деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

По результатам серии испытаний установлена зависимость прочности образцов песчаного грунта при циклическом трехосном нагружении от количества циклов до разрушения (рис. 7).

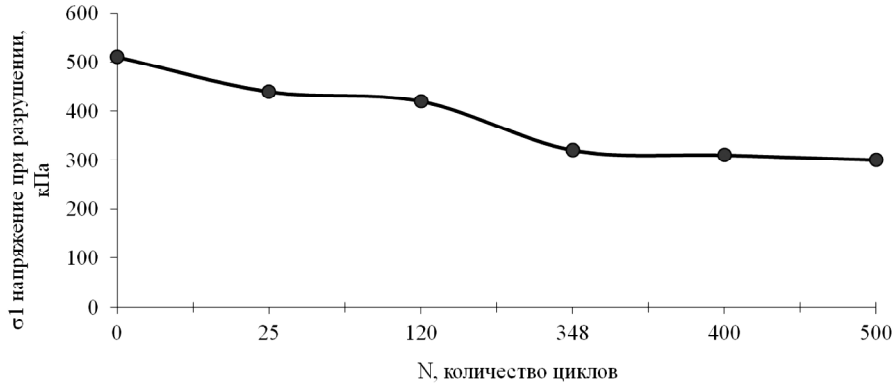


Рис. 7. Кривая Веллера, полученная при циклическом нагружении песка в стабилометре с боковым обжатием $s_3 = s_2 = 100$ *кПа*

По результатам серии циклических нагружений с различной величиной бокового давления построены графики зависимости относительных продольных деформаций образца от величины вертикальных напряжений (рис. 8).

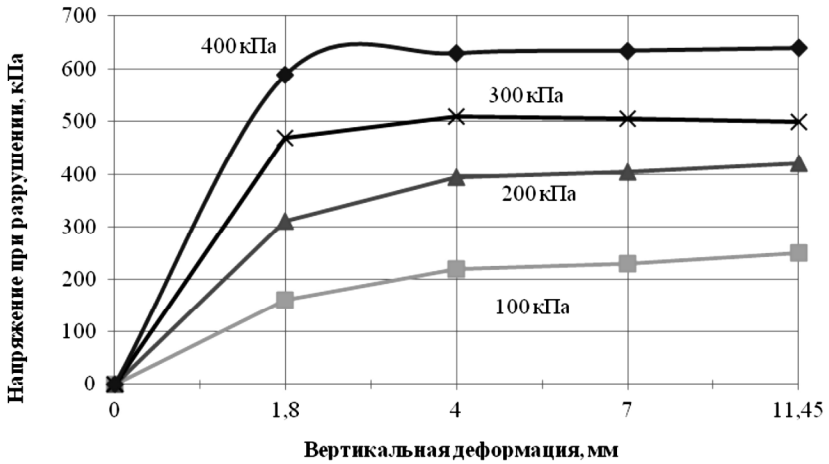


Рис. 8. Зависимость относительных продольных деформаций от вертикального напряжения для различных боковых обжатий при циклическом испытании песка в стабилометре

Обработка результатов проведенных экспериментальных исследований и их анализ позволили предложить следующие уравнения для оценки изменения основных механических характеристик грунта при трехосном циклическом нагружении:

- объемный модуль деформации от количества циклов:

$$Kv(N) = \lg(N) \cdot k - N^{\frac{2}{l}} + m, \quad (1)$$

- линейный модуль деформации от количества циклов:

$$E(N) = \lg(N) \cdot a - N^{\frac{2}{b}} + c, \quad (2)$$

- относительная продольная деформация от количества циклов:

$$e_1 = e^{\frac{N}{r}} + \frac{N}{s} - 1, \quad (3)$$

- относительная объемная деформация от количества циклов:

$$e_v = e^{\frac{N}{z}} + \frac{N}{y} - 1, \quad (4)$$

где $k, l, m, a, b, c, r, s, z, y$ – коэффициенты, получаемые опытным путем, для песчаного грунта они зависят от времени выдержки грунта, его влажности и значения всестороннего давления обжатия образца в стабилометре ($s_2 = s_3$).

Таким образом, на основании анализа результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований деформируемости и прочности песчаного грунта при циклических нагружениях, и уравнений изменения механических свойств, можно сделать следующие выводы:

– циклическая прочность образцов на базе 500 циклов уменьшается на 11 % по сравнению со статической прочностью образцов при аналогичных параметрах нагружения;

– в образцах песчаного грунта, не разрушившихся в процессе циклического нагружения, установлено увеличение прочности на 9 % по сравнению с образцами, не подвергавшимися циклическому нагружению;

– деформации и напряжения грунта при различных значениях бокового давления имеют различные соотношения между деформациями и прочностью в одинаковый момент времени нагружения. Изменение величины бокового давления $s_2 = s_3$ от 100 кПа до 400 кПа приводит к изменению циклической прочности от 1,8 и до 2,8 раз.

Список литературы

1. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 288 с.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
4. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Brechman A.I. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: brechman@kgasu.ru
Koroleva I.V. – senior lecturer
E-mail: koroleva@kgasu.ru
Ivanova O.A. – graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Strength and deformation of sandy soils under triaxial cyclic loading

Resume

Ground base foundations of buildings and structures, as well as roads and railways also are exposed to different static cyclic loading. For the experimental study of the deformability and strength of sandy soil when subjected to cyclic loads and to establish some regularities in the laboratory of the Department of Soil base of foundations, structural dynamics and engineering geology of KSUAE a series of tests in the pneumatic system stabilometr «ACIS» were held. According to the results of cyclic tests in a triaxial test camera stabilometr type graphic dependences of the relative vertical deformation, volume strain, linear and volumetric deformation of the modules on the number of loading cycles were obtained. The obtained results of experimental studies have established the basic laws of linear and volumetric strain of soil units of linear and volumetric strain changes in the strength of sandy soil in different modes of triaxial cyclic loading. The analysis of the results of a series of tests allowed to establish the dependence of the strength of samples of sandy soil under cyclic triaxial loading on the number of cycles to failure.

Keywords: cyclic loading, sand, triaxial compression, volumetric strain, modulus of deformation.

References

1. Voznesensky E.A. The behavior of soils under dynamic loads: a tutorial. – M.: Publishers MSU, 1997. – 288 p.
2. Tsytovich N.A. Soil mechanics. – M.: Publishers «Higher school», 1983. – 288 p.
3. GOST 12248-2010. Soils. Laboratory methods for determining the characteristics of strength and deformability.
4. GOST 30416-96. Soils. Laboratory tests. The general provisions.

УДК 624.15
Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Брехман А.И. – доктор технических наук, профессор
E-mail: brechman@kgasu.ru
Пискунов А.А. – доктор технических наук, профессор
E-mail: a.piskunov@is-md.ru
Королева И.В. – старший преподаватель
E-mail: koroleva@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Расчетная модель деформирования грунтового основания трубопровода

Аннотация

Объектом моделирования являются основание и строительные конструкции теплотрассы. Прокладка трубопроводов теплотрассы выполнена в земляной насыпи высотой от 1,7 до 3,4 м. Исследуемая площадка являлась подтопленной, местность заболочена. Грунты основания находятся в зоне колебания грунтовых вод. При создании модели рассматривалось совместное деформирование насыпи теплотрассы и трубопровода в условиях длительного деформирования основания насыпи. Авторами разработана методика создания расчетной модели грунтового массива основания и трубопровода. Раскрыт характер деформирования основания и развития напряжений в трубопроводе. Показан характер развития напряжений, перемещений и деформаций трубопровода, опор трубопровода и грунта основания. Разработана модель совместного деформирования системы «грунтовое основание – грунтовая насыпь – трубопровод – опоры трубопровода».

Ключевые слова: расчетная модель, грунтовое основание, грунтовая насыпь, трубопровод.

Объектом моделирования являлась подземная теплотрасса бесканальной прокладки, из стальных труб с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Прокладка трубопроводов теплотрассы, согласно [3], выполняется в земляной насыпи высотой от 1,7 до 3,4 м (в пределах исследуемой части теплотрассы от УТ-2 до УТ-10), абсолютные черные отметки поверхности земли до возведения насыпи составляют от 67,90 м до 69,90 м, проектные абсолютные отметки верха насыпи – от 70,70 м до 71,60 м. План теплотрассы приведен на рис. 1.

В качестве тепловодов применены стальные трубы из стали марки 20, наружным диаметром от 325 мм до 630 мм и толщиной стенки от 7 до 8 мм (на рассматриваемом участке теплотрассы). Трубопроводы смонтированы в две параллельные нитки, расстояние между осями труб составляет от 830 до 1050 мм.

По длине рассматриваемого участка теплотрассы выполнены тепловые камеры (УТ), неподвижные опоры (Н) и дренажные колодцы.

Ввод трубопроводов в тепловые камеры выполняется в стальных гильзах, которые закладываются при монтаже стен камеры.

Расстояние участков теплотрассы между тепловыми камерами составляет от 87,5 м до 162 м.

Неподвижные опоры трубопроводов устраиваются около тепловых камер и представляют собой сооружение из монолитного железобетона, состоящее из горизонтальной плиты, передающей нагрузку от трубопроводов на грунт основания и вертикальной стенки, через которую проходят нитки трубопроводов.

Плитная часть неподвижной опоры имеет толщину от 500 до 700 мм, длину от 3,5 до 6,1 м и ширину от 3,5 до 5,1 м. Под плитой опоры выполняется бетонная подготовка из бетона класса В 7,5 толщиной 100 мм. Стенка неподвижной опоры имеет толщину 750 мм. Общая высота опоры составляет от 2,3 до 2,8 м. Согласно [3], основанием неподвижной опоры служит суглинок тугопластичной консистенции.

Прокладка трубопроводов теплотрассы выполнена в земляной насыпи высотой от 1,7 до 3,4 м. Исследуемая площадка являлась подтопленной, местность заболочена. Грунты основания насыпи находятся в зоне колебания уровня грунтовых вод.

В связи с тем, что основанием насыпи служат слои слабых грунтов на глубину до 5,2 м от черной отметки земли, исследуемая насыпь может значительно проседать из-за уплотнения грунта основания и его выжимания в стороны из-под насыпи. При этом глубина сжимаемой толщи может равняться ширине насыпи снизу.

Поэтому выполняется проверочный расчет прогнозной осадки основания. Для расчета осадок основания выбираем участок трубопровода между неподвижными опорами (рис. 1а).

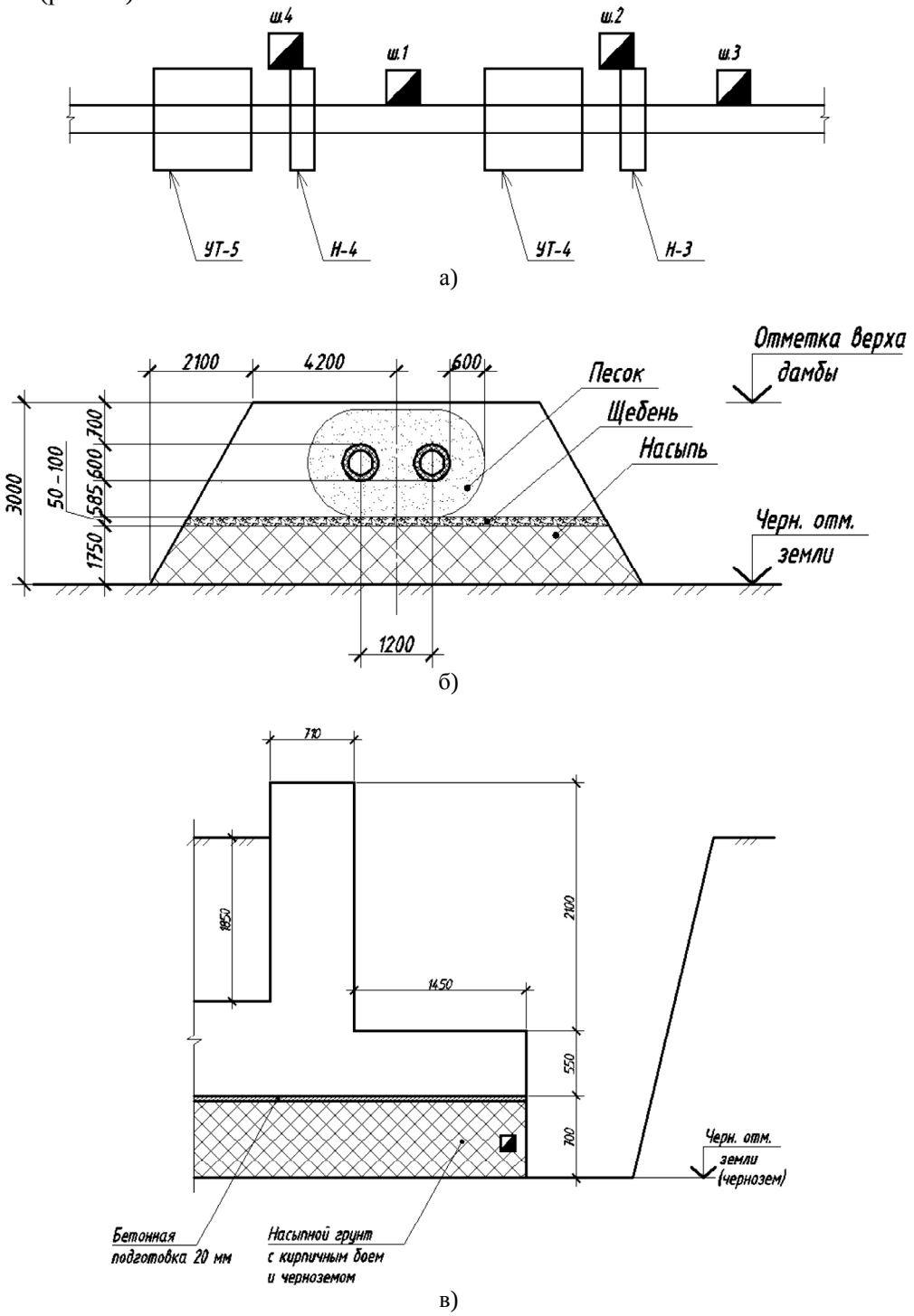


Рис. 1. а) схема участка теплотрассы; б) схематичный разрез тела насыпи; в) схематичный разрез опоры трубопровода

Схема к расчету осадки насыпи приведена на рис. 2 и в табл.

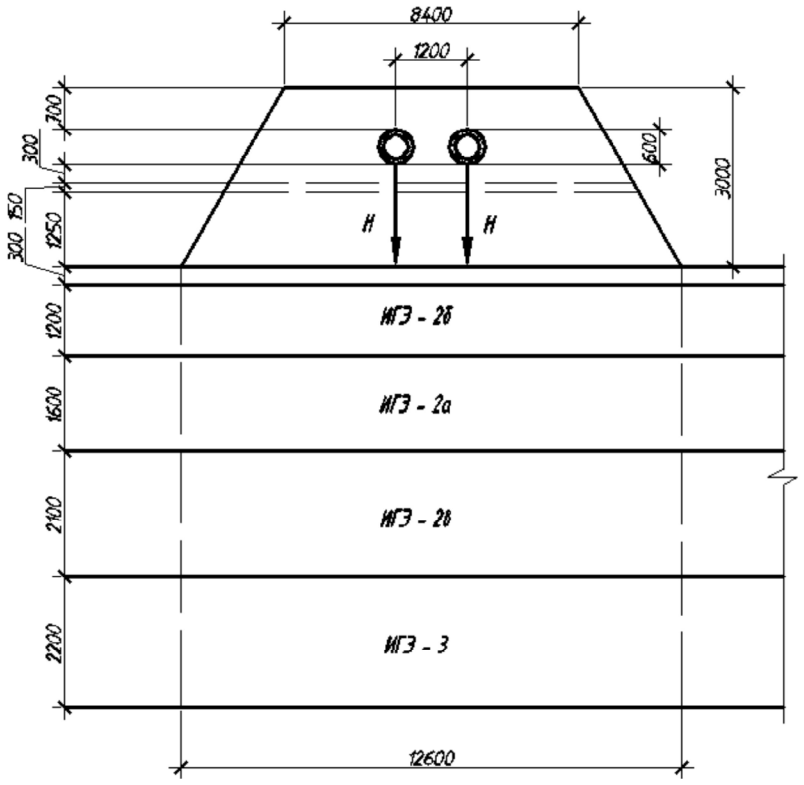


Рис. 2. Схема к расчету осадки основания насыпи

Таблица

Основные физико-механические характеристики грунта

Наименование	r, г/см^3	r_s, г/см^3	j, град	c, кПа	E, МПа	e	W
ИГЭ – 2б	1,90/1,91	2,71	8,7/7,8	7,3/6,5	9,3/8,0	0,802	0,26
ИГЭ – 2а	1,90/1,92	2,71	13,9/11,3	12,1/10,1	11,0/8,6	0,780	0,25
ИГЭ – 2в	1,87/1,88	2,71	13,9	5,8	4,1	0,783	0,24
ИГЭ – 3	1,92/1,93	2,65	30,9	0,8/0,7	21,5	0,658	

При обеспеченной устойчивости основания производится расчет его осадки под действием внешних нагрузок от насыпи и нагрузок от трубопровода. Осадка основания насыпи определяется как сумма вертикальных деформаций по оси насыпи всех слоев основания в пределах активной зоны деформирования. В качестве нижней границы активной зоны деформирования принимается горизонт, на котором дополнительные напряжения от внешней нагрузки s_{zp} не превышают 20 % от собственного веса грунта s_{zq}.

Конечная величина стабилизированной осадки определяется методом послойного суммирования с использованием зависимости:

$$S = \sum_{i=1}^{h} e_{pz_i} \cdot h_i, \qquad (1)$$

где h_i – мощность i-го расчетного слоя;

e_{pz_i} – относительная деформация грунта при компрессионном сжатии при давлениях в диапазоне от природного s_{zq} до суммарного значения ($s_{zq} + s_{zp}$) на данном горизонте.

Расчет осадки основания насыпи производится для четырех значений давления на основание P_1, P_2, P_3, P_4 [2]:

$$P_1 = P_{без}^{нач}, P_2 = P_{без}^{нач} + \Delta P, P_3 = P_{без}^{нач} + 2\Delta P, P_4 = P_{рас}^{нач}.$$

Безопасная нагрузка для условий быстрой отсыпки $\left(P_{без}^{нач}\right)$ определяется по формуле:

$$P_{без}^{нач} = \frac{c_{нач} + g_{ср} \cdot z \cdot tg j_{нач}}{B}, \quad (2)$$

где $j_{нач}, c_{нач}$ – угол внутреннего трения и удельное сцепление слабого грунта основания при природной влажности-плотности на глубине z;

z – глубина расположения расчетного горизонта от поверхности основания насыпи;

$g_{ср}$ – средний удельный вес грунтовой толщи, расположенной выше горизонта z с учетом взвешивающего действия воды;

B – функция угла внутреннего трения $j_{нач}$ и формы эпюры нагрузки.

Расчетная нагрузка для случая быстрой отсыпки насыпи $\left(P_{без}^{нач}\right)$ определяется из выражения:

$$P_{без}^{нач} = g_H\left(H_p + S_k - h_{Hb}\right) + g_{H.вз.}h_{Hb}, \quad (3)$$

где $g_{H.вз.}$ – удельный вес грунта ниже уровня грунтовых вод;

H_p – расчетная высота насыпи;

S_k – конечная осадка насыпи;

h_{Hb} – высота слоя грунта ниже уровня грунтовых вод.

После определения значений осадки насыпи и неподвижных опор вычисляются деформации трубопровода. Трубопровод, уложенный в траншею насыпи, испытывает нагрузки, вызванные весом грунта и весом жидкости в трубе, и вступает во взаимодействие с засыпным материалом и стенками траншеи. На практике это означает, что окружающий грунт и стенки траншеи удерживают трубу от деформации. Положительное влияние грунта можно рассматривать как эффективное снижение нагрузки на стенки трубы в результате бокового отпора грунта. Деформирование длинной трубы, расположенной внутри оседающей насыпи (длина ≈ 160 м), жестко закрепленной на неподвижных опорах, происходит по сложной траектории.

Для этого производится компьютерное моделирование длинного гибкого стержня (при помощи программы ЛИРА 9.4). При создании модели рассматривается совместное деформирование насыпи теплотрассы и трубопровода в условиях длительного деформирования основания насыпи.

При моделировании совместного деформирования системы «грунтовое основание насыпи – грунтовая насыпь – трубопровод – опоры трубопровода», трубопровод представляется в виде длинного гибкого стержня на упруго оседающих (податливых) опорах [1].

Определение внутренних усилий и деформаций трубопровода производилось с использованием расчетного комплекса ЛИРА 9.4, реализующего метод конечных элементов. При этом конструкция трубопровода моделировались балочными элементами (кэ № 10), а для учета податливых свойств грунтов, являющихся основанием трубопровода, использовались устанавливаемые с шагом 1 м одноузловые конечные податливые конечные элементы № 51 с жесткостью K_1. Определение последней производилось на основании модели Винклера по формуле:

$$K_1 = \frac{P_1}{S_1} \cdot A_1, \quad (4)$$

где P_1 – среднее давление;

S_1 – осадка насыпи;

A_1 – площадь опирания трубопровода в пределах полосы шириной $b = \frac{pd}{2}$,

где d – диаметр трубы.

Для учета податливости крайних опор были также введены податливые связи жесткостью:

$$K_2 = \frac{P_2}{S_2} \cdot A_2, \qquad (5)$$

где P_2 – среднее давление под подошвой неподвижной опоры;

S_2 – осадка неподвижной опоры;

A_2 – площадь подошвы опоры.

Расчетная схема представлена на рис. 3.

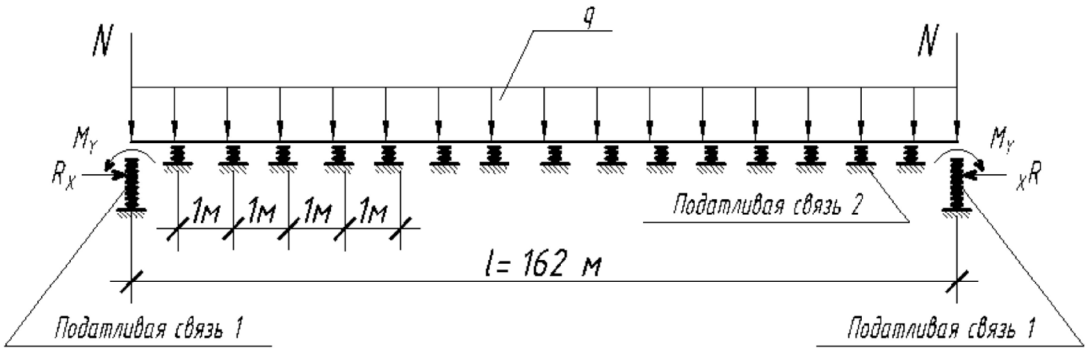


Рис. 3. Расчетная схема трубопровода

Результаты численного исследования совместного деформирования системы «грунтовое основание – насыпь – трубопровод» приведены на рис. 4.

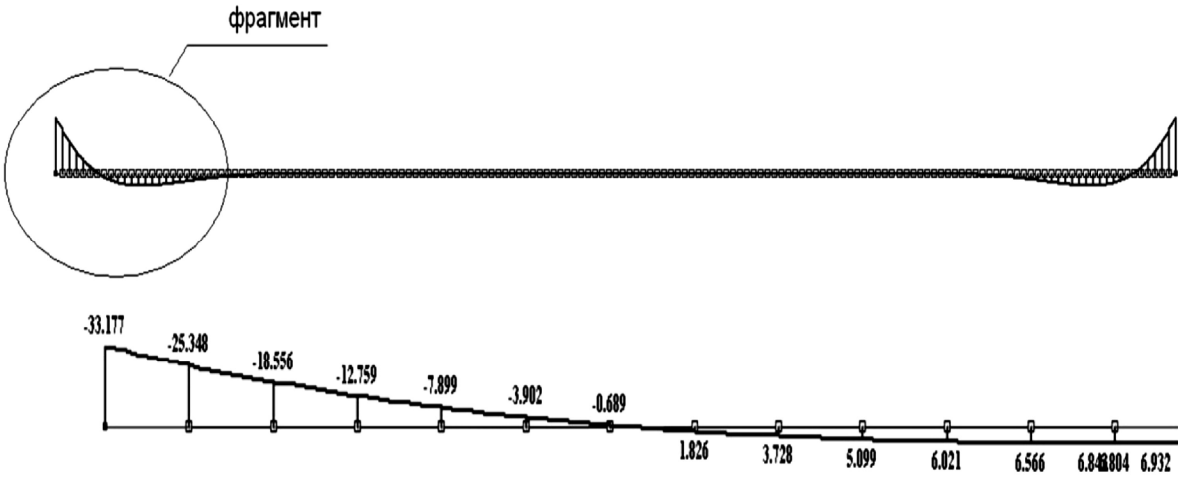


Рис. 4. Эпюра изгибающих моментов трубопровода

Как видно из рис. 4, учет совместного деформирования всех элементов системы приводит к существенному снижению деформаций (осадок) трубопровода.

Сопоставление результатов расчета осадок трубопровода показало хорошую сходимость их фактических значений осадок, полученных в процессе геотехнического мониторинга (отклонение ≈ 15 %) (рис. 5).

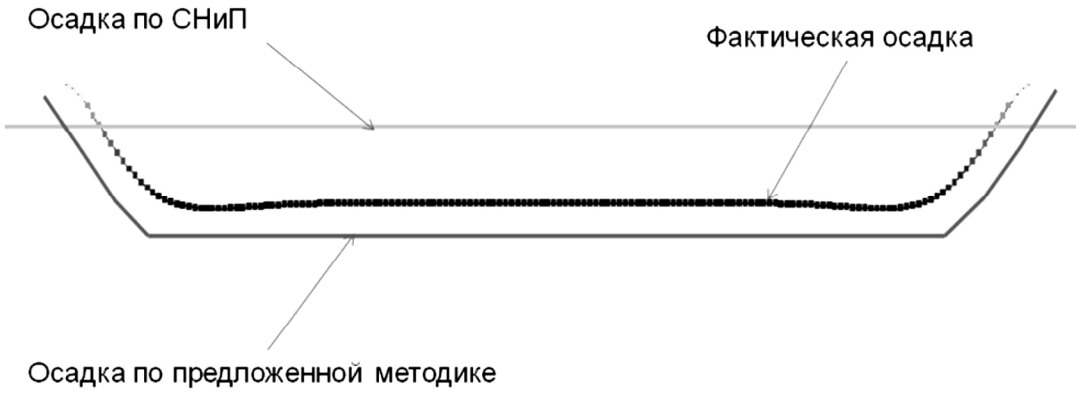


Рис. 5. Сопоставление результатов расчета с фактическими данными мониторинга

Вывод. Разработанная расчетная модель совместного деформирования системы «трубопровод – насыпь – грунтовое основание» с использованием схемы Винклера позволяет адекватно описывать деформирование стального трубопровода с учетом деформаций грунта насыпи и водонасыщенного основания насыпи (отклонение между расчетными и фактическими данными осадок составляет не более 15 %).

Список литературы

1. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Нуриева Д.М. Моделирование деформирования грунтового основания трубопровода // Сб. трудов научн.-техн. конф. «Численные методы расчетов в практической геотехнике» (Санкт-Петербург, 1-3 февраля 2012 г.). – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2012. – С. 71-76.
2. Руководство по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. – М.: Транспорт, 1978.
3. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте: «Инженерные сети жилого комплекса «Светлая долина» М-1 Высокогорского района РТ», ООО «Казаньприборпроект». – Казань, 2007.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov@kgasu.ru
Brechman A.I. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: brechman@kgasu.ru
Piskunov A.A. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: a.piskunov@is-md.ru
Koroleva I.V. – senior lecturer
E-mail: koroleva@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Calculation model of deformation of the pipeline ground base

Resume

The object model is the foundation and building construction heating. Piping heating performed in an earthen embankment height from 1,7 to 3,4 m. The investigated area was waterlogged, swampy terrain. Primers are located in the base zone of groundwater fluctuations. When you create a model of joint deformation of embankment considered heating and piping in a long-term deformation of the embankment foundation. The authors developed a method of creating computational models of soil mass basis and the pipeline. Revealed the nature of the

deformation of the base and the stresses in the pipeline. The nature of the development of stresses, displacements and deformations of the pipeline, pipe supports and foundation soil. A model of joint deformation of the «ground foundation – dirt mound – pipeline – pipeline support». The developed computational model of joint deformation of the «pipeline – barrow – subgrade» using the Winkler scheme can adequately describe the deformation of steel pipe, taking into account the deformation of soil mounds and mounds of water-saturated grounds.

Keywords: calculation model, ground base, ground embankment, the pipeline.

References

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V., Nuriyeva D.M. Modeling of deformation subgrade piping // Prog. scientific-technical works. conference. «Numerical methods of calculations in practical geotechnics» (St. Petersburg, February 1-3, 2012). – St. Petersburg. Univ Civil Engineering, 2012. – P. 71-76.
2. Guidelines for designing road embankment on soft ground. – M.: Transport, 1978.
3. Report on engineering-geological surveys on the subject: «Engineering Network of the residential complex «Light Valley» M-1 RT Vysokogorsky area RT», LLC «Kazanpriborproekt». – Kazan, 2007.

УДК 662.23
Мулюков Э.И. – доктор технических наук, профессор
E-mail: urm_nat@list. ru
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Адрес организации: 450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, д. 195

О дисциплине «Инженерно-строительная карстология»

Аннотация

В работе изложены некоторые фрагменты дисциплины «Инженерно-строительная карстология», в т.ч. а) механизм растворения пород; б) противокарстовые фундаменты, позволяющие произвести реставрацию основания и фундамента существующего здания; в) плитный фундамент с технологическими каналами, позволяющий ликвидировать последствия проседания, провала; г) спаренные многосекционные сваи для усиления оснований и фундаментов существующих зданий. Рассмотрен сборный ленточный фундамент, армируемый в процессе монтажа как жесткая балка-стенка. Сформулирован закон инженерно-строительной карстологии.

Ключевые слова: жесткая балка-стенка, «Инженерно-строительная карстология», плитный фундамент, противокарстовые фундаменты, сборный ленточный фундамент, спаренные многосекционные сваи.

Введение

Инженерно-строительная карстология (ИСК) формируется с 80-х гг. XX в. как один из разделов инженерной геологии. ИСК тесно связана со строительными дисциплинами: инженерная геология, химия, механика фунтов, основания и фундаменты, подземные сооружения, строительные материалы, строительная механика, надежность и др.

В условиях Башкирии ИСК активно развивается в связи с массовым промышленным и жилищным строительством в Уфе и др. городах, на площадках, предрасположенных к карстопроявлениям [1]. За прошедшие годы в рамках ИСК накоплен определенный опыт, положенный в основу региональных документов (ВСН 2-86, РСН 1-91, ТСН 302-50-95.РБ), отраженный в публикациях, авторских свидетельствах и патентах [2]. ИСК преподается в УГНТУ на архитектурно-строительном факультете и в Институте дополнительного профессионального образования с 2002 г.

1. О растворении пород

Процесс растворения пород в воде происходит в гетерогенной системе и сопровождается возникновением поверхностного концентрированного слоя, взаимодействующего с окружающей жидкой фазой (водой), имеющей какую-то (обычно уменьшенную) концентрацию. При этом самопроизвольно возникает стремление системы к выравниванию концентраций, что зависит от скорости диффузии, а также от факторов, её ускоряющих.

В нормальных условиях процесс протекает в две стадии. *На первой стадии* вокруг/на поверхности, как отмечено выше, образуется диффузионный слой в виде пленки насыщенного раствора, благодаря отрыву (растворению) полярными молекулами воды молекул породы. *На второй стадии* происходит отвод растворенного вещества из диффузионного слоя в проточную воду путем взаимного проникновения соприкасающихся жидкостей. Это происходит самопроизвольно благодаря тепловому движению молекул в направлении меньшей концентрации вещества и ведет к выравниванию химического потенциала в закрытой (изолированной) схеме. При проточной (открытой) схеме возможность отвода вещества из слоя зависит от концентрации вещества в проточной воде (рис. 1).

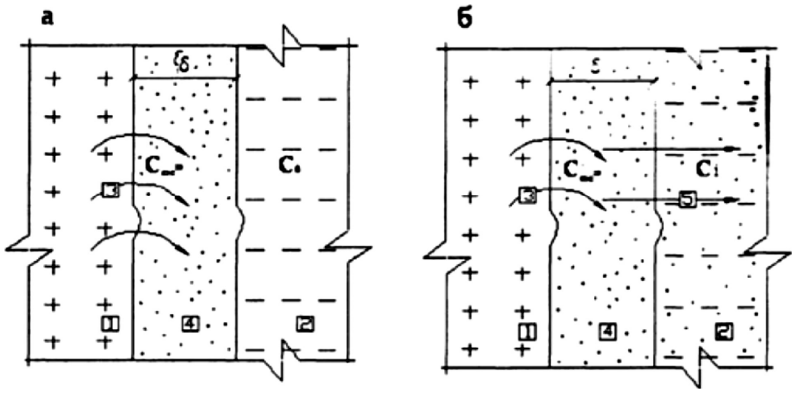


Рис. 1. Механизм растворения породы: а – I стадия; б – II стадия; 1 – порода; 2 – вода проточная; 3 – отрыв молекул породы; 4 – сформированный диффузионный слой δ; 5 – отвод растворённого вещества; c_∞ – концентрация растворённого вещества в диффузионном слое (растворимость); c_0, c_i – концентрация вещества в проточной воде на I и II стадиях растворения

В обеих стадиях концентрация вещества в диффузионном слое сохраняется насыщенной, равной растворимости породы, благодаря продолжающемуся отрыву продукта из твердой фазы. Скорость диффузии вещества на второй стадии при отсутствии внешних воздействий описывается первым законом *А. Фика*, устанавливающим пропорциональность диффузионного потока частиц градиенту их концентрации [3]:

$$v = D\frac{c_\infty - c}{\delta}, \quad (1)$$

где v – скорость диффузии; D – коэффициент диффузии; δ – толщина диффузионного слоя (пленки), через который идет диффузия; c_∞ – предельная концентрация вещества (растворимость) в пленке; c – концентрация вещества в жидкой фазе (в растворе), характеризующая минерализацию контактирующей воды.

Из формулы (1) видно, что при равенстве концентраций (c_∞ = c) растворение породы прекращается. Зависимость скорости растворения пород от окружающей температуры t °C описывается уравнением *С. Аррениуса*:

$$K = A\exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (2)$$

где К – константа скорости растворения для соответствующего типа карстующейся породы; А – множитель с размерностью [г·см$^{-2}$·сек$^{-1}$]; Е – энергия активации, определяющая скорость растворения при данной температуре; R – газовая постоянная; Т – температура термодинамическая по шкале Кельвина, Т = t °С +273,15 К.

Скорость диффузионных процессов при повышении температуры на один градус растет на 1... 3 % [3]. Это подтверждается на практике. Оказалось, что скорость развития карбонатного карста в тропиках повышается до скорости растворения сульфатного карста, характерной в умеренных широтах, что наблюдал В.И. Мартин на Кубе [4].

В работах А.Н. Щукарева и В. Нернста [5] показано, что процесс растворения пропорционален площади растворяющейся поверхности:

$$\pm\frac{dc}{d\tau} = S\cdot\frac{D}{\delta}(c_\infty - c), \quad (3)$$

где S – поверхность раздела фаз (контактирующая с водой поверхность).

Растворение породы ускоряется также при наличии трещин, кавернозности. Существенно процесс активизируется при дефектах в кристаллических решетках. Расклинивающее давление пленок жидкости в промежутках между твердыми поверхностями по Б.В. Дерягину и Е.В. Обухову также активизирует физико-химический процесс взаимодействия породы с водой.

Скорость растворения карстующейся породы в реальных условиях зависит от режима движения подземной воды. В ламинарном режиме растворение будет медленным, «спокойным», благодаря постоянной толщине диффузионного слоя и отсутствию перемешивания воды. Турбулентный режим нарушает сплошность диффузионного слоя, что существенно ускоряет процесс растворения. Естественно имеет значение pH среды и наличие в потоке нерастворимых тонкодисперсных фракций, что превращает подземную воду в суспензию, а собственно процесс взаимодействия породы с водой – в карстово-суффозионный. При этом наблюдается выщелачивание растворенных солей, нарушение микроагрегатной структуры грунтов (размыв) и вмывание в полости тончайших частиц породы с нисходящими токами воды.

Г.А. Максимович ввел понятие *кластокарст* [4], который наблюдается в обломочных породах (глинистых, песчанистых, конгломератных) вследствие растворения содержащихся в них таких солей, как сульфат, карбонат, галит. В кластокарсте гетерогенная реакция протекает в среде глинистой массы, в которой формируется осмотический процесс, представляющий фильтрационную аномалию, т.е. с иными закономерностями, чем вышеприведенные.

Естественный карстово-суффозионный процесс происходит в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, не стабильных в пространстве и во времени. Зачастую на него налагается антропогенный фактор. А различные модели процесса и прогнозы не всегда корреспондируются с реальностью. В связи с этим уместно вспомнить, что Ф.П. Саваренский и его коллеги, стоявшие у истоков становления инженерной геологии, проявляли озабоченность и призывали исключать «*в своей деятельности «гадательность» и упрощенческие подходы*» [6]. А геотехник *Н.Н. Маслов* отмечал, что «природная обстановка и реальные свойства грунтов и горных пород гораздо многообразнее и сложнее, чем это можно описать теми или иными формульными зависимостями» [7].

2. Растворимые минералы, горные породы и грунты

Характеристика пород. ГОСТ 25-100-95 на «Классификацию грунтов» содержит четыре класса, из которых I и II классы – осадочные породы. Они включают растворимые компоненты (табл. 1, графа 4): 1 – карбонатные; 2 – сульфатные; 3 – галогены; 4 – кластические (глинистые); 5 – просадочные (лессовые) грунты. В ту же графу 4 нами включены сульфидные породы типа 2а, залегающие на территории юго-восточной окраины Башкирии и вскрываемые в медно-серных рудниках.

1. Карбонаты – класс малорастворимых пород, растворимость равна примерно 0,07 г/л. Широко распространены в природе. Относятся к осадочным скальным породам. Имеют преимущественно ковалентный тип связи. Обладают достаточно высокой плотностью.

Образуют прослойки и мощные, до 60...80 м, пласты пермских горных пород, характерные, например, для центральной части Уфы с отм. 60... 180 м. Практическое отсутствие в таких сухих толщах полостей и низкое залегание УПВ (ниже отм. 80... 100 м) позволяет относить их к природным водоупорным экранам.

2. Сульфаты – класс распространенных хорошо растворимых пород, имеющих преимущественно $P > 10$ г/л. Только ангидрит, наиболее плотный из этой группы пород, малорастворим, т.е. $P < 2$ г/л. Однако гипс, тем более мирабилит, имеет хорошую и высокую растворимость соответственно (20,5-161,0 г/л). При наличии 5 обязательных условий для развития сульфатного карста требуется осмотрительность и чаще всего принятие противокарстовых мероприятий с учетом геологической обстановки и типа сооружения [2, 8].

Относятся к полускальным породам, имеют характерный ионный тип связи, невысокую плотность, низкую твердость. В центральной части Уфы под карбонатными толщами залегают гипсовые отложения с редкими в основном заполненными полостями на отм. 60 м по материалам изысканий.

2. Сульфиды – класс щелочных и щелочноземельных растворимых руд. Отличаются неустойчивостью, легко разрушаются и окисляются с переходом в растворимые сульфаты, проявляя соответствующие унаследованные показатели растворимости. Встречаются в месторождениях цветных металлов (Акъяр, Баймак, Бурибай, Сибай, Учалы – юго-восточная окраина Башкирии).

Таблица

Характеристика растворимых минералов, горных пород и грунтов

Классификация по ГОСТ 25100-95					Формула, плотность, растворимость		
Класс	Группа	Подгруппа	Тип породы	Вид и разновидность породы	Химическая формула	Плотность, г/см^3	Растворимость в воде[1], 20 °С, г/л
1	2	3	4	5	6	7	8
I - природные скальные грунты	Скальные	Осадочные	Карбонатные –1	Доломит	$MgC0_3CaC0_3$	2,89	малая
				Кальцит, известняк, мел	$CaCO_3$	2,71	0,07 малая
				Магнезит	$MgC0_3$	3,0	малая
	Полускальные		Сульфатные – 2	Ангидрит	$CaS0_4$	2,92	2,0 малая
				Гипс	$CaS0_4$-$2H_20$	2,32	20,5 хорошая
				Мирабилит	$Na_2S0_410H_20$	1,49	161,0 высокая
			Сульфидные – 2[a]	При 0_2 и H_20 образуется $CaS0_4$, H_2S0_4	После разложения Me-$S0_4$, H_2S0_4 примеси др. металлов	2,5-8,0	малая
			Галогены – 3	Каменная соль, галит	NaCl	2,17	357,0 очень высокая
				Карналлит	KCl-$MgCl_2$-$6H_20$	1,6	очень высокая
II - природные дисперсные грунты	Связные	Осадочные	Кластические (глинистые) – 4	Мергели: Известковые и доломитовые	$CaCO_3$, $MgC0_3$-$CaCO_3$, (OH)-Si_8Al_4-O_20	2,0-2,2	Малая
				Гипс землистый, засоленные грунты	$CaS0_4$-$2H_20$ $CaC0_3$-$Si0_2$, $(OH)_8$-Si_4-Al_4-O_{10}	1,7-1,9	Хорошая, малая
			Просадочные грунты (лёссовые) – 5	Пористые пылевато-сухие глинистые	Унаследована от исходного комплекса	1,3-2,0	Очень высокая за короткое время
Примечание: растворимость, г/л: 500-200 очень высокая; 200-100 высокая; 100-10 хорошая; 10-0,01 малая							

3. Галогены – класс очень высоко растворимых (Р=357 г/л) пород. Распространены в залежах щелочных металлов, относятся к полускальным породам. Имеют ионный тип связи. Требуются значительные расходы при освоении галогенных территорий под строительство. Для соляных шахт (Соликамск, Березники в Пермском крае), чрезвычайную опасность представляет затопление, при котором шахту покидают. Откачка рассола усугубляет аварию. Здания, сооружения на земной поверхности получают значительные деформации.

4. Кластические – класс глинистых пород, содержащих дисперные фракции известняка, доломита, гипса, ангидрита, а также кремнезема. Вялотекущий процесс растворения фракций приводит к длительным неравномерным осадкам оснований, т.е. к кластокарсту.

5. Просадочные грунты (лёссы) – класс рыхлых полиминеральных пылеватоглинистых эоловых отложений, имеющих очень высоко растворимые солевые галоидные связи между частицами (зернами) грунта. В сухом состоянии обладают высокой прочностью. Приурочены к степной и сухостепной зонам. При воздействии воды связи (хлориды и др.) мгновенно (за 10... 15 с) распадаются с полной утратой структурной прочности.

Строительство на лессовых грунтах сопряжено с защитой от опасных просадок при замачивании.

3. Противокарстовые фундаменты

Много трудностей возникает при диагностике причин аномального поведения оснований эксплуатирующихся зданий и сооружений. Не менее легким является реализация технических решений по их стабилизации. В связи с этим могут представлять интерес ремонтопригодные фундаменты, приспособленные для обследования состояния и усиления основания фундамента. Ниже названы примеры таких фундаментов: 1) фундамент с малопрочными вкладышами; 2) плитный фундамент с технологическими каналами; 3) фундамент свайный спаренный многосекционный.

1) Техническое решение сборного ленточного фундамента с вкладышами на естественном основании включает модернизированные фундаментные плиты (подушки), снабженные торцевыми вырезами размером, например, 160х320 мм на обоих торцах плиты по середине. При монтаже плит возникают «*окна*» размером 300х320х320 мм, заполняемые грунтом. При монтаже по плитам фундаментных стеновых блоков над «окнами» оставляются *проемы* размерами 400х600 мм (1200) мм на ширину блока, закладываемые малопрочным материалом (тощий бетон, кирпичная кладка на глиняном растворе) по ходу монтажа либо бетонирования. Шаг таких «окон» и проемов 4,8...7,2 м (рис. 2).

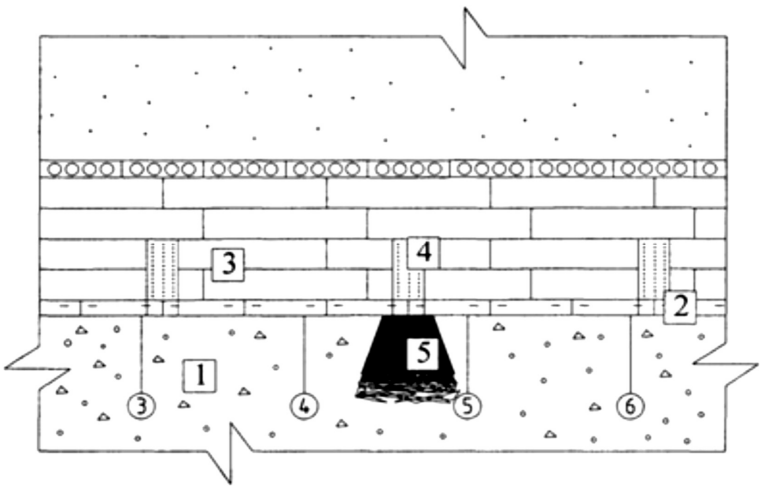


Рис. 2. Сборный ленточный фундамент с *вкладышами*:
1 – основание фундамента; 2 – фундаментные подушки с вырезами торцевыми;
3 – фундаментные стеновые блоки; 4 – вкладыши из малопрочного материала;
5 – отказ основания (осадка локальная, проседание, провал)

При отказе основания и появлении деформаций осадочного характера проем разбирается, «окно» в фундаментной плите расчищается. Затем производится диагностика состояния основания. Проем в плите позволяет осмотреть контактную зону между основанием с подошвой, отобрать пробы грунта и воды, произвести усиление основания либо фундамента. Полость, обнаруженная под подошвой, позволяет сфотографировать ее внутренность.

При необходимости подошва фундамента обжатием основания включается в работу либо подводятся (вдавливаются) многосекционные сваи, до заданного сопротивления, упираясь домкратом в перемычку проема [9].

2) Плитный фундамент с технологическими каналами (диаметром 150 мм) удобен для диагностики возникшей полости под плитой. Назначение каналов такое же, как назначение «окон», описанных выше. Более подробная информация с иллюстрациями содержится в публикациях [2, 10]. В свое время технологические каналы были рекомендованы в монолитной фундаментной плите при реконструкции Башкирского государственного академического театра драмы им. М. Гафури.

3) Спаренные многосекционные сваи вдавливаются одновременно с обеих сторон существующего фундамента с помощью поперечной упорной балки до глубины, при которой достигается заданное сопротивление сваи [11]. Использовано в Уфе для усиления свайного однорядного ленточного фундамента Центра пенсий [12], бутобетонного ленточного фундамента при надстройке сценической коробки Башкирского государственного театра оперы и балета, при усилении сборного ленточного фундамента девятиэтажного КПД № 3 в кв. 15/13 [13].

Потеря геостойкости ленточным сборным фундаментом сопровождается повреждением несущих перекрытий и стен в зоне провала и даже их частичным разрушением вслед за обрушением фундаментных плит и блоков. Провальное исчезновение основания либо утрата им несущей способности ведет к перераспределению нагрузки, которая с провальной зоны «перескакивает» на соседние работоспособные участки фундамента и его основания, догружая их (рис. 3).

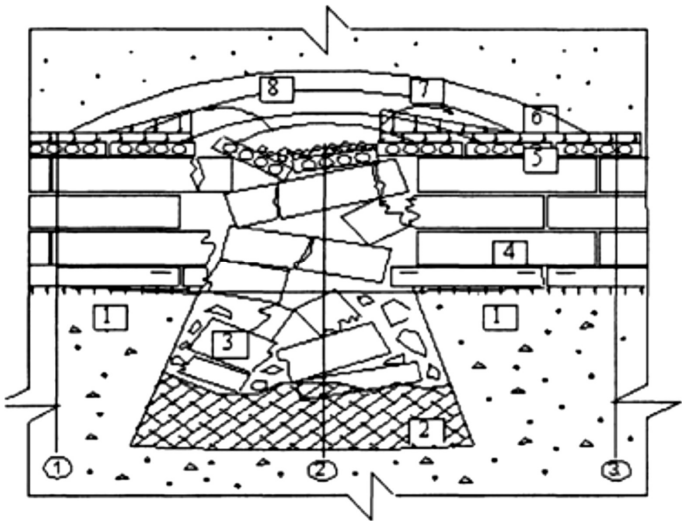


Рис. 3. Схема типового сборного ленточного фундамента над карстовым провалом:
1 – основание фундамента; 2 – обрушенный грунт; 3 – обломки фундамента;
4 – фундаментные плиты и блоки; 5 – плиты перекрытия; 6 – нагрузка на фундамент;
7 – перераспределившаяся нагрузка; 8 – трещины арочные в несущих стенах
непосредственно над провалом, затухающие снизу вверх

Предлагается рассматриваемый фундамент превратить в жесткую балку-стенку, которая сможет включиться в работу при возникновении карстовой особой нагрузки (рис. 4). Это достигается расчетным армированием сборного фундамента в горизонтальных и вертикальных швах между фундаментными плитами, стеновыми блоками и в стыках между блоками [14].

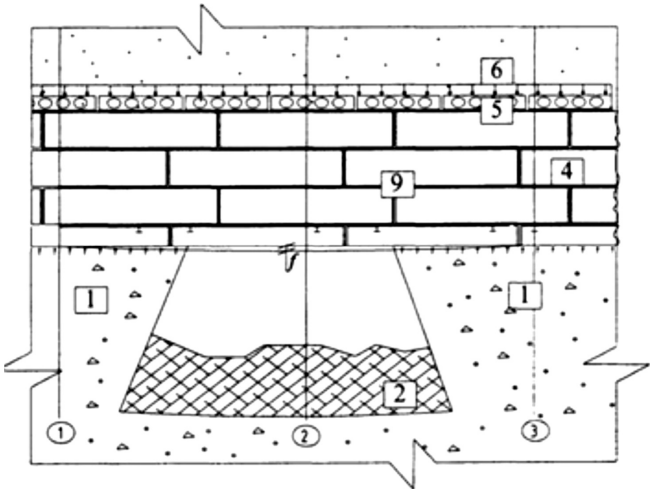


Рис. 4. Схема сборного ленточного армированного фундамента над карстовым провалом: 1, 2, 4, 5, 6 см. на рис. 2; 9 – объемное неразрезное армирование в монтажных петлях, в горизонтальных и вертикальных швах фундаментных плит и блоков; f – расчетный прогиб

4. Закон инженерно-строительной карстологии

Состав, строение, свойства и режим растворения карстующихся пород определяются их генезисом и наличием пяти обязательных условий активизации карста: порода, ее скважность, вода, ее минерализованность и проточность. Его пассивация происходит при отсутствии одного любого из этих пяти условий. Карст воспринимает антропогенный фактор, характеризуется подземными и поверхностными проявлениями, является естественным динамичным состоянием земной коры и требует прогноза дальнейшего его развития, принятия при необходимости упреждающих противокарстовых мероприятий для снижения риска в инженерно-строительной деятельности.

Список литературы

1. Мартин В.И., Мулюков Э.И., Колесник Г.С. Об опыте изысканий, проектирования, строительства и усиления фундаментов зданий на закарстованных территориях (на примере Уфы). // Инж. геология, 1983, № 4. – С. 63-71.
2. Мулюков Э.И. О строительном карстоведении. Тр. Межд. научно-техн. конф. к 50-летию БашНИИстроя: Фунд-ты в сложн., грунт. усл. и противооползн. сооруж. Т. 2. – Уфа: БашНИИстрой, 2006. – С. 92-97.
3. Кузнецов В.В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1968. – 390 с.
4. Максимович Е.Г., Максимович Н.Г., Катаев В.Н. Георгий Алексеевич Максимович: научное издание. – Пермь: «Курсив», 2004. – 512 с.
5. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ (вопросы теории). – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.
6. Вклад академика Ф.П. Саваренского установление и развитие отечественной гидрогеологии и инженерной геологии: Научное издание. – М.: Наука, 2002. – 120 с.
7. Маслов Н.Т Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высш. шк., 1982. – 511 с.
8. Мулюков Э.И. О карстовом процессе и строительном освоении закарстованных территорий (на примере Башкирии). // Основ., фунд-ты и мех. грунтов, 1998, № 1. – С. 16-19.
9. А. с. 2037604 СССР. Способ усиления фундамента здания, сооружения / Мулюков Э.И., 1995, № 17.
10. Пат. №65514, РФ. Плитный с технологическими каналами фундамент здания (сооружения) / Мулюков Э.И., Семенов А.А., Фаттахов М.М., Урманшина Н.Э., Вагапов Р.Ф., Готман А.Л. Б.И.,2007, № 22.

11. А.с. 1008357 СССР. Способ усиления фундамента здания, сооружения / Мулюков Э.И., Колесник Г.С., Арасланов Р.Я. Б.И.,1983, № 12.
12. Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э. Разрушение 5-этажного кирпичного здания на Уфимском косогоре. Тр. III Межд. конф. по геотехнике: Городские агломерации на оползн. тер., ч. I. – Волгоград: ВГАСУ, 2005. – С. 140-147.
13. Мулюков Э.И., Илюхин В.А., Травкин А.И., Казаков В.Д. Исследование причин отказа и усиление фундамента 9-этажного дома многосекционными сваями. Тр. Уфимского НИИпромстроя: Усил. осн. и фунд-ов сущ. зд. – Уфа, 1990. – С. 37-56.
14. Пат. № 2397292, РФ. Противокарстовый сборный ленточный фундамент: изобретение / Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э., Фаттахов М.М., Хуснутдинов Б.Р., Гареева Н.Б., Садыков Р.Я. Б.И., 2010, № 23.

Muljukov E.I. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: urm_nat@list. ru
Ufa State Petroleum Technological University
The organization address: 450080, Russia, Ufa, Mendeleev st., 195

About the discipline of «Engineering construction karstology»

Resume

In Bashkortostan, engineering and construction karstology actively developed by the massive industrial and residential construction in Ufa and other cities at sites predisposed to karst manifestation. Many difficulties arise in the diagnosis of the causes of the anomalous behavior of bases operated buildings and facilities. It is equally easy to implement technical solutions for their stabilization. In this connection it may be of interest the repairable foundations, adapted for survey of the state and strengthen the base of the foundation.

Some fragments of discipline of «The karstology of engineering construction», including; a) the mechanism of dissolution of karst; b) antikarstology foundation adapted for restoration of footing and foundation of the existing buildings the foundation slab with technological channels, which allows to eliminate aftereffect of subsidence and sinkhole collapse; d) the coupled multisection piles for strengthening of footing and foundation of the existing buildings are described in the work. The typical modular tape base reinforced during the installation is considered, as a rigid beam-wall.

Karst takes the anthropogenic factor, characterized by groundwater and surface manifestations, is a natural dynamic state of the crust and the forecast calls for its further development, if necessary, taking proactive measures to reduce anti karst risk in construction and engineering.

Keywords: stiff deep beam, the karstology of engineering construction, antiykarstology foundation, the foundation slab, prefabricated band foundation, the coupled multisection piles.

References

1. Martin V.I., Muljukov E.I., Kolesnik G.S. On the experience of research, design, build and strengthen the foundations of buildings in the karst areas (for example, Ufa). Ing. geology., 1983. № 4. – P. 63-71.
2. Muljukov E.I. On the construction Karst. Tr. Int. Scientific and Technical. conference. the 50th anniversary of BashNIIstroya: Foundations in difficult ground conditions and landslide structures. – Ufa BashNIIstroy, 2006, T. 2. – P. 92-97.
3. Kuznetsov V.V. Physical and colloidal chemistry. – M.: Higher. school., 1968. – 390 p.
4. Maksimovich E.G., Maksimovich N.G., Kataev V.N., George A. Maksimovich: scientific publication. – Perm: «Italic», 2004. – 512 p.
5. Polak A.F. Hardening of monomineralic binders (questions of theory), – Moscow: Stroiizdat, 1966. – 208 p.

6. Contribution of Academician F.P. Savarenskii establishment and development of domestic Hydrogeology and Engineering Geology: The scientific publication. - Moscow: Nauka, 2002. – 120 p.
7. Maslov N.T. Foundations of engineering geology and soil mechanics. – M.: Higher. school., 1982 – 511 p.
8. Muljukov E.I. On the karst process development and construction karst areas (for example, Bashkortostan). J. Foundation Engineering and Soil Mechanics,1998, № 1. – P. 16-19.
9. A. a. 2037604 USSR. Way to strengthen the foundation of a building, structure / Muljukov E.I., 1995, № 17.
10. Pat. Number 65514, the Russian Federation. Slab with the technological foundation of the channels of the building (structure) / Muljukov E.I., Semenov A.A., Fattakhov M.M., Urmanshina N.E., Vagapov R.F., Gotman A.L. B.I., 2007, № 22.
11. A. a. 1008357 USSR. Way to strengthen the foundation of a building, structure / Muljukov E.I., Kolesnik G.S., Araslanov R.J. B.I.,1983, № 12.
12. Muljukov E.I., Urmanshina N.E. Destruction of 5-storey brick building at the Ufa slope. TP. III Int. conference. in geotechnics: Urban agglomerations in the landslide. ter. - Volgograd. VSABA,2005, p. I. – P. 140-147.
13. Muljukov E.I., Ilyukhin V.A., Travkin A.I., Kazakov V.D. Research the causes of failure and increasing the base 9-storey building multisection piles. Tr. Ufa NIIpromstroya: Strengthening of the foundations of existing buildings. – Ufa,1990. – P. 37 - 56.
14. Pat. Number 2397292, the Russian Federation. Protivokarstovy precast strip foundations: an invention / Muljukov E.I., Urmanshina N.E., Fattakhov M.M., Khusnutdinov B.R., Gareeva N.B., Sadykov R.I. B.I., 2010, № 23.

УДК 624.154.34:624.131.524
Шеменков Ю.М. – доктор технических наук
E-mail: shemenkov@mail.ru
Глазачев А.О. – инженер
E-mail: anton.glazachev@mail.ru
ГУП институт «БашНИИстрой»
Адрес организации: 450064, Россия, г. Уфа, ул. Конституции, д. 3

Расчет буронабивных свай в глинистых грунтах по данным статического зондирования

Аннотация
Рассмотрена работа буронабивных свай в глинистых грунтах. Выявлены зависимости изменения несущей способности от геометрических параметров сваи и различных грунтовых условий. Получены коэффициенты перехода от сопротивления грунта проникающему зонда к сопротивлению грунта под торцом и на боковой поверхности буронабивных свай. Предложен метод расчета несущей способности буронабивных свай по данным статического зондирования.
Ключевые слова: буронабивная свая, глинистые грунты, статическое зондирование, боковая поверхность, несущая способность, натурные эксперименты.

В последние годы в связи со всевозрастающими объемами малоэтажного строительства наблюдается тенденция к увеличению объема применения буронабивных свай. Такие фундаменты обладают существенными техническими и экономическими преимуществами по сравнению с фундаментами на естественном основании.

Повышение эффективности применения фундаментов из буронабивных свай зависит не только от снижения затрат материальных и трудовых ресурсов на стадии строительства, но и от быстрого и достоверного метода определения несущей способности.

В настоящее время наиболее дешевым методом определения несущей способности свай является статическое зондирование. Благодаря этому методу резко сокращается количество буровых скважин при выполнении инженерно-геологических изысканий на больших территориях застройки, таких, как районы, выделенные под массовую застройку малоэтажных жилых домов. Данные зондирования широко применяют при проектировании фундаментов из забивных свай, чего нельзя сказать о буронабивных.

В нормативных документах, таких, как СП 24.13330.2011, представлены таблицы для расчета буронабивных свай диаметром 600-1200 мм по данным статического зондирования, но без использования сопротивления грунта на муфте трения зонда. Таким образом, существует необходимость разработки методики расчета буронабивных свай, наиболее применяемых диаметром 300-700 мм, по данным статического зондирования с учетом сопротивления грунта, как под конусом зонда, так и по муфте трения. Для нахождения частного значения предельного сопротивления буронабивной сваи в точке зондирования F_u используем формулу (7.25) [1] для забивных свай:

$$F_u = R_s A + fhu, \quad (1)$$

где R_s – предельное сопротивление грунта под нижним торцом сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, определяемое по формуле (2), кПа;

A – площадь поперечного сечения сваи, м^2;

f – среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, определяемое по формуле (3), кПа;

h – глубина погружения сваи от поверхности грунта, м;

u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м.

Предельное сопротивление грунта под нижним концом буронабивной сваи R_s, кПа, по данным зондирования в рассматриваемой точке определяется по формуле:

$$R_s = k_1 q_s, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент, принимаемый по таблице 1 для зонда II типа;

q_s – среднее значение сопротивления грунта, кПа, под конусом зонда, полученное из опыта на участке, расположенном в пределах одного диаметра d выше и трех диаметров ниже отметки торца сваи.

Среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности буронабивной сваи f по данным зондирования грунта в рассматриваемой точке определяется по формуле:

$$f = \frac{\sum k_{2i} f_{si} h_i}{h}, \quad (3)$$

где k_{2i} – коэффициент, принимаемый по таблице 2 для зонда II типа в i-ом слое грунта;

f_{si} – среднее сопротивление i-го слоя грунта на боковой поверхности зонда, определяемое по муфте трения, кПа;

h_i – толщина i-го слоя грунта, м.

Для уточнения существующего метода расчета [1] ставилась задача нахождения эмпирических коэффициентов перехода от сопротивления зонда к расчетному сопротивлению сваи k_1 и k_2. Чтобы выполнить эту задачу, требуется проведение большого количества статических испытаний свай, различных по длине и диаметру, но это продолжительный и дорогостоящий процесс. В настоящее время существуют геотехнические программные комплексы (например, Plaxis 3D Foundation), которые позволяют моделировать натурные испытания и при этом получать графики «нагрузка-осадка». Необходимо лишь подтвердить полученные результаты при сравнении их с реальными испытаниями.

Для решения поставленной задачи проводились численные исследования свай диаметром (d) 300-700 мм и длиной (l) до 9 м в глинистых грунтах с индексом трения (q_c / f_s) в пределах 10-30. Грунт моделировался однородным и менялся в зависимости от значений результатов статического зондирования. Физико-механические характеристики грунтов определялись по значениям статического зондирования зондом II типа со стабилизацией по рекомендациям института «БашНИИстрой» [2].

Расчет проводился в два этапа: на первом этапе определялась несущая способность грунта на боковой поверхности сваи, а на втором – несущая способность грунта под торцом сваи.

Для разделения работы боковой поверхности и торца под пятой сваи моделировалась воздушная полость, исключающая торец из работы. После получения нагрузки, при которой происходит «срыв» сваи, определялось среднее сопротивление грунта на боковой поверхности. Затем определялся коэффициент k_2 в виде отношения среднего сопротивления грунта на боковой поверхности сваи к сопротивлению по муфте трения зонда.

На втором этапе свая моделировалась с включенным в работу торцом и боковой поверхностью. Предельное сопротивление грунта под торцом определялось как разность предельных нагрузок, воспринимаемых сваей и её боковой поверхностью, отнесенная к площади её пяты. Для решения вопроса, при какой осадке можно считать нагрузку предельной, сравнивались графики натурных испытаний различных свай с их моделями в программе Plaxis 3D. Выяснилось, что на графиках «нагрузка-осадка» свай, смоделированных в программном комплексе Plaxis 3D, не образуются «срывы», как при натурных испытаниях. Это можно объяснить тем, что программа моделирует идеальные условия и учитывает упругую работу грунта. При определении предельных нагрузок буровых свай по данным статического зондирования по методике [1] уточняется, что осадка не превысит $0{,}03d$ (d – диаметр сваи). После сопоставления полученных расчетом и испытаниями графиков выяснилось, что нагрузка, по результатам натурных испытаний наступающая при осадке $0{,}03d$, соответствует нагрузке при $0{,}015d$ на графиках по

результатам моделирования. Эта осадка и принималась при нахождении предельного сопротивления грунта под торцом сваи. Затем определялись коэффициенты перехода k_1 от сопротивления грунта под конусом зонда к сопротивлению под торцом буронабивной сваи.

В качестве примера представлены графики зависимостей коэффициентов перехода k_1 и k_2 от изменения геометрических параметров сваи и грунтовых условий для глин и суглинков с индексом трения, равным 20 (рис. 1-2).

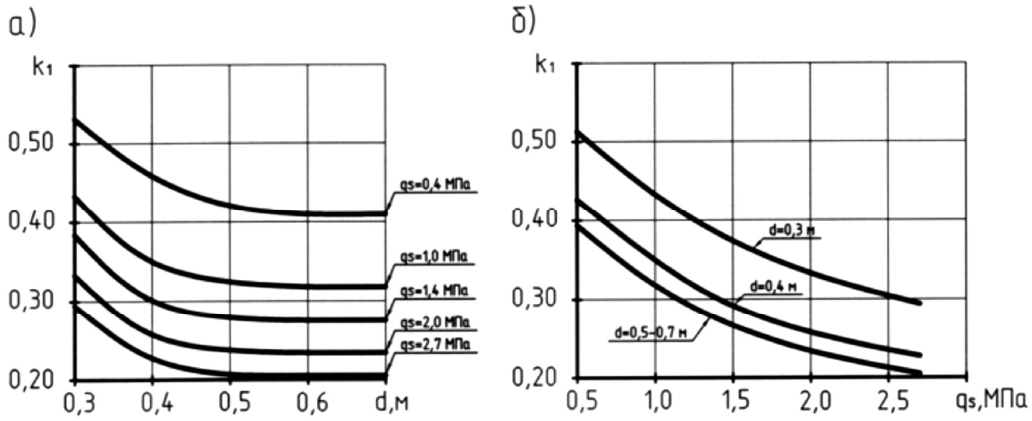


Рис. 1. Графики зависимостей коэффициента k_1 от диаметра сваи d (а)
и от сопротивления грунта под конусом зонда q_c (б)

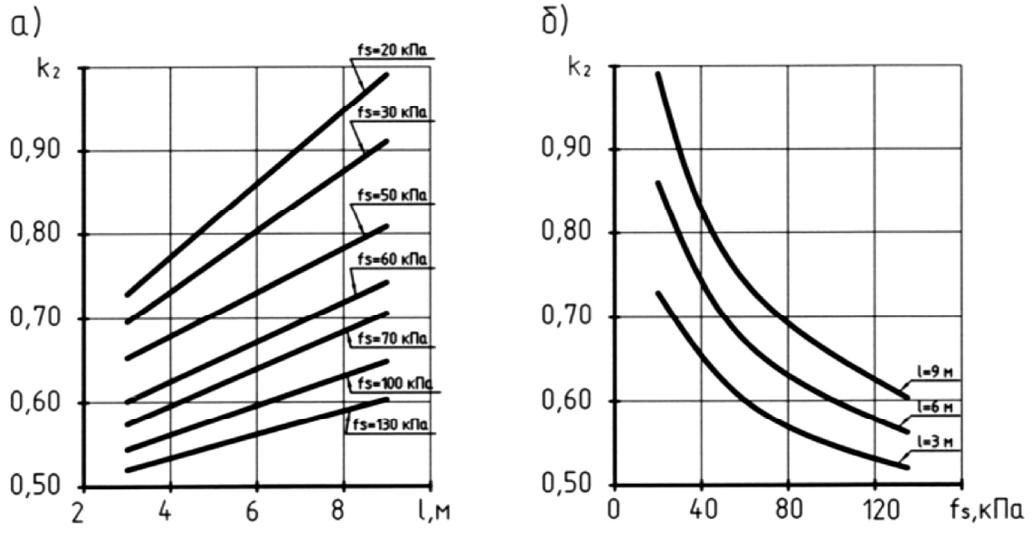


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициента k_2 от длины сваи l (а)
и от сопротивления грунта по муфте трения зонда f_s (б)

В процессе анализа результатов расчетов выявлены следующие закономерности.

1) Для боковой поверхности сваи:

- на среднее сопротивление грунта диаметр сваи значительного влияния не оказывает;
- при увеличении длины сваи в аналогичных грунтовых условиях среднее сопротивление грунта увеличивается прямолинейно;
- при варьировании грунтовых условий среднее сопротивление грунта для сваи постоянной длины изменяется по криволинейному закону.

2) Для торца сваи:

- на сопротивление грунта длина сваи (в пределах исследуемого интервала) значительного влияния не оказывает;

- при увеличении диаметра сваи в аналогичных грунтовых условиях сопротивление грунта уменьшается;

- при варьировании грунтовых условий сопротивление грунта для сваи одного диаметра изменяется по криволинейному закону.

Для оценки достоверности были использованы натурные испытания на различных площадках трех свай и одного штампа (рис. 3).

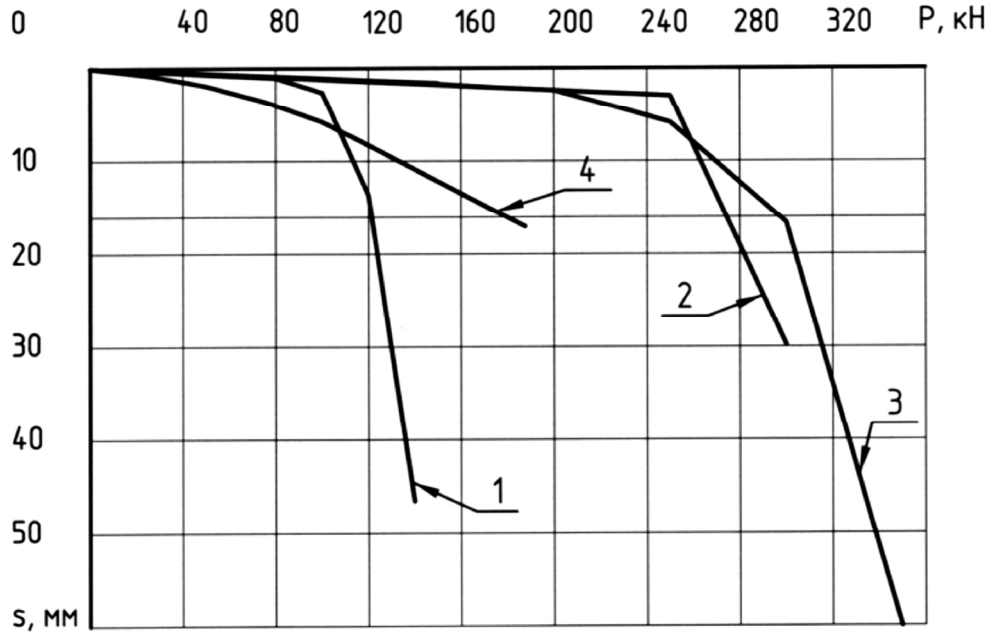


Рис. 3. Графики натурных испытаний трех буронабивных свай (1, 2, 3) и одного штампа (4):
1 – свая диаметром 0,3 м и длиной 3,5 м; 2 – свая диаметром 0,6 м и длиной 3,5 м;
3 – свая диаметром 0,65 м и длиной 2,5 м; 4 – штамп диаметром 0,8 м на глубине 3,0 м

С учетом полученных зависимостей был выполнен расчет несущей способности грунта для четырех типов конструкций (см. рис. 3) с использованием формулы (1).

В таблице 3 представлены результаты сравнения предельного сопротивления опытных конструкций по расчету и по материалам натурных испытаний (рис. 3).

Предельное сопротивление трех свай и одного штампа определялось по графикам (рис. 3) для осадок $s = 0,2 \cdot 80 = 16\,мм$ и $s = 0,2 \cdot 150 = 30\,мм$, которые позволяют определить границы использования для большинства гражданских зданий с предельными осадками от 80 мм до 150 мм.

Таблица 1

Коэффициенты перехода k_1 от сопротивления грунта под конусом зонда к сопротивлению грунта под торцом сваи

Сопротивление грунта под конусом зонда q_s, кПа	Диаметр сваи d,м								
	0,3			0,4			0,5 и более		
	Индекс трения q_s/f_s								
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
400	0,64	0,53	0,51	0,48	0,46	0,48	0,42	0,41	0,45
800	0,47	0,46	0,44	0,35	0,38	0,41	0,31	0,35	0,38
1300	0,39	0,40	0,38	0,29	0,31	0,33	0,26	0,28	0,31
1800	-	0,35	0,34	-	0,27	0,28	-	0,25	0,26
2300	-	0,32	0,31	-	0,24	0,26	-	0,22	0,24
2700	-	0,29	0,30	-	0,23	0,25	-	0,21	0,23

Таблица 2

Коэффициенты перехода k_2 от сопротивления грунта на муфте трения зонда к сопротивлению грунта на боковой поверхности сваи

Сопротивление грунта на муфте трения зонда f_s, кПа	Длина сваи l,м								
	3			6			9		
	Индекс трения q/f								
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
20	-	0,74	0,85	-	0,98	1,15	-	1,24	1,45
40	0,53	0,66	0,79	0,66	0,84	1,00	0,78	1,01	1,20
60	0,46	0,60	0,76	0,56	0,73	0,91	0,66	0,87	1,04
80	0,40	0,56	0,74	0,49	0,68	0,87	0,57	0,79	0,95
100	0,37	0,54	0,72	0,45	0,64	0,82	0,51	0,74	0,87
120	0,36	0,52	0,70	0,43	0,61	0,78	0,49	0,70	0,79

Таблица 3

Сравнение расчетных значений предельного сопротивления опытных конструкций с результатами полевых испытаний

Наименование конструкции	Диаметр, м	Длина, м	Предельное сопротивление, кН			Расхождение, %	
			По расчету	По испытанию			
			-	При осадке s=16 мм	При осадке s=30 мм	Для s=16 мм	Для s=30 мм
Свая (1)	0,3	3,5	130	120	130	8	0
Свая (2)	0,6	3,5	290	275	300	5	-3
Свая (3)	0,65	2,5	300	300	315	0	-5
Штамп (4)	0,8	-	170	180	-	-6	-

Выполненные поверочные расчеты показали достаточно высокую сходимость полученных результатов с натурными испытаниями. Таким образом, предложенная методика может быть использована для расчета буронабивных свай по данным статического зондирования в глинистых грунтах.

Список литературы

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. – М., 2011. – 22 с.
2. Рекомендации по проведению скоростных инженерно-геологических изысканий для проектирования объектов массового строительства / Уфимский НИИпромстрой. – Уфа, 1991. – 30 с.

Shemenkov Y.M. – doctor of technical sciences
E-mail: shemenkov@mail.ru
Glazachev A.O. – engineer
E-mail: anton.glazachev@mail.ru
Scientific-Research Institute «BashNIIstroy»
The organization address: 450064, Russia, Ufa, Konstituzii str., 3

Calculation of bored piles in clay soil according to CPT

Resume

The purpose of this work is the development of a method of analysis of bored piles according to CPT data in clay soil. Regularities of work of bored piles were thus studied with change of geometrical parameters and soil conditions.

The novelty of the developed design procedure consists in finding of ratios of transition from resistance of soil under a cone of a probe and on the friction coupling to resistance of soil under the end face and on a lateral surface of a bored pile.

To find the ratios in the program Plaxis 3D complex, static tests of bored piles with a variation of geometrical parameters and soil conditions were modelled. Then, by the diagrams «loading-settlement» the bearing capacity of piles for various conditions was determined.

By the developed technique the analysis of bored piles tested by axial loading on various platforms is carried out. When comparison of results of analysis with field tests, satisfactory convergence was received.

Keywords: bored piles, clay, CPT, lateral surface, bearing ability, natural experiments.

References

1. SP 24.13330.2011. Pile foundations. – M., 2011. – 22 p.
2. Recommendations for high-speed engineering-geological surveys for the design of large-scale construction / Ufa NIIpromstroy. – Ufa, 1991. – 30 p.

УДК 532.5:621.694
Багоутдинова А.Г. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: bagoutdinova@rambler.ru
Золотоносов Я.Д. – доктор технических наук, профессор
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Мустакимова С.А. – ведущий программист
E-mail: mustakim@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Энергоэффективные теплообменные аппараты на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых каналов

Аннотация

В работе рассматривается перспектива модернизации теплообменного оборудования на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых каналов. Приведен обзор различных конфигураций пружинно-витых каналов, отмечена возможность их использования при разработке и проектировании современной теплообменной аппаратуры, перечислены основные преимущества пружинно-витых каналов различных конфигураций перед гладкими и профилированными трубами.

Определен коэффициент теплопередачи через стенку прямого пружинно-витого канала.

Ключевые слова: теплообмен, турбулентность, пружинно-витой канал, коэффициент теплопередачи.

Введение. Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного развития экономики России.

Среди них одной из важнейших является задача сокращения к 2020 году энергоемкости отечественной экономики на 40 %. Для ее реализации необходимо внедрение эффективных управленческих решений во все уровни производства, широкое применение нового, более эффективного и менее энергоемкого оборудования, а также модернизация существующих производств и оптимизация использования энергоресурсов.

Приоритетным направлением в этой связи является повышение энергоэффективности технологий путем снижения затрат на теплообменные процессы, так как на сегодняшний день теплообменная аппаратура составляет 50 % от всего технологического оборудования современных производств.

Анализ конструктивного оформления теплообменного оборудования показал, что в промышленной практике в большинстве случаев используются кожухотрубные теплообменники с гладкотрубными тепловыми элементами. Недостатком таких аппаратов считается ламинарный пограничный слой, возникающий у стенки и имеющий большое термическое сопротивление среды, что негативным образом сказывается на коэффициенте теплоотдачи [1], для его повышения необходимо турбулизировать поток. Однако увеличение скорости движения потока приводит к росту энергозатрат на прокачку энергоносителей.

Наиболее перспективным решением проблемы является интенсификация теплообмена на базе высокоэффективных теплообменных элементов. В связи с этим научный и практический интерес представляет использование в качестве теплообменных элементов пружинно-витых каналов, обеспечивающих незатухающую закрутку потока при течении теплоносителя в проходном сечении труб [2-6].

I. Прямой пружинно-витой канал, образованный путем намотки проволоки эллиптического сечения. Такой канал представляет собой эллиптическую пружину, витки которой жестко скреплены [2]. Процесс образования таких каналов может быть реализован путем плотной намотки проволоки эллиптического или круглого сечения на подложку, в виде круглого или эллиптического цилиндра (рис. 1).

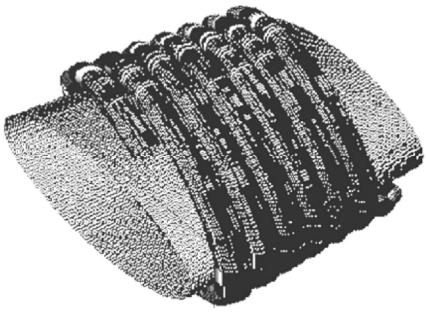


Рис. 1. Вариант намотки проволоки на подложку

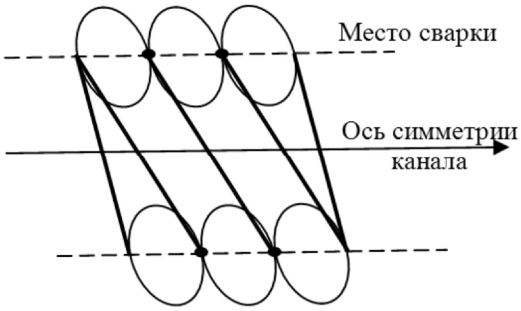


Рис. 2. Продольное сечение пружинно-витого канала

В местах прилегания витков наматываемой проволоки друг к другу производится их жесткое скрепление с помощью микроплазменной или лазерной сварки (рис. 2). При такой технологии исключается явление наклепа, имеющего место в трубах с накаткой.

После сварки подложка удаляется, в результате получается эллиптический или круглый пружинно-витой канал в виде тугой пружины из проволоки круглого или эллиптического сечения.

За счет эллиптической формы проточной части канала при движении жидкости происходит перераспределение радиальных давлений по осям эллипса, вследствие чего возникают поперечные циркуляционные токи, вызывающие дополнительное перемешивание среды в канале. Это способствует интенсификации процесса теплообмена и, в конечном счете, приводит к тепловой стабилизации на более коротком участке.

В процессе исследований таких каналов было замечено [2], что при движении жидкости в канале происходит затухание циркуляционных областей. В связи с этим для интенсификации теплообмена за счет поддержания пристенных циркуляционных зон (вторичных течений) на стабильно высоком уровне предложено [3] установить в проточной части теплообменного элемента 1 интенсификаторы 2, выполненные в виде спиральных пружинно-витых элементов, жестко закрепленных между витками тугой пружины (рис. 3).

Спиральные пружинно-витые интенсификаторы 2 выполнены из элементов прямоугольного сечения и выполняют, кроме того, роль внутреннего оребрения.

Концы такого теплообменного элемента снабжены патрубками 3 для последующей их развальцовки в трубных плитах кожухотрубных теплообменников. Пружинно-витые интенсификаторы 2 устанавливают путем ввинчивания их в зазоры между витками растянутого пружинно-витого теплообменного элемента 1 с последующим их жестким креплением между витками элемента 1.

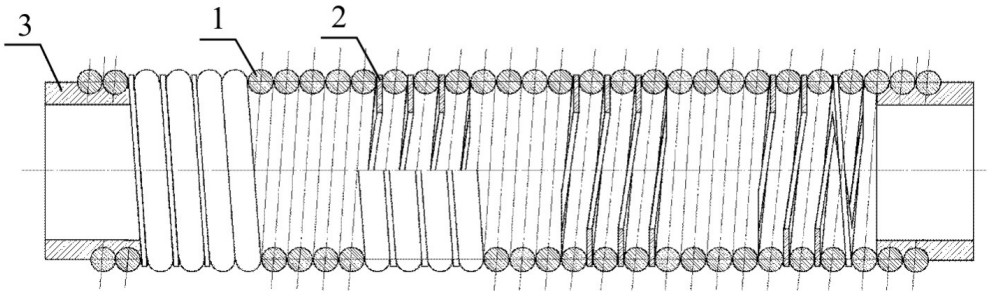


Рис. 3. Теплообменный элемент с пружинным интенсификатором

При движении рабочей среды в проточной части теплообменного элемента, с установленными в нем интенсификаторами, пристенным слоям жидкости в проточной части канала сообщается местная закрутка потока, в котором зарождаются вторичные течения (макровихри) с турбулентными флюктациями в виде вихрей Тейлора-Гёртлера.

Первично закрученный поток, попадая в проточную часть пружинно-витого теплообменного элемента 1, вновь закручивается с образованием «катящихся» макровихрей Тейлора-Гёртлера.

Поскольку интенсивность первоначальной закрутки по длине пружинно-витого теплообменного элемента 1 может уменьшаться, в этой конструкции предусмотрено многократное повторение эффекта закрутки путем установки последующих интенсификаторов 2. Это способствует общему росту среднего значения коэффициента теплоотдачи от внутренней стенки теплообменного элемента к жидкости.

В дальнейших разработках в целях увеличения эффективности теплообмена предложено установить в проточной части канала непрерывные спиральные интенсификаторы с отштампованными лепестками, отогнутыми по направлению закрутки потока [4].

На рис. 4 представлен теплообменный элемент с непрерывным спиральным интенсификатором, а на рис. 5 – фрагмент непрерывного спирального интенсификатора.

Рис. 4. Непрерывный спиральный интенсификатор

Рис. 5. Фрагмент непрерывного спирального интенсификатора

С целью дальнейшей интенсификации теплообмена в работе [5] предложено проточную часть пружинно-витой трубы выполнить в виде чередующихся, с заданным шагом, выступов 1 и лысок 2 (рис. 6).

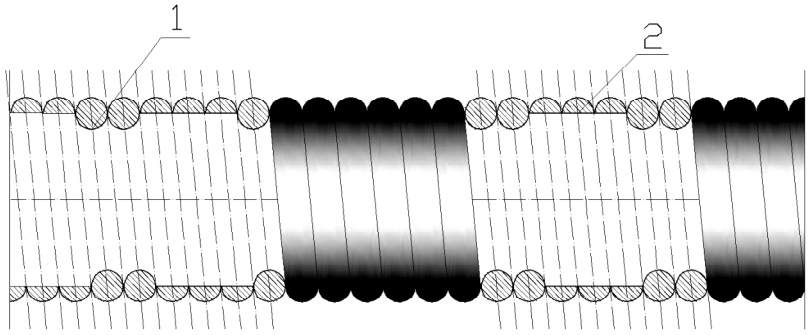


Рис. 6. Теплообменный элемент с выступами и лысками

После подачи рабочей среды в проточную часть теплообменного элемента за счет периодического расположения выступов 1, позволяющих формировать сложную трехмерную структуру потока, жидкость закручивается у стенки теплообменного элемента с образованием турбулентных вихрей, вызывающих периодическое обновление пограничного слоя у поверхности выступов. Зона лысок 2 позволяет формировать отрывные течения потока, а также зоны присоединения и развития пограничного слоя у стенки проточной части трубы теплообменного элемента.

Сочетание зон выступов и лысок с заданным шагом способствует быстрому выравниванию поля температур в проточной части трубы и обеспечивает высокую теплоэнергетическую эффективность.

II. Пружинно-витой канал типа «конфузор-диффузор». Известно, что конструкции каналов типа «конфузор-диффузор» с переменным по ходу теплоносителя сечением относятся к одним из эффективных и технологичных конструкций поверхностей теплообмена [7, 8]. Такие каналы выполняются в форме последовательно повторяющейся системы диффузорно-конфузорных элементов.

Интенсификация теплообмена в таких каналах обусловлена особенностями гидродинамики потока под действием знакопеременного градиента давления. Турбулентные вихреобразования, генерируемые в диффузорных элементах и отрывной зоной кромки стыка с конфузором, уносятся потоком и полезно используются в конфузорных элементах. В конфузорных элементах используется также эффект увеличения скоростей пристенных слоев жидкости.

С целью повышения теплоэнергетической эффективности таких каналов с помощью увеличения поверхности теплообмена и создания закрутки внутреннего потока авторами [6] предлагается конструкция пружинно-витого канала с конфузорно-диффузорными элементами (рис. 7).

В этом случае проволока заданного профиля навивается на разъемную профильную оправку, состоящую из пары элементов, образующих модуль «конфузор-диффузор». В процессе навивки элементы свариваются лазерной сваркой, а оправка извлекается из его внутренней полости.

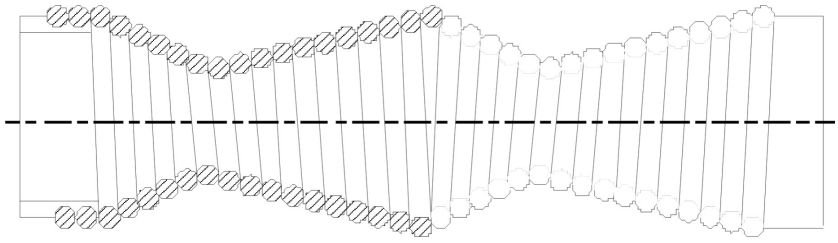


Рис. 7. Пружинно-витой канал типа «конфузор-диффузор»

III. Змеевиковый теплообменник на базе пружинно-витых каналов. Конструкция такого аппарата представляет собой теплообменник с коаксиально установленными трубами, свальцованными в змеевик [9]. Причем внутренняя труба выполнена в виде пружинно-витого канала круглого или эллиптического сечения, а внешняя – из гладкой цилиндрической трубы (рис. 8).

Монтаж внешней трубы осуществляется поэтапно из двух равных половин, раскроенных по образующей змеевика, с разделкой кромок с последующей автоматической сваркой по месту стыка. В некоторых случаях, например, при закрутке змеевиков по классической винтовой линии, монтаж может быть реализован путем ввинчивания змеевиков друг в друга.

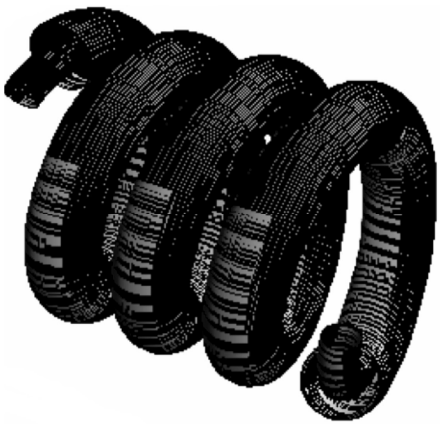


Рис. 8. Змеевиковый пружинно-витой канал

Для подачи и вывода теплоагентов во внешнюю и внутреннюю трубы змеевика предусмотрены штуцера с фланцами.

Змеевиковый теплообменник работает следующим образом: во внутреннюю трубу подается вода, а в межтрубное пространство в противоток – насыщенный пар. При таком конструктивном решении жидкость движется по сложной траектории. Во-первых, по виткам проточной части внутреннего змеевика, где реализуется закрученное течение жидкости по внутренним впадинам пружинно-витого канала, и, во-вторых, по винтовой линии, определяемой витками самого змеевикового теплообменного элемента.

Пар, подаваемый в межтрубное пространство, из-за внешнего винтового оребрения внутреннего змеевика также совершает закрученное течение, характеризуемое сложной трехмерной вихревой структурой потока, благоприятно влияющее на теплообменные процессы, протекающие в межтрубном пространстве.

В связи с этим змеевиковые теплообменники на базе пружинно-витых каналов обеспечивают высокие коэффициенты теплоотдачи на внутренней и внешней стенках змеевиковых элементов, что позволяет существенно увеличить коэффициенты теплопередачи и тем самым снизить габаритные размеры аппарата в сравнении с известными теплообменными устройствами этого класса.

IV. Кожухотрубчатый теплообменник на базе пружинно-витых каналов. На базе рассмотренных выше теплообменных элементов появляется возможность для реконструкции и модернизации существующего парка теплообменного оборудования, создания компактных теплообменных аппаратов с меньшей металлоемкостью и повышенными значениями коэффициентов теплопередач.

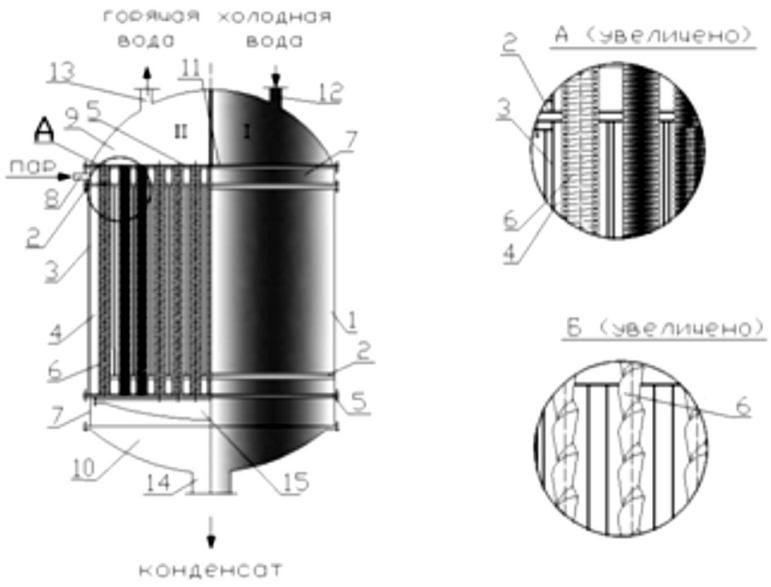


Рис. 9. Кожухотрубчатый теплообменник

На рис. 9 показан кожухотрубный теплообменник, содержащий корпус 1 и трубные решетки 2, в которых закреплен трубный пучок 3, выполненный из теплообменных элементов типа «труба в трубе» 4. Внешние трубы теплообменных элементов пучка закреплены в дополнительных трубных решетках 5, установленных в корпусе между трубными решетками внутренних трубок теплообменного элемента пучка. Внутренние трубки могут быть или пружинно-витыми или в форме витых труб «конфузор-диффузор» 6.

Благодаря этому в стесненном кольцевом межтрубном пространстве теплообменного элемента типа «труба в трубе» 4 реализуется эффект закручивания теплоагента на внешней стенке трубы 6, что вызывает срыв конденсатной пленки с поверхности трубок 6 и переход пленочной конденсации в «пленочно-капельную» или «капельную», вызывая рост коэффициентов теплоотдачи.

Данная конструкция может быть использована для нагрева высоковязких и аномально-вязких сред, так как быстрый разогрев среды позволяет обеспечить высокие циркуляционные токи в проточной части внутренних трубок 6, вызывая рост коэффициентов теплоотдачи от внутренней стенки трубы в ядро потока.

Рост коэффициентов теплоотдачи в аппарате способствует общему увеличению коэффициента теплопередачи в теплообменнике, что положительно отразится на его габаритных размерах и гидравлических характеристиках.

V. Основные преимущества пружинно-витых каналов различных конфигураций перед гладкими и профилированными трубами. Рассмотренные выше пружинно-витые каналы качественно отличаются от известных аналогов профилированных труб, например, труб с накаткой, и имеют ряд существенных преимуществ [10]:

– наличие спиральных выступов на поверхностях теплообмена пружинно-витой трубы обеспечивает двустороннюю интенсификацию процессов теплопередачи и увеличивает площадь теплообменной поверхности, по сравнению с гладкой трубой, в среднем в 1,5-1,7 раза;

– технология изготовления канала путем навивки исключается явление наклепа, имеющего место в технологии накатки;

– металлоемкость конструкций снижается как минимум на 27 %;

– снижается скорость солеотложения и накипи на стенках канала, так как периодическое обновление пограничного слоя препятствует осаждению загрязнений внутри элементов.

В связи с развитием и использованием нанотехнологий в процессе производства появляется возможность изготовления таких труб из широкого класса цветных металлов (алюминий, латунь, медь).

Следует отметить, что рассматриваемые конфигурации пружинно-витых каналов могут применяться в теплообменных аппаратах как гравитационного, так и ротационного типов.

VI. Определение площади сечения элементов стенки. Поверхность пружинно-витого канала, образованного путем намотки проволоки эллиптического сечения на круговой цилиндр радиуса r_0, описывается параметрическими уравнениями [11]:

$$\vec{r}(t,j)=\begin{pmatrix}(r_0-c\cos j)\cos t+\dfrac{db\sin j\,\sin t}{\sqrt{r_0^2+b^2}}\\(r_0-c\cos j)\sin t-\dfrac{db\sin j\,\cos t}{\sqrt{r_0^2+b^2}}\\bt+\dfrac{r_0 d\sin j}{\sqrt{r_0^2+b^2}}\end{pmatrix},\ 0\le\varphi\le 2\pi,\ 0\le t\le 2\pi n. \qquad (1)$$

Здесь n – число витков канала, c, d – полуоси эллипса, $b=d/\pi$ – параметр, характеризующий плотное прилегание витков проволоки.

Запишем уравнение поверхности в сечении, отвечающем текущему радиусу r (рис. 10). Имеем $x^2(t,j)+y^2(t,j)=r^2$. Отсюда $(r_0-c\cos j)^2+\dfrac{d^2b^2\sin^2 j}{r_0^2+b^2}=r^2$. Раскрывая скобки и выражая $\sin j$ через $\cos j$, получим квадратное уравнение относительно $\cos j$:

$$\left(c^2-d^2b^2\right)\cos^2 j-2r_0c\left(r_0^2+b^2\right)\cos j+d^2b^2+\left(r_0^2-r^2\right)\left(r_0^2+b^2\right)=0. \qquad (2)$$

При $r\in[r_0;r_0+2c]$ полученное квадратное уравнение имеет решение.

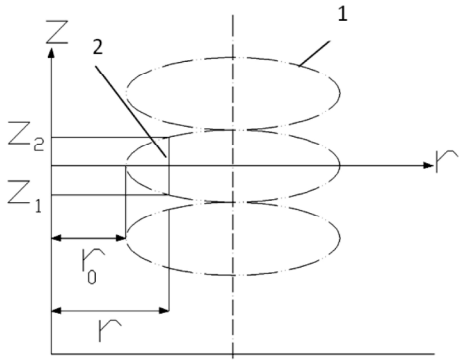


Рис. 10. Фрагмент стенки пружинно-витого канала:
1 – элементы стенки пружинно-витого канала;
2 – сечение элемента стенки в радиальном направлении

Пусть $j_1(r)$ и $j_2(r)$ – решение уравнения (2), принадлежащее промежутку $[0;2p]$.

Тогда при фиксированном параметре t имеем:

$$z_1 = bt + \frac{r_0 d \sin j_1(r)}{\sqrt{r_0^2 + b^2}},\ z_2 = bt + \frac{r_0 d \sin j_2(r)}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}.$$

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{r_0 d\left(\sin j_2(r) - \sin j_1(r)\right)}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}.$$

Длина винтовой линии, расположенной на круговом цилиндре радиуса r, равна $2p\,n\sqrt{r^2 + b^2}$.

Тогда площадь сечения элементов стенки в радиальном направлении вычисляется по формуле:

$$S = 2p\,n\sqrt{r^2 + b^2} \cdot \Delta z = 2p\,n r_0 d \sqrt{\frac{r^2 + b^2}{r_0^2 + b^2}} \left|\sin j_2(r) - \sin j_1(r)\right|.$$

VII. Вычисление площади теплообмена пружинно-витого канала. Площади S_1 и S_2 внутренней поверхности G_1 и внешней G_2 пружинно-витого канала вычисляются с использованием поверхностного интеграла первого рода [12]:

$$S_k = \iint\limits_{G_k} dG_k = \iint\limits_{D_k(t,j)} \left|\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} \times \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial j}\right| dt\,dj\ ,\ k = 1,2,$$

где $\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} \times \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial j}$ есть векторное произведение, а $D_1(t,j) = \{0 \le t \le 2p\,n,\ -p/2 \le j \le p/2\}$, $D_2(t,j) = \{0 \le t \le 2p\,n,\ p/2 \le j \le 3p/2\}$ определяют области изменения координат (t,j).

Частные производные $\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t}$ и $\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial j}$ вычисляются по формулам:

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} = \frac{\partial x}{\partial t}(t,j)\mathbf{i} + \frac{\partial y}{\partial t}(t,j)\mathbf{j} + \frac{\partial z}{\partial t}(t,j)\mathbf{k} =$$

$$= \left((c\cos j - r_0)\sin t + \frac{db\sin j\,\cos t}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}\right)\mathbf{i} + \left((r_0 - c\cos j)\cos t + \frac{db\sin j\,\sin t}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}\right)\mathbf{j} + b\mathbf{k};$$

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial j} = \frac{\partial x}{\partial j}(t,j)\mathbf{i} + \frac{\partial y}{\partial j}(t,j)\mathbf{j} + \frac{\partial z}{\partial j}(t,j)\mathbf{k} =$$

$$= \left(c\sin j\,\cos t + \frac{db\cos j\,\sin t}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}\right)\mathbf{i} + \left(c\sin j\,\sin t - \frac{db\cos j\,\cos t}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}\right)\mathbf{j} + \frac{r_0 d\cos j}{\sqrt{r_0^2 + b^2}}\mathbf{k}.$$

VIII. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку пружинно-витых каналов. Рассмотрим установившийся теплообменный процесс в однородном прямом пружинно-витом канале с постоянным коэффициентом теплопроводности l .

Пусть по одну сторону стенки (внутри) канала находится жидкость с температурой $t_{ж}$, по другую пар с температурой $t_{пар}$. Обозначим $t_{ст1}$, $t_{ст2}$ – температуру поверхности стенки внутри и снаружи.

Количество тепла, передаваемого за время t от стенки к жидкости по закону теплоотдачи [10], равно:

$$Q = a_{ж} S_1 \left(t_{ст1} - t_{ж}\right) t \ .$$

Количество тепла, передаваемого за время t от пара к стенке:

$$Q = a_{пар} S_2 \left(t_{пар} - t_{ст2}\right) t \ .$$

Количество тепла, проходящего через стенку, определим из первого закона Фурье:

$$Q = -l\, St \cdot grad(t),$$

где $grad(t)$ – градиент температурного поля, S – площадь сечения элементов стенки в радиальном направлении, $a_{пар}$ – коэффициент теплоотдачи пара, $a_{ж}$ – коэффициент теплоотдачи жидкости, S_1, S_2 – площади внутренней и внешней стенок канала.

Полагаем, что температура в элементах стенки распространяется в радиальном направлении по слоям.

Тогда градиент температуры: $grad(t) = \dfrac{dt}{dr}$, $S = S(r)$ и закон Фурье запишется в виде: $Q = -l\, S(r) t \cdot \dfrac{dt}{dr}$.

Разделяя переменные и интегрируя по области изменения переменных r и t, получим:

$$Q \int_{r_0}^{r_0+2c} \frac{dr}{S(r)} = -l\, t \int_{t_{ст1}}^{t_{ст2}} dt .$$

Отсюда $Q = -\dfrac{l\, t}{A}\left(t_{ст2} - t_{ст1}\right)$, где $A = \int_{r_0}^{r_0+2c} \dfrac{dr}{S(r)}$.

Запишем частные температурные напоры из формул для количества тепла:

$$t_{ст1} - t_{ж} = \frac{Q}{a_{ж} t\, S_1}; \ t_{пар} - t_{ст2} = \frac{Q}{a_{пар} t\, S_2}; \ t_{ст2} - t_{ст1} = -\frac{QA}{l\, t} .$$

Найдем общий температурный напор сложением частных напоров и выразим из него количество тепла:

$$Q = \frac{t\left(t_{пар} - t_{ж}\right)}{\left(\dfrac{1}{a_{ж} S_1} + \dfrac{1}{a_{пар} S_2} - \dfrac{A}{l}\right)} . \qquad (3)$$

Запишем равенство (3) в виде:

$$Q = Kt\left(t_{пар} - t_{ж}\right),$$

где K – коэффициент теплопередачи пружинно-витого канала, для которого справедливо равенство:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_{ж} S_1} + \frac{1}{a_{пар} S_2} - \frac{A}{l} .$$

Заключение. Рассмотрены конструкции теплообменных аппаратов с теплообменными элементами в виде пружинно-витых каналов. Предложены методы инженерного расчета отдельных конструкций аппаратов, включающих определение количества передаваемого тепла, коэффициентов теплопередачи и площади поверхности теплообменных аппаратов.

Список литературы

1. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Горская Т.Ю. Совершенствование теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью теплообмена «конфузор-диффузор» // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 112-124.
2. Патент № 91419 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Антонов С.Ю., Золотоносов А.Я., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. № 2009136142; заявл. 29.09.09; опубл. 10.02.10, Бюл. № 4.
3. Патент № 109282 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотоносов Я.Д., Осыка И.И., Никулин В.А., Фомин Н.А. №2011117714/06; заявл. 01.04.11.; опубл. 10.10.2011. Бюл. № 28.
4. Патент № 113823 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А., Осыка И.И., Никулин В.А. № 2011127714/06; заявл. 06.07.11.; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6.
5. Патент № 119451 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А., Багоутдинова А.Г. № 2012107373/06; заявл. 28.02.12.; опубл.20.08.2012, Бюл. № 23.
6. Патент № 64750 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. № 2007107173; заявл. 26.02.07; опубл. 10.07.07, Бюл. № 19.
7. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 262.
8. Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В. Теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом. – Казань: КГТУ, 1999. – С. 176.
9. Заявка на изобретение РФ. Змеевиковый теплообменник / Антонов С.Ю., Золотоносов Я.Д., Антонова А.В., Золотоносов А.Я., Дубров В.Д. №2010111728; заявл. 26.03.10; опубл. 10.10.11, Бюл. № 29.
10. Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку эллиптических гладких и пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов. // Известия КазГАСУ, 2009, № 1 (11). – С.158-164.
11. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Моделирование турбулентного течения в прямых пружинно-витых каналах // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19) . – С. 81-88.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 832 с.
13. Суслов В.А., Тепломассообмен: учебное пособие. 3-е изд-е, перераб. и доп. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУРБ, 2008. – 120 с.

Bagoutdinova A.G. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: bagoutdinova@rambler.ru
Zolotonosov Ya.D. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Mustakimova S.A. – the leading programmer
E-mail: mustakim@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Energy-efficient heat-exchange devices based on heat-exchange elements in the form of a spring-twisted channels

Resume

The article considers the prospect of modernization of the heat-exchange equipment on the basis of heat-exchange elements in the form of a spring-twisted pipes. The surface of such pipes represent channels, executed in the form of a tight spring, the turns of which rigidly

fastened together. An overview of the various configurations of the spring-twisted channels, the possibility of their use in the development and design of modern heat-exchange equipment, lists the main advantages of spring-developed channels of different configurations before smooth and profiled pipes. It was noted that the configuration spring-twisted channels can be used in heat exchangers of how gravity, so the rotation of the types.

Proposed methods of engineering calculation of separate constructions of heat-exchange elements, including determination of the amount of heat transfer, heat transfer coefficient and the surface area of the heat-exchange apparatus.

Keywords: heat transfer, turbulence, spring-twisted channel, the coefficient of heat transfer.

References

1. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov J.D., Gorskaya T.Yu. Improvement of heat exchange devices of the type «pipe in pipe» with rotating heat-exchange surface «confusor-diffusor» and ribbed flowing part // Izvestiya KGASU, 2012, № 2 (20). – P. 112-124.
2. Antonov S.Yu., Zolotonosov A.Ya., Antonova A.V., Zolotonosov Ya.D. Heat exchanging element: Patent № 91419 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. no 2009136142; Appl. 29.09.09; publ. 10.02.10, Byull. № 4.
3. Zolotonosov J.D., Osyka I.I., Nikulin V.A., Fomin N.A.. Heat exchanging element: Patent 109282 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. № 2011117714/06; Appl. 01.04.11.; publ.10.10.2011. Byull. № 28.
4. Zolotonosov J.D., Mustakimova S.A., Osyka I.I., Nikutin V.A. Heat exchanging element: Patent 113823 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. № 2011127714/06; Appl. 06.07.11.; publ. 27.02.2012, Byull. № 6.
5. Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A., Bagoutdinova A.G. Heat exchanging element: Patent № 119451 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. no 2012107373/06; Appl. 28.02.12.; publ. 20.08.2012, Byull. № 23.
6. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov J.D.. Heat exchanging element: Patent 64750 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. № 2007107173; Appl. 26.02.07; publ. 10.07.07, Byull. № 19.
7. Twinkle V.K. Modeling of the heat-exchange of energy equipment. – L.: Energoatomizdat, 1987. – 262 p.
8. Gortichov, Olimpiev V.V. Heat exchange devices with improved heat transfer. – Kazan: Kazan state technical University, 1999. – 176 p.
9. Antonov S.Yu., Zolotonosov J.D., Antonova A.V., Zolotonosov A.Ya., Dubrov E. Змеевиковый heat exchanger: the Application for the invention. Growing up. The Federation. no 2010111728; Appl. 26.03.10; publ. 10.10.11, Byull. №. 29.
10. Antonov S.Yu., Antonova A.V., Zolotonosov J.D. Determination of the coefficients of heat transfer through the wall of the elliptic smooth and spring-developed channels of heat exchangers. // Izv. KSUAE, 2009, № 1 (11). – P. 158-164.
11. Bagoutdinova A.G, Zolotonosov J.D., Mustakimova S.A Simulation of a turbulent flow in a direct spring-twisted channels Modelling of turbulent flow in straight line spring-twisted channels// News of the KSUAE. № 1 (19). – Kazan, 2012. – P. 81-88.
12. Korn G., Korn T. Handbook on mathematics for scientists and engineers. – M.: Izd-vo Nauka, 1973. – 832 p.
13. Suslov V.A., Heat-mass-exchange: a training manual. 3-e Izd-e, pererab. I DOP. – St. Petersburg: GOU VPO СПбГТУРБ, 2008. – 120 p.

УДК 532.5:621.694
Мустакимова С.А. – ведущий программист
E-mail: mustakim@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена закрученных течений в пружинно-витых каналах

Аннотация

Работа посвящена математическому моделированию турбулентного течения ньютоновской жидкости в пружинно-витых каналах. В основе модели лежат уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу, энергии и уравнения теплопроводности стенок канала. Для замыкания системы уравнений выбрана двухпараметрическая $k-w$ модель.

Система уравнений, путем ряда подстановок, преобразована в безразмерный вид, что облегчает процесс численной реализации.

Ключевые слова: моделирование, турбулентное движение, пружинно-витой канал.

Темпы развития современной промышленности диктуют необходимость дальнейшего совершенствования теплообменного оборудования, создание принципиально новых теплообменных аппаратов, сочетающих в себе высокие единичные мощности при малых габаритах. В связи с этим одним из перспективных направлений исследований является разработка теплообменного оборудования с теплообменными элементами в виде пружинно-витых каналов.

Пружинно-витые каналы представляют собой тугую пружину, витки которой жестко скреплены [1-3].

Данная статья посвящена математическому моделированию гидродинамических и тепловых процессов в пружинно-витых каналах.

Для описания турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости в пружинно-витом канале вводится система координат $x_1x_2x_3$, начало которой находится на входе в канал, ось x_3 направляется вдоль оси канала.

Запишем уравнения движения, неразрывности и энергии для описания процессов гидродинамики и теплообмена в рассматриваемом канале [7]:

$$r v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + m \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j \partial x_j}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial v_j}{\partial x_j} = 0 \quad (i = 1,2,3), \tag{2}$$

$$v_j \frac{\partial t}{\partial x_j} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x_j \partial x_j}. \tag{3}$$

Применяя осреднение по Рейнольдсу, запишем уравнения (1)-(3) в виде:

$$r \overline{v}_j \frac{\partial \overline{v_i}}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + m \frac{\partial^2 \overline{v_i}}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-r \overline{v_i' v_j'}\right) \tag{4}$$

$$\frac{\partial \overline{v}_j}{\partial x_j} = 0, \tag{5}$$

$$\bar{v}_j \frac{\partial \bar{t}}{\partial x_j} = a \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial \bar{t}}{\partial x_j} - \overline{v'_j t'} \right). \qquad (6)$$

Здесь $\bar{v}_j$ – компоненты осредненного вектора скорости $\bar{\vec{v}}$; x_i, x_j – координаты $(i, j = 1,2,3)$; r – плотность, $\bar{p}$ – давление, a – коэффициент температуропроводности.

Для замыкания системы уравнений (4)-(6) применим двухпараметрическую $k-w$ модель турбулентности.

В этом случае уравнения переноса турбулентной кинетической энергии k и удельной скорости диссипации w [8] запишутся в виде:

$$r\bar{v}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = t_{ij} \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - r b^* k w + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(m + s^* m_t \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \qquad (7)$$

$$r\bar{v}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = a \frac{w}{k} t_{ij} \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - r b w^2 + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(m + s m_t \right) \frac{\partial w}{\partial x_j} \right], \qquad (8)$$

$$m_t = p \frac{k}{w}, \qquad (9)$$

$$t_{ij} = -r\overline{v'_i v'_j} = r m_t \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} r k d_{ij}, \qquad (10)$$

где модельные константы имеют значения [9]:

$$b^* = \frac{9}{100};\ b = \frac{3}{40};\ a = \frac{5}{9};\ b^* = \frac{9}{100};\ s = \frac{1}{2}.$$

В целях уменьшения числа неизвестных функций, преобразуем уравнения:

$$\bar{v}_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{p}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{m}{r}\frac{\partial^2 \bar{v}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{k}{w}\left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k d_{ij} \right];\ \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_j} = 0;$$

$$\bar{v}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \left[\frac{k}{w}\left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k d_{ij} \right] \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - b^* k w + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{m}{r} + \frac{s^* k}{w} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right];$$

$$\bar{v}_j \frac{\partial w}{\partial x_j} = a \frac{w}{k}\left[\frac{k}{w}\left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) \right] \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - b w^2 + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{m}{r} + \frac{s^* k}{w} \right) \right] \frac{\partial w}{\partial x_j}.$$

Произведем суммирование уравнений по трем координатам, тогда уравнения движения запишутся в виде:

$$\bar{n}_1 \frac{\partial \bar{n}_1}{\partial x_1} + \bar{n}_2 \frac{\partial \bar{n}_1}{\partial x_2} + \bar{n}_3 \frac{\partial \bar{n}_1}{\partial x_3} = -\frac{1}{r}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1} + \frac{m}{r}\left(\frac{\partial^2 \bar{n}_1}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \bar{n}_1}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \bar{n}_1}{\partial x_3^2} \right) - \frac{2}{3}\frac{\partial k}{\partial x_1} +$$

$$+ \left[\begin{array}{l} \dfrac{k}{w}\left(2\dfrac{\partial^2 \bar{v}_1}{\partial x_1^2} + \dfrac{\partial^2 \bar{v}_1}{\partial x_2^2} + \dfrac{\partial^2 \bar{v}_2}{\partial x_1 \partial x_2} + \dfrac{\partial^2 \bar{v}_1}{\partial x_3^2} + \dfrac{\partial^2 \bar{v}_3}{\partial x_1 \partial x_3} \right) + \left(\dfrac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_2} + \dfrac{\partial \bar{v}_2}{\partial x_1} \right) \dfrac{\partial}{\partial x_2}\left(\dfrac{k}{w} \right) + \\ + \left(\dfrac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_3} + \dfrac{\partial \bar{v}_3}{\partial x_1} \right) \dfrac{\partial}{\partial x_3}\left(\dfrac{k}{w} \right) \end{array} \right]; \qquad (11)$$

$$\bar{n}_1\frac{\partial\bar{n}_2}{\partial x_1}+\bar{n}_2\frac{\partial\bar{n}_2}{\partial x_2}+\bar{n}_3\frac{\partial\bar{n}_2}{\partial x_3}=-\frac{1}{r}\frac{\partial\bar{p}}{\partial x_2}+\frac{m}{r}\left(\frac{\partial^2\bar{n}_2}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\bar{n}_2}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\bar{n}_2}{\partial x_3^2}\right)-\frac{2}{3}\frac{\partial k}{\partial x_2}+$$
$$+\left[\frac{k}{w}\left(2\frac{\partial^2\bar{v}_2}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_2}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_1}{\partial x_1\partial x_2}+\frac{\partial^2\bar{v}_2}{\partial x_3^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_3}{\partial x_2\partial x_3}\right)+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\right)\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{k}{w}\right)+\right.$$
$$\left.+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}+\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}\right)\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\frac{k}{w}\right)\right]; \qquad (12)$$

$$\bar{n}_1\frac{\partial\bar{n}_3}{\partial x_1}+\bar{n}_2\frac{\partial\bar{n}_3}{\partial x_2}+\bar{n}_3\frac{\partial\bar{n}_3}{\partial x_3}=-\frac{1}{r}\frac{\partial\bar{p}}{\partial x_2}+\frac{m}{r}\left(\frac{\partial^2\bar{n}_3}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\bar{n}_3}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\bar{n}_3}{\partial x_3^2}\right)-\frac{2}{3}\frac{\partial k}{\partial x_3}+$$
$$+\left[\frac{k}{w}\left(2\frac{\partial^2\bar{v}_3}{\partial x_3^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_3}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_1}{\partial x_1\partial x_3}+\frac{\partial^2\bar{v}_3}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\bar{v}_2}{\partial x_2\partial x_3}\right)+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\right)\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{k}{w}\right)+\right.$$
$$\left.+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}\right)\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{k}{w}\right)\right]; \qquad (13)$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial\bar{n}_1}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}+\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}=0 \qquad (14)$$

Уравнение переноса для турбулентной кинетической энергии:

$$\bar{v}_1\frac{\partial k}{\partial x_1}+\bar{v}_2\frac{\partial k}{\partial x_2}+\bar{v}_3\frac{\partial k}{\partial x_3}=-\frac{2}{3}k\left(\frac{\partial\bar{n}_1}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}+\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}\right)-$$
$$+2\frac{k}{w}\left[\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}\right)^2\right]+2\frac{k}{w}\left[\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}\right)^2\right]+$$
$$-\frac{k}{w}\left[\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}+2\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}\right]+$$
$$+\frac{k}{w}\left[\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}\right)^2\right]-$$
$$-b^*kw+\left(\frac{m}{r}+\frac{k}{w}\right)\left(\frac{\partial^2k}{\partial x_1{}^2}+\frac{\partial^2k}{\partial x_2{}^2}+\frac{\partial^2k}{\partial x_3{}^2}\right)+\left[\frac{\partial k}{\partial x_1}\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{k}{w}\right)+\frac{\partial k}{\partial x_2}\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{k}{w}\right)+\frac{\partial k}{\partial x_3}\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\frac{k}{w}\right)\right] \qquad (15)$$

Уравнение переноса для удельной скорости диссипации энергии w:

$$\bar{v}_1\frac{\partial w}{\partial x_1}+\bar{v}_2\frac{\partial w}{\partial x_2}+\bar{v}_3\frac{\partial w}{\partial x_3}=-bw^2-\frac{2}{3}k\left(\frac{\partial\bar{n}_1}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}+\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}\right)+$$
$$+a\left[\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}+2\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}+\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_2}\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_1}+2\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}+\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}+\right]+$$
$$+a\left[\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_3}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_3}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_2}\right)^2\right]+2a\left[\left(\frac{\partial\bar{v}_1}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_2}{\partial x_2}\right)^2+\left(\frac{\partial\bar{v}_3}{\partial x_3}\right)^2\right]+$$
$$+\left(\frac{m}{r}+\frac{k}{w}\right)\left(\frac{\partial^2w}{\partial x_1{}^2}+\frac{\partial^2w}{\partial x_2{}^2}+\frac{\partial^2w}{\partial x_3{}^2}\right)+\left[\frac{\partial w}{\partial x_1}\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{k}{w}\right)+\frac{\partial w}{\partial x_2}\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{k}{w}\right)+\frac{\partial w}{\partial x_3}\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\frac{k}{w}\right)\right] \qquad (16)$$

Для однозначной разрешимости системы уравнений (10)-(15) запишем граничные условия:

во входном сечении канала:

для давления: $p = p_0$; для скорости: $\bar{v}_1 = 0$, $\bar{v}_2 = 0$, $\bar{v}_3 = u_0$;

для температуры жидкости – t_0;

для температуры стенки – t_c;

для кинетической энергии турбулентности и ее удельной скорости диссипации энергии $k = k_0$, $w = w_0$;

в выходном сечении канала:

«мягкие» граничные условия $\frac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial \bar{v}_2}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial \bar{v}_3}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial \bar{t}}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial p}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial k}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial \omega}{\partial x_3} = 0$, что означает выравнивание гидродинамических характеристик потока на выходе;

на границе жидкости и твердой стенки:

для скорости – условия прилипания $\bar{v}_1 = 0$, $\bar{v}_2 = 0$, $\bar{v}_3 = 0$;

для температуры $\bar{t} = t_c$, $\lambda \left| \frac{\partial \bar{t}}{\partial \vec{n}} \right| = \lambda_c \left| \frac{\partial t_c}{\partial \vec{n}} \right|$, где $\vec{n}$ – вектор нормали, t_c – температура стенки канала; l, $l_{\tilde{n}}$ – соответственно теплопроводность жидкости и стенки;

для кинетической энергии турбулентности $k = 0$, $w = 0$;

на границе внешней стенки и теплоносителя: $\lambda_{\tilde{n}} \left| \frac{\partial t_{\tilde{n}}}{\partial \vec{n}} \right| = \alpha_{\dot{O}} (t_0 - t_c)$, где t_p – температура теплоносителя, $\alpha_{\dot{O}}$ – коэффициент теплоотдачи теплоносителя.

Далее произведем замену переменных, где $x = \frac{x_1}{a}$, $y = \frac{x_2}{a}$, $z = \frac{x_3}{a}$, кроме того, введем безразмерные функции вида:

$F_1(x,y,z)$, $F_2(x,y,z)$, $F_3(x,y,z)$, $K(x,y,z)$, $\Omega(x,y,z)$, $T(x,y,z)$, $T_c(x,y,z)$ и критерии подобия $\mathrm{Re} = \frac{u_0 d_{\acute{y}\hat{e}\hat{a}}}{n}$ – число Рейнольдса, $Fr = \frac{u_0^2}{gd}$ – число Фруда, где d – параметр винтовой линии.

Решение системы уравнений (11)-(16) будем искать в виде:

$$\begin{gathered} \bar{n}_1 = u_0 F_1(x,y,z),\ \bar{n}_2 = u_0 F_2(x,y,z), \\ \bar{n}_3 = u_0 F_3(x,y,z),\ \ p - p_0 = u_0^2 r\, P(x,y,z), \\ k = u_0^2 K(x,y,z),\ \ w = \frac{g}{u_0} \Omega(x,y,z), \\ \bar{t} = t_0 T_0(x,y,z),\ \ \bar{t}_{\tilde{n}} = t_c T_{\tilde{n}}(x,y,z). \end{gathered} \tag{17}$$

Используя подстановки (17) в уравнениях (11)-(16), получим:

уравнения движения:

$$\begin{aligned} F_1 \frac{\partial F_1}{\partial x} + F_2 \frac{\partial F_1}{\partial y} + F_3 \frac{\partial F_1}{\partial z} = -\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{d_{\acute{y}\hat{e}\hat{a}}}{a\,\mathrm{Re}} \left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 F_1}{\partial z^2} \right) - \frac{2}{3}\frac{\partial K}{\partial x} + \\ + Fr \left[\begin{gathered} \left(\frac{K}{\Omega} \right) \left(2\frac{\partial^2 F_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 F_2}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 F_1}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 F_3}{\partial x \partial z} \right) + \left(\frac{\partial F_1}{\partial y} + \frac{\partial F_2}{\partial x} \right) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{K}{\Omega} \right) + \\ + \left(\frac{\partial F_1}{\partial z} + \frac{\partial F_3}{\partial x} \right) \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K}{\Omega} \right) \end{gathered} \right], \end{aligned} \tag{18}$$

$$F_1\frac{\partial F_2}{\partial x}+F_2\frac{\partial F_2}{\partial y}+F_3\frac{\partial F_2}{\partial z}=-\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{d_{\text{э}\hat{e}\hat{a}}}{a\,\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 F_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F_2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 F_2}{\partial z^2}\right)-\frac{2}{3}\frac{\partial K}{\partial y}+$$
$$+Fr\left[\begin{array}{l}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\left(2\frac{\partial^2 F_2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 F_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F_1}{\partial x\partial y}+\frac{\partial^2 F_2}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 F_3}{\partial y\partial z}\right)+\left(\frac{\partial F_2}{\partial x}+\frac{\partial F_1}{\partial y}\right)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\\ +\left(\frac{\partial F_2}{\partial z}+\frac{\partial F_3}{\partial y}\right)\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\end{array}\right], \quad (19)$$

$$F_1\frac{\partial F_3}{\partial x}+F_2\frac{\partial F_3}{\partial y}+F_3\frac{\partial F_3}{\partial z}=-\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{d_{\text{э}\hat{e}\hat{a}}}{a\,\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 F_3}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F_3}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 F_3}{\partial z^2}\right)-\frac{2}{3}\frac{\partial K}{\partial z}+$$
$$+Fr\left[\begin{array}{l}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\left(2\frac{\partial^2 F_3}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 F_3}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F_1}{\partial x\partial z}+\frac{\partial^2 F_3}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 F_2}{\partial y\partial z}\right)+\left(\frac{\partial F_3}{\partial x}+\frac{\partial F_1}{\partial z}\right)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\\ +\left(\frac{\partial F_3}{\partial y}+\frac{\partial F_2}{\partial z}\right)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\end{array}\right]; \quad (20)$$

неразрывности:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x}+\frac{\partial F_2}{\partial y}+\frac{\partial F_3}{\partial z}=0; \quad (21)$$

энергии:

$$F_1\frac{\partial T}{\partial x}+F_2\frac{\partial T}{\partial y}+F_3\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{1}{DPe_t}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right); \quad (22)$$

где $Pe_t=u_0\frac{d_{\text{э}\hat{e}\hat{a}}}{(a+a_t)}$ – число Пекле, $D=\frac{d_{\text{э}\hat{e}\hat{a}}}{d}$;

теплопроводности для стенок канала:

$$\frac{\partial^2 T_{\tilde{n}}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_{\tilde{n}}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T_{\tilde{n}}}{\partial z^2}=0; \quad (23)$$

турбулентной кинетической энергии:

$$F_1\frac{\partial k}{\partial x}+F_2\frac{\partial k}{\partial y}+F_3\frac{\partial k}{\partial z}=-\frac{2}{3}K\left(\frac{\partial \bar{n}_1}{\partial x_1}+\frac{\partial \bar{v}_2}{\partial x_2}+\frac{\partial \bar{v}_3}{\partial x_3}\right)-$$
$$-Fr\frac{K}{\Omega}\left[\frac{\partial F_1}{\partial y}\frac{\partial F_2}{\partial x}+2\frac{\partial F_1}{\partial z}\frac{\partial F_3}{\partial x}+\frac{\partial F_1}{\partial y}\frac{\partial F_2}{\partial x}+\frac{\partial F_2}{\partial z}\frac{\partial F_3}{\partial y}+\frac{\partial F_2}{\partial z}\frac{\partial F_3}{\partial y}\right]+$$
$$+2Fr\frac{K}{\Omega}\left[\left(\frac{\partial F_1}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F_2}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial z}\right)^2\right]+$$
$$+Fr\frac{K}{\Omega}\left[\left(\frac{\partial F_1}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial F_2}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F_2}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial F_1}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial y}\right)^2\right]- \quad (24)$$
$$-\frac{b^*}{Fr}+\left(\frac{d_{\text{э}\hat{e}\hat{a}}}{a\,\mathrm{Re}}+\frac{K}{\Omega}\right)\left(\frac{\partial^2 K}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 K}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 K}{\partial z^2}\right)+$$
$$Fr\left[\frac{\partial K}{\partial x}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\frac{\partial K}{\partial y}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\frac{\partial K}{\partial z}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\right];$$

удельной скорости диссипации турбулентной энергии:

$$F_1\frac{\partial\Omega}{\partial x}+F_2\frac{\partial\Omega}{\partial y}+F_3\frac{\partial\Omega}{\partial z}=-\frac{b}{Fr}-\frac{2}{3}K\left(\frac{\partial F_1}{\partial x_1}+\frac{\partial F_2}{\partial x_2}+\frac{\partial F_3}{\partial x_3}\right)+$$
$$+a\,Fr\left[\frac{\partial F_1}{\partial y}\frac{\partial F_2}{\partial x}+2\frac{\partial F_1}{\partial z}\frac{\partial F_3}{\partial x}+\frac{\partial F_1}{\partial y}\frac{\partial F_2}{\partial x}+2\frac{\partial F_3}{\partial y}\frac{\partial F_2}{\partial z}+\frac{\partial F_1}{\partial z}\frac{\partial F_3}{\partial x}+\right]+$$
$$+2a\,Fr\left[\left(\frac{\partial F_1}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F_2}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial z}\right)^2\right]+a\,Fr\left[\left(\frac{\partial F_1}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial F_2}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial F_3}{\partial y}\right)^2\right]+ \quad (25)$$
$$+\left(\frac{d_{\acute{y}\hat{e}\hat{a}}}{a\,\mathrm{Re}}+Fr\frac{K}{\Omega}\right)\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial z^2}\right)+Fr\left[\frac{\partial\Omega}{\partial x}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\frac{\partial\Omega}{\partial y}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K}{\Omega}\right)+\frac{\partial\Omega}{\partial z}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{K}{\Omega}\right)\right].$$

Граничные условия

на входе: $F_1=0$, $F_2=0$, $F_3=1$, $T=1$, $T_c=1$, $K=K_0$, $\Omega=\Omega_0$;

на выходе: $\frac{\partial F_1}{\partial z}=0$, $\frac{\partial F_2}{\partial z}=0$, $\frac{\partial F_3}{\partial z}=0$, $\frac{\partial T}{\partial z}=0$, $\frac{\partial K}{\partial z}=0$, $\frac{\partial\Omega}{\partial z}=0$;

на границе жидкости и твердой стенки: $F_1=0$, $F_2=0$, $F_3=0$, $T=T_c$, $K=0$, $\lambda\frac{\partial T}{\partial n}=\lambda_c\frac{\partial T_c}{\partial n}$;

на границе внешней стенки и теплоносителя: $\left|\frac{\partial T_{\tilde{n}}}{\partial n}\right|=Bi\left(T_0-T_c\right)$.

Разработана математическая модель гидродинамических и теплообменных процессов закрученных турбулентных течений несжимаемой жидкости в пружинно-витых каналах. Численная реализация предложенной модели позволит определить поле скоростей, давления и температур в проточной части пружинно-витых каналах и уточнить методику инженерных расчетов теплообменных аппаратов.

Список литературы

1. Патент РФ № 62694 на полезную модель.Теплообменный элемент / Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Конахина И.А. № 2006143517/23, заявл. 07.19.06; Бюл. 12. – С. 7.
2. Патент РФ № 64750 на полезную модель.Теплообменный элемент / Золотоносов Я.Д, Осыка И.Н., Никулин В.А., Фомин Н.А. № 2011112666/06, заявл. 01.04.11; Бюл. – С. 11-28.
3. Патент РФ № 11382 на полезную модель.Теплообменный элемент / Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А., Осыка И.Н., Никулин В.А. № 2011127714/06, заявл. 06.07.11; Бюл. 6. – С. 5.
4. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств//Известия КГАСУ, 2011, № 4 (18). – С. 185-193.
5. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Моделирование турбулентных течений в прямых пружинно-витых каналах // Известия КГАСУ, 2011, № 1 (19). – С. 81-88.
6. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена при турбулентном течении в пружинно-витых каналах // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах. Сб. тр. – Пенза, 2012. – С. 21-25.
7. Лойцянский Л.И. Механика жидкости и газа. Изд. 6-е. – М.: Наука, 1987.
8. Q. Xiao, M. Tsai, F. Liu. Computation of transonic diffuser flows by a lagged $k-w$ turbulence model // Journal of propulsion and power, vol.19, № 3, may-june 2003. – P. 473-483.

Mustakimova S.A. – the leading programmer
E-mail: mustakim@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer of swirling currents in the spring-twisted channels

Resume

This article focuses on the mathematical modeling of turbulent flow of Newtonian fluid in a spring-twisted channels. The model equations are the Navier-Stokes equations, Reynolds averaged, energy and the heat conduction equation of the channel walls. To close the system of equations is chosen two-parameter model that allows to get an idea of the twist of the flow in the channels.

The system of equations by a series of substitutions, transformed into a dimensionless form, which facilitates the numerical implementation.

Numerical implementation of the developed mathematical model of hydrodynamic and heat transfer processes of turbulent swirling flow of an incompressible fluid in a spring-twisted channels will determine the velocity field, pressure and temperature in the flow of spring-twisted channels and to clarify the methods of engineering calculations of heat exchangers.

Keywords: mathematical modeling, turbulent movement, spring-twisted-channel.

References

1. Zolotonosov A.J., Zolotonosov Ja.D., Konahina I.A. Teploobmennyj an element: the patent 62694 Russian Federation. № 2006143517/23; it is published 10.07.07. The bulletin № 12. – P. 7.
2. Zolotonosov Ja.D., Osyka, I.N. Nikutin V.A., Fomin N.A. Teploobmennyj an element: the patent 64750 Russian Federation. № 2011112666/06; it is published 10.07.07. The bulletin № 28. – P. 11.
3. Zolotonosov Ja.D., Mustakimova S.A., Osyka I.N., Nikutin V.A. Teploobmennyj an element: the patent 11382 Russian Federation. № 2011127714/06; it is published 06.07.11. The bulletin № 6. – 5 p.
4. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Geometrical modelling of difficult surfaces of spring-twisted channels of heat-exchange devices // News of the KSUAE, 2011, № 4 (18). – P. 185-193.
5. Bagoutdinova A.G, Zolotonosov J.D., Mustakimova S.A Simulation of a turbulent flow in a direct spring-twisted channels Modelling of turbulent flow in straight line spring-twisted channels// News of the KSUAE. № 1 (19). - Kazan, 2012. – P. 81-88.
6. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer in a turbulent flow in a spring-twisted channels // Problems of energy saving and ecology in industrial and housing-and-municipal complexes. – Penza, 2012. – P. 21-25.
7. Loicanskii L.I. Fluid mechanic. Izd. 6-e, – M.: Nauka, 1987.
8. Q. Xiao, M. Tsai, F. Liu. Computation of transonic diffuser flows by a lagged $k-w$ turbulence model // Journal of propulsion and power, vol. 19, № 3, may-june 2003. – P. 473-483.

УДК 531.1, 681.121.84
Насыбуллин А.А. – инженер
E-mail: airobis@mail.ru
Правник Ю.И. – инженер
E-mail: Gust.Sim.@mail.ru
Антропов Д.Н. – кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: antropov@mesys.ru
Садыков Р.А. – доктор технических наук, профессор
E-mail: Sadykov_R_A@mail. ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ерёмин С.А. – главный инженер
E-mail: keo@i-set.ru
МУП ПО «Казэнерго»
Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Тукая, д. 162

Электронный датчик давления, температуры и расхода

Аннотация

В статье приводится описание датчика. Даётся программное обеспечение измерения. Определяются возможная точность измерения расхода. С помощью трубы Вентури конструктивно решается вопрос создания ламинарного течения потока рабочей среды в месте, где производится измерение полного давления. Вводится поправка на сжимаемость газа в месте контакта газового потока с торцом трубки Пито. Предусмотрена возможность турбулентного течения потока.

Ключевые слова: датчик, температура, полное и статическое давление, расход, микропроцессор, ламинарное и турбулентное течение, труба Вентури.

Введение

Существует потребность в повышении качества контроля, управления, обеспечения безопасности обслуживания теплоэнергетических установок, снижения затрат на этапах обслуживания и эксплуатации. Потребность в датчиках давления, температуры и расхода возрастает в связи с заменой устаревшей автоматизации в котельных и других теплоэнергетических комплексах. Электронный датчик давления, температуры и расхода служит для измерения указанных параметров в газовой и жидкой среде небольшой вязкости сразу в одной точке, одновременно и может использоваться в газовом хозяйстве, теплоэнергетике, химической промышленности, машиностроении и т.д.

Описание многопараметрического датчика

Электронный датчик давления, температуры и расхода (далее датчик) заменяет собой три датчика и позволяет сократить затраты при изготовлении, снизить по совокупности стоимость и упростить техническое обслуживание теплогенерирующего оборудования. Преимущество перед механическими датчиками заключается в том, что электронный многопараметрический датчик имеет интеллектуальный цифровой интерфейс, который позволяет использовать значение измеряемых параметров в системах управления технологическими процессами и других устройствах. Точность электронного многопараметрического датчика многократно превосходит точность механических, благодаря более точной электронной обработке сигнала. В датчике заложены функциональные возможности: встроенная самодиагностика датчика с передачей информации о его состоянии, перенастройка диапазона измерений с коррекцией нелинейностей измерений. Электронный многопараметрический датчик давления, температуры и расхода может работать и как реле давления. При равенстве величин статического и полного давлений (это означает, что поток рабочей среды остановился) сигнал от него может поступать на управление и будет произведено ответное действие. Применение новой автоматики с использованием таких датчиков уменьшает потребление газа на 5-10 %, что особенно актуально в связи с постоянно увеличивающимися ценами на энергоносители.

Электронный датчик давления, температуры и расхода (рис.) включает: трубу Вентури 1, к которой приварен штуцер 2, с размещённым в нём датчиком 3. Датчик 3 крепится к штуцеру 2 через втулку 4 гайкой 5. В датчике 3 вмонтированы чувствительные элементы канал полного давления 6 (Г-образная трубка – трубка Пито), канал статического давления 7 и капсула 8, с размещённым в ней чувствительным элементом термодатчика.

Оба канала давления в верхней части имеют припаянные мембраны 9, деформация которых от давления в электронной части 10 встроенным микропроцессором превращается в электрический сигнал. От разрушения мембран 9 при превышении давлений предохраняют гайки – упоры. В каналах давлений перед мембранами 9 имеются специальные пробки 11 для стравливания воздуха при заполнении каналов рабочей средой в процессе монтажа датчика на рабочем месте. Оба канала 6 и 7 расположены в одной плоскости по оси трубы Вентури 1 (*канал 7 расположен перед каналом 6 по потоку рабочей среды*) в её узкой части. Канал 6 располагается входным торцом в среднем сечении узкой части трубы Вентури, строго по её оси, входом против течения рабочей среды, что обеспечивается штифтами 12 и 13. Датчик 3 может быть демонтирован без остановки рабочего процесса, благодаря запорному устройству в виде подпружиненной крышки 14 закреплённой в нижней части втулки 4 и ориентированной штифтом 12 так, чтобы крышка 14, находилась бы с тыльной стороны датчика 3 (после чувствительных элементов по потоку). При демонтаже корпуса датчика 3 крышка 14 пружиной плотно приткнётся к седлу втулки 4 по мягкой уплотнительной вставке, обеспечивающей герметичный контакт. Уплотнительные кольца 15 обеспечивают герметичность втулки 4, штуцера 2 и датчика 3. Микропроцессор, получающий информацию от чувствительных элементов и обеспечивающий переработку информации и её визуализацию, находится в электронном блоке 10.

Электронный датчик давления, температуры и расхода работает следующим образом. Рабочая среда проходит по каналам 6 и 7 к чувствительным элементам мембранам 9, деформация которых оказывает влияние на величину электрического сигнала. Одновременно рабочая среда через капсулу 8 воздействует на чувствительный элемент измерения температуры, преобразуя в электрический сигнал. Предварительно вводят в программу микропроцессора диаметр узкой части трубы Вентури, стандартное значение плотности и вязкости рабочей среды, которые в процессе измерения преобразуются в соответствующие режиму значения. Заданная программа осредняет величину максимальной скорости потока рабочей среды, вычисленную по замеренным полному и статическому давлениям. Секундный расход рабочей среды таймером переводят в суммарный.

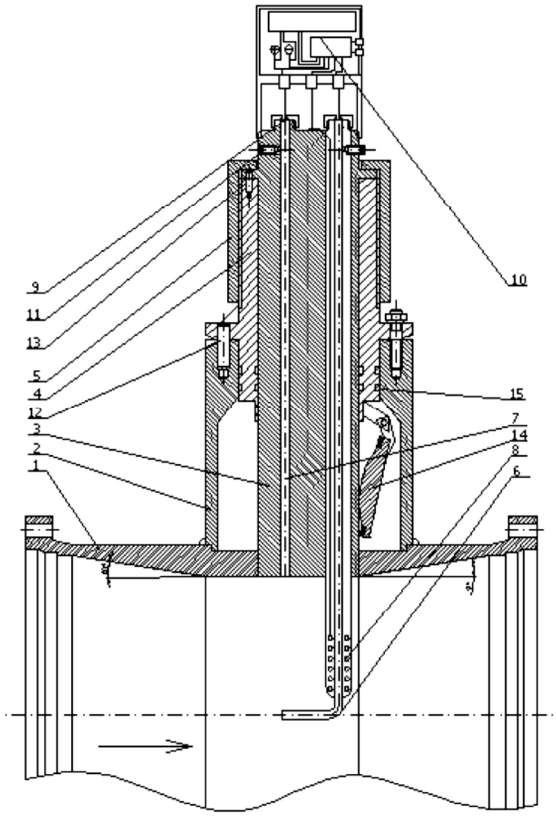


Рис. Электронный датчик давления, температуры и расхода:
1 – труба Вентури; 2 – штуцер; 3 – датчик; 4 – втулка; 5 – гайка;
6 – канал полного давления, трубка Пито; 7 – канал статического давления;
8 – капсула термодатчика; 9 – мембраны; 10 – электронная часть датчика; 11 – пробки;
12 и 13 – штифты; 14 – крышка; 15 – кольца уплотнительные

Микропроцессор обрабатывает электрические сигналы, производит программные операции, выводит данные на электронное табло и осуществляет контроль над рабочим процессом и изменениями значений параметров рабочей среды, а также позволяет выполнять другие операции.

При необходимости демонтировать датчик 3 надо отворачивать накидную гайку 5 до момента закрытия крышки 14 (отмечена нитка резьбы на втулке 4 пропилом), через пробки 11 стравить давление рабочей среды с каналов 6 и 7, окончательно выкрутить накидную гайку 5 и вынуть датчик 3. Крышка 14, упёртая в седло втулки 4, дополнительно подпираемая давлением рабочей среды, обеспечивает изоляцию рабочего тракта от внешних влияния.

Для установки датчика 3 на рабочее место нужно ввести его во втулку 4, наворачивая накидную гайку 5 до момента открытия крышки 14, через пробки 11 стравить воздух из каналов 6 и 7 до появления устойчивой струи рабочей среды и затянуть пробки 11 обратно. Накидную гайку 5 затянуть до упора. В момент открытия крышки 14 корпус 1 датчика должен находиться в контакте с уплотнительными кольцами 15. Необходимо обязательно соблюдать точность взаиморасположения элементов конструкции, гарантирующую правильное расположение канала 6 в рабочей среде по глубине и направлению.

Программное обеспечение датчика

Труба Вентури имеет входную коническую часть под углом 21°, цилиндрическую малого диаметра (горловину), в которой и размещён собственно датчик, и расширяющуюся (диффузор) под углом 15°. Длина цилиндрической части должна быть не менее её диаметра. По середине длины цилиндрической части, в одной поперечной плоскости размещаются: входная часть канала полного и ось канала статического давлений. Чтобы избежать ошибки при монтаже, фланцы входа и выхода должны отличаться либо размерами диаметров, либо числом крепёжных элементов. Труба Вентури подбирается такой, чтобы отношение диаметра её горловины к диаметру трубопровода находилось в пределах 0,6 и чтобы при измеряемом расходе рабочей среды в узкой её части скорость потока была ламинарной, что соответствует числу Рейнольдса: для жидких сред $\mathrm{Re}_{кр} \le 2000$ [1]. Для газа критическое значение Рейнольдса – $R_{кр}$ достигается при значительно больших скоростях потока, чем у жидкостей, поскольку у первых больше кинематическая вязкость (в 10…15 раз). Средняя скорость W потока в случае ламинарного течения будет равняться половине максимальной скорости W_{max}. Поэтому она, измеряемая статической и динамической составляющей, делится пополам [1]. Скорость W для несжимаемой жидкости будет:

$$W = W_{\max} \Big/ 2 = 0,5\sqrt{2\left(P^* - P\right)\Big/ r} ,$$

для газов [2]:

$$W = 0,5\sqrt{2\left(P^* - P\right)\Big/ r\left(1+e\right)} ,$$

где: e поправка на сжимаемость газа при входе в канал полного давления

$$e = aW_{\max} \Big/ 4$$

Расход рабочей среды весовой – G и объёмный – V рассчитывается по формулам:

$$G = F \cdot W \cdot r = 0,785 \cdot d^2 \cdot W \cdot r ,$$

$$V = F \cdot W = 0,785 d^2 W .$$

Здесь: d – диаметр горловины трубы Вентури, введённый в программу микропроцессора при монтаже датчика на рабочем месте;

r – плотность рабочей среды, соответствующая её температуре, введённая стандартной величиной в программу микропроцессора датчика при его монтаже на рабочем месте;

P^* – полное давление рабочей среды, измеряемое трубкой Пито;

P – статическое давление, измеряемое каналом статического давления датчика;

a – скорость звука в газовой среде:

$$a = \sqrt{\kappa g R T},$$

где: κ – показатель адиабаты газа;

g и R – ускорение свободного падения и газовая постоянная, соответственно, вводятся в программу микропроцессора при монтаже на рабочем месте;

T – температура (^{O}К) газовой среды;

$F = 0,785 d^2$ – площадь проходного сечения горловины трубы Вентури, вводимая в программу микропроцессора при монтаже датчика на рабочем месте.

По критерию Рейнольдса определяется метод определения расхода потока рабочей среды. Учитывая, что критерий Рейнольдса есть: $\mathrm{Re}_{кр} = W_{\max} d / n$, то при монтаже датчика на рабочее место необходимо в программу микропроцессора ввести и коэффициент кинематической вязкости n рабочей среды. Программа микропроцессора должна обеспечивать перевод плотности рабочей среды и её вязкости в значения, соответствующие температуре в данное время. Программа должна обеспечивать измерение секундного расхода рабочей среды, показания количества расхода и перевод в стандартные значения этих величин с выводом их на дисплей.

Монтаж датчика должен осуществляться с учётом требований ГОСТ 8.586.1-2005…ГОСТ 8.586.5-2005 [3, 4].

В случае невозможности добиться ламинарного течения в горловине трубы Вентури для турбулентного течения средняя скорость будет [1]:

$$W = W_{\max} - 4w.$$

Или для жидкости:

$$W = \sqrt{2\left(P^* - P\right)/r} - 4w,$$

для газа:

$$W = \sqrt{2\left(P^* - P\right)/\left(1 + er\right)} - 4w$$

где: w – динамическая скорость

$$w = \sqrt{g \cdot d / 4}$$

Ожидаемая погрешность измерения расхода датчиком

В настоящее время измерение давления и температуры датчиками производится с погрешностью $\pm 0,5\,\%$. Такой же показатель может быть достигнут и в данном датчике. Тогда ожидаемая погрешность измерения расхода d_G датчиком будет [5]:

$$d_G = \pm\sqrt{0,25\left(d_p^2 + d_т^2 + d_{\Delta p}^2\right) + d_\Sigma^2} = \pm 0,74\,\%,$$

где: $d_p = 0,5$ – погрешность измерения статического давления;

$d_т = 0,5$ – погрешность измерения температуры;

$d_{\Delta p} = 0,5$ – погрешность измерения полного давления;

$d_\Sigma = 0,6$ – общая погрешность, включающая ввод в микропроцессор диаметра трубы Вентури, плотности рабочей среды, кинематической вязкости и операции вычислений, производимых электронным блоком датчика.

Заключение

В процессе доводочных работ характеристики датчика могут быть улучшены. В результате будет создан высоконадёжный, недорогой интеллектуальный электронный многопараметрический датчик давления, температуры и расхода для массового применения в теплоэнергетике.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 14.B37.21.0336 в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы).

Список литературы

1. Мхиторян А.М. Гидравлика и гидромеханика. – Киев: Техлитература УССР, 1958. – 374 с.
2. Самойлович Г.С. Гидродинамика. – М.: Машиностроение, 1980. – 290 с.
3. ГОСТ 8.563.1-97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. – М.: ИПК. Издательство стандартов, 1998.
4. ГОСТ 8.586.1-5-2005 Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007.
5. Даев Ж.А. Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа. // Нефтегазовое дело, 2009. http://www.ogbus.ru (дата обращения: 20.06.12).

Nasybullin A.A. – engineer
E-mail: airobis@mail.ru
Pravnik Y.I. – engineer
E-mail: Gust.Sim.@Mail.ru
Antropov D.N. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: antropov@mesys.ru
Sadykov R.A. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: Sadykov_R_A@mail. Ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Eremin S.A. – main engineer
E-mail: keo@i-set.ru
MCC IN «Kazenergo»
The organization address: 420021, Russia, Kazan, Tukai st., 162

Pressure sensor, temperature and flow

Resume

Electronic multivariable pressure transmitter, temperature and flow replace three sensors and allows to measure at one point and at the same time and allows to control and participate in the management process. Manufacture of the sensor can reduce costs, reduce its cost of collection and simplify the maintenance of heat generating equipment. The design allows to make change of the sensor without shutting down the process of working through a spring-loaded lid after the device installation into the system. The advantage over the mechanical sensors that the electronic multivariable transmitter has an intelligent digital interface. The accuracy of electronic multiparameter sensor accuracy surpasses by more precise mechanical electronic signal processing. The sensor incorporated features: Built-in self-tests the sensor with the transfer of information about his condition, reconfiguration of range-corrected measurements of nonlinearities. The sensor can operate as a pressure switch. In case of equal values of static and total pressure (which means that the flow has stopped working environment), the signal can come from it to manage and will produce a response action.

Keywords: sensor, temperature, total and static pressure, flow rate, the microprocessor, the channels total and static pressures, Venturi tube.

References

1. Samoilovich G.S. Hydrodynamics. – Moscow: Mashinostroenie, 1980. – 290 p.
2. Mhitoryan AM Hydraulics and Fluid Mechanics. – Kiev. Tehliteratura USSR, 1958. – 374 p.
3. Standard 8.563–97 Standard – Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by variable pressure drop. Diaphragms, ISA 1932 nozzle and Venturi tube installed in filled pipes of circular cross section, PKI, Standards Publishing House, 1998.
4. Standard 8.586.1-5–2005 Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. – Moscow: Publishing House of the IEC standards, 2007.
5. Daev J.A. Comparative analysis of methods and means of measuring gas flow. Oil and Gas Business, 2009, http://www.ogbus.ru (reference date: 20.06.12).

УДК 697.9
Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: a0an@mail.ru
Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: obbars@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Энергосберегающее устройство приточной вентиляции

Аннотация

В приводимой работе рассматривается приточное устройство естественной вентиляции, создающее в обслуживаемом помещении улучшенные комфортные условия, как за счет потока поступающего воздуха на отопительный радиатор, так и за счет очистки воздуха при помощи фильтра и насыщения его отрицательно заряженными ионами. Устройство позволяет осуществлять подогрев поступающего наружного воздуха за счет конвективного теплообмена, т.к. возможно размещение выходной части устройства непосредственно перед отопительным прибором, в том числе уже стационарно закрепленном на стене.

Ключевые слова: естественная вентиляция, комфортные условия, подогрев и очистка воздуха, насыщение помещения отрицательными ионами, экономия тепловой энергии.

Переход в массовом жилищном строительстве на герметичные окна со стеклопакетами наряду с такими положительными факторами, как уменьшение теплопотерь и улучшение акустических характеристик помещения, привел к резкому ухудшению воздушного режима в квартирах с классической системой естественной вытяжной вентиляции.

Старые окна в деревянных переплетах обладают в несколько раз большей воздухопроницаемостью по сравнению с современными металлопластиковыми конструкциями со стеклопакетами. Полностью закрытые деревянные окна обеспечивают режим фильтрации, близкий к нормативному уровню воздухообмена в помещениях и только при отрицательных температурах наружного воздуха возникает необходимость в заклеивании переплетов. Учитывая малый размер щелей в окнах и их большую протяженность, наружный инфильтрирующийся воздух быстро смешивается с конвективным потоком от отопительных приборов и не создает в помещении дискомфортных зон.

В зданиях с герметичными стеклопакетами при полностью закрытых окнах инфильтрация незначительна – более чем на порядок ниже требуемого по нормативам воздухообмена.

Распространенные в Европе окна с открытой фрамугой по всей высоте окна в российских условиях непригодны для комфортной естественной вентиляции, поскольку поток холодного наружного воздуха поступает в помещение с уровня нижней отметки окна сосредоточенно, не успевает нагреться конвективными потоками отопительного прибора и вымораживает нижнюю зону помещения.

В обыкновенных деревянных окнах инфильтрацию обеспечивают многочисленные микроскопические полости. Герметичность окон со стеклопакетами оказалась настолько высокой, что количество инфильтрующегося воздуха между наружной средой и помещением оказалось близким к нулю. В помещениях резко повысилось содержание углекислого газа, азота и радона. При этом влажность внутреннего воздуха также повысилась, что приводит к появлению плесени на ограждающих конструкциях здания. Мощность конвективных потоков от отопительных приборов в современных зданиях

примерно в 1,5 раза меньше, чем в старых домах [1]. Это создает еще больший дискомфорт в зданиях со стеклопакетами.

Попытки устанавливать бытовые вентиляторы на верхних этажах зданий в вытяжные проемы кухонь, туалетов и ванных комнат не привели к улучшению работы вентиляции, так же, как и устройство центральных систем вытяжной механической вентиляции. Из-за несбалансированности объемов приточного и вытяжного воздуха эти системы работают крайне неустойчиво.

Более устойчиво работают системы центральной приточной механической вентиляции с естественной вытяжкой, но и они не лишены недостатков, связанных с ограничениями индивидуального регулирования воздухообмена и перерасходом тепловой энергии.

Анализ рассмотренных систем позволяет заключить, что в современных герметичных зданиях необходимый с точки зрения гигиены и строительной теплофизики воздухообмен может быть обеспечен только с помощью регулируемой приточной вентиляции.

Известны и широко применяются вентиляционные клапаны [2]. Эти клапаны позволяют осуществлять так называемое микропроветривание. Однако они имеют сложную конфигурацию и слабое шумопоглощение и не обеспечивают надежную фильтрацию воздуха. Кроме того, при низких наружных температурах через клапан поступает холодный воздух.

Известно также устройство приточной вентиляции [3]. Устройство содержит воздухозаборный патрубок, устанавливаемый в отверстие стены и закрытый с наружной стороны воздухозаборной решеткой. Устройство снабжено соединенным с воздухозаборным патрубком воздуховодом, устанавливаемым вдоль внутренней стороны здания и располагаемым в непосредственной близости от отопительного прибора.

Подогрев поступающего воздуха осуществляется за счет подачи воздушного потока на отопительный радиатор. Недостатком такой конструкции является опасность замерзания отопительного прибора при отрицательных температурах наружной среды и невысокое качество приточного воздуха.

Нами было разработано устройство приточной вентиляции, лишенное этих недостатков.

Изобретение направлено на сохранение работоспособности устройства при отрицательных температурах наружной среды, а также на улучшение качества приточного воздуха.

На рис. 1, 2 показано предлагаемое устройство. На рис. 1 показан вид сверху, на рис. 2 – вид со стороны помещения.

Устройство приточной вентиляции включает в себя патрубок 1, установленный в стене 2, в которой с наружной стороны имеется заборная решетка 3. В патрубке 1 исследовательно расположены: фильтр очистки воздуха 4 и шумоглушитель 5.

Для удаления образующегося конденсата с внутренней стороны стены 2 патрубок 1 снабжен поддоном с конденсатоотводящей трубкой 6. Патрубок 1 выполнен с возможностью его заземления 7. Для регулирования количества приточного воздуха на выходе из патрубка 1 установлена заслонка 8. Отопительный радиатор 9 снабжен оребренной насадкой 10. Над радиатором 9 установлен экран из теплоизоляционного материала 11, через пазы которого проходят ребристые элементы насадки 10.

Устройство приточной вентиляции работает следующим образом. Наружный воздух поступает через заборную решетку 3 в воздухозаборный патрубок 1, установленный в стене 2. Далее поток приточного воздуха проходит через фильтр 4, где очищается от пыли и биологических загрязнений и поступает в шумоглушитель 5.

В шумоглушителе 5 поток воздуха изменяет направление движения, что приводит к снижению уровня акустического шума. Образовавшийся в процессе прохода холодного воздуха через устройство конденсат стекает на поддон из нержавеющего материала и удаляется через конденсатоотводящую трубку 6.

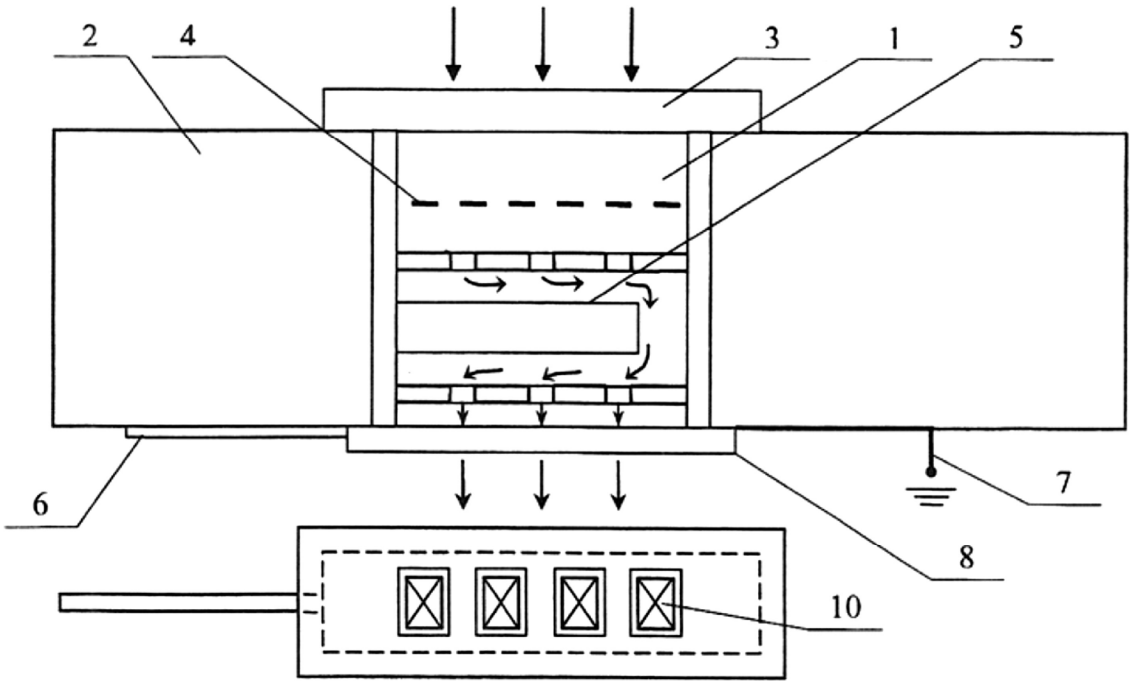


Рис. 1. Устройство приточной вентиляции: вид сверху

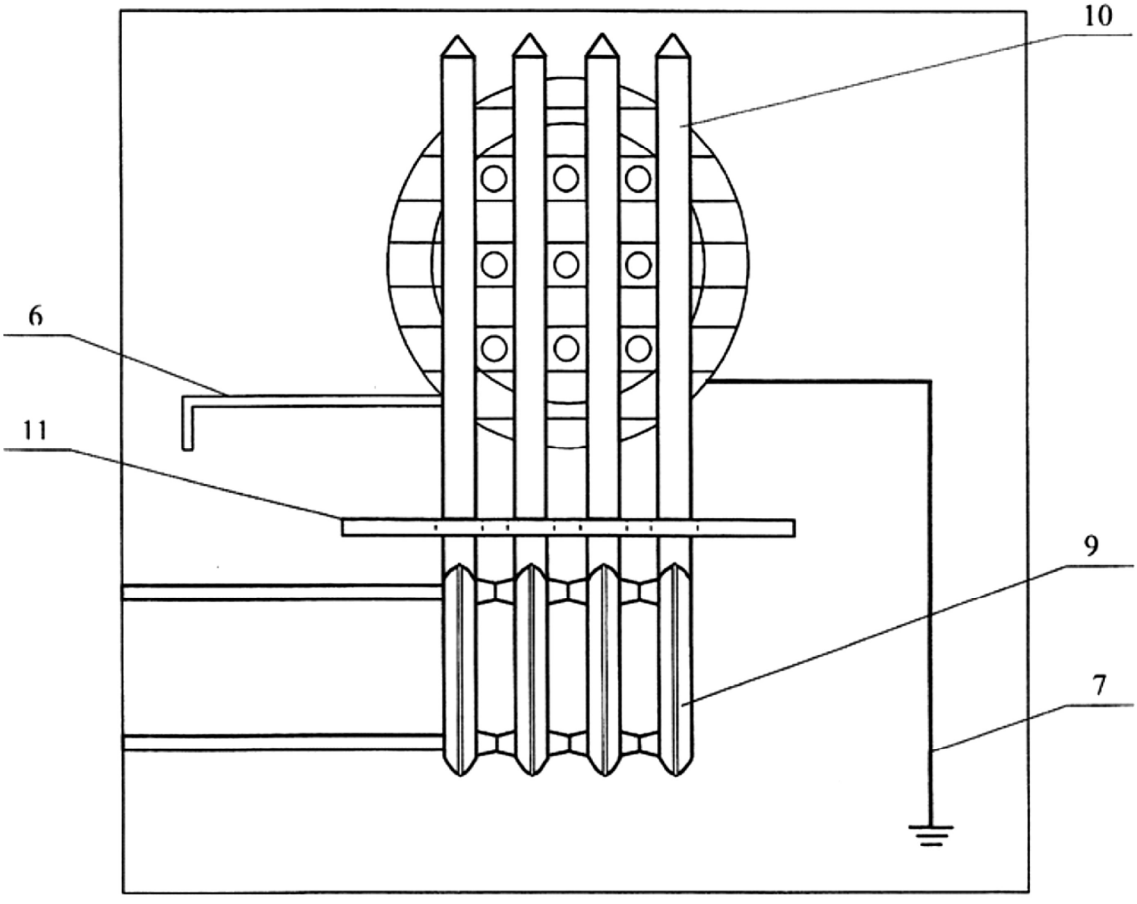


Рис. 2. Устройство приточной вентиляции: вид со стороны помещения

При контакте воздуха с поверхностью заземленного 7 электропроводящего материала воздуховода обеспечивается насыщение воздуха отрицательными ионами. Электропроводящая поверхность может быть создана изготовлением воздухозаборного патрубка из металла или нанесением на внутреннюю поверхность пластикового воздухозаборного патрубка токопроводящего слоя. Количество поступающего приточного воздуха регулируется заслонкой 8.

Далее поток приточного воздуха проходит через оребренную насадку 10 из материала с высокой теплопроводностью. Проходя через насадку 10, закрепленную на отопительном радиаторе 9, наружный воздух нагревается и поступает в помещение. Для защиты отопительного радиатора 9 от замерзания над ним устанавливается экран из листового теплоизоляционного материала 11 с вырезанными в нем пазами для размещения ребристых элементов насадки 10.

Устройство позволяет осуществлять подогрев поступающего наружного воздуха за счет конвективного теплообмена, т.к. его выходная часть размещена непосредственно перед отопительным прибором, в том числе уже стационарно закрепленном на стене.

Таким образом, предлагаемое устройство приточной вентиляции обеспечивает организованный естественный приток наружного воздуха в помещение, устраняет опасность замерзания отопительного прибора, создает нормальный микроклимат в помещении, снижает проникновение пыли и шума, исключает образование конденсата на внутренних поверхностях обслуживаемого помещения. Воздушный поток, контактируя с заземленной электропроводящей поверхностью воздуховода, насыщает помещение отрицательными ионами.

Кроме того, возможность индивидуального регулирования воздухообмена в зависимости от режима эксплуатации помещения дает ощутимую (20-30 %) экономию тепловой энергии на нагрев вентиляционного воздуха.

В многоэтажных жилых зданиях с учетом одновременности изменения воздухообмена в отдельных квартирах общая характеристика вентиляционной сети сохраняется устойчивой и вероятные отклонения воздухообмена от среднего значения не превышают 10-15 % [4].

На предложенное устройство приточной вентиляции получен патент Российской Федерации № 2439440 от 10.01.2012 г.

Список литературы

1. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. – М.: Изд-во «АВОК-пресс», 2005. – 134 с.
2. Богословский В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. Кн. 1. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
3. Патент РФ № 2439440 от 10.01.2012 г.
4. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Регулируемая вентиляция жилых многоэтажных жилых зданий. // Журнал «АВОК», 2004, № 5. – С. 8-12.

Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: a0an@mail.ru
Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: obbars@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya, 1

Energy saving device of running ventilation

Resume

The offered device allows to carry out heating of acting outward air due to a convection heat exchange, as his output part is placed immediately in front of heating device, including stationary fastened on a wall.

The device of reveal ventilation is provided by the organized natural influx of outward air

in an apartment, removes the danger of freezing of heating device, creates a normal microclimate in an apartment, reduces penetration of dust and noise, eliminates formation of runback on the internal surfaces of the served apartment. Current of air, contacting with the earthed electro–conducting surface air of ductwork satiates an apartment subzero ions. In addition, possibility of the individual adjusting of ventilation depending on the mode of exploitation of apartment gives the perceptible (20-30 %) economy of thermal energy on heating of a vent air. In multistory dwellings buildings taking into account simultaneity of change of ventilation in separate apartment's general description of a vent network are saved steady and credible deviations of ventilation from a mean value do not exceed 10-15 %.

Keywords: exchanger, fan heater, expense, ribs, heat stream.

References

1. Livchak I.F., Naumov A.L. Ventilation of multistory dwellings buildings. – M.: Press «AVOK-press», 2005. – 134 p.
2. Bogoslovsky V.N. Internal sanitary technical devices. Book 1. – M.: Stroyizdat, 1992. – 319 p.
3. Patent of Russian Federation № 2439440 from 10.01.2012.
4. Livchak I.f., Naumov A.L. Managed ventilation of dwellings multistory dwellings buildings. // Journal of «AVOK», 2004, № 5. – P. 8-12.

УДК 532.5:621.694
Хайруллин М.Р. – аспирант
E-mail: marat.khairullin@gmail.com
Золотоносов 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

Математическая модель ламинарного течения аномально-вязкой жидкости во вращающемся канале типа «конфузор-диффузор» овального сечения

Аннотация

В работе рассмотрены особенности реодинамики и теплообмена при течении аномально-вязкой жидкости во вращающемся канале «конфузор-диффузор» овального сечения. Исходя из конфигурации канала, была описана обобщенно-цилиндрическая система координат, в которой построена математическая модель сопряженной задачи теплообмена на базе полных уравнений движения, энергии, неразрывности и теплопроводности стенок канала с учетом начальных распределений скорости, давления, температуры на входе в канал и на выходе из него, и граничных условий на стенках канала.

Ключевые слова: реодинамика, сопряженная задача теплообмена, аномально-вязкая жидкость, криволинейная система координат.

Рассмотрим математическую модель стационарного ламинарного течения аномально-вязкой жидкости во вращающемся криволинейном конфузорно-диффузорном канале овального сечения [1].

Рассматривается случай, когда перерабатываемая жидкость поступает во вращающуюся трубу длиной L_{mp} $(L_{mp} \to \infty)$ из емкости большого размера (рис.).

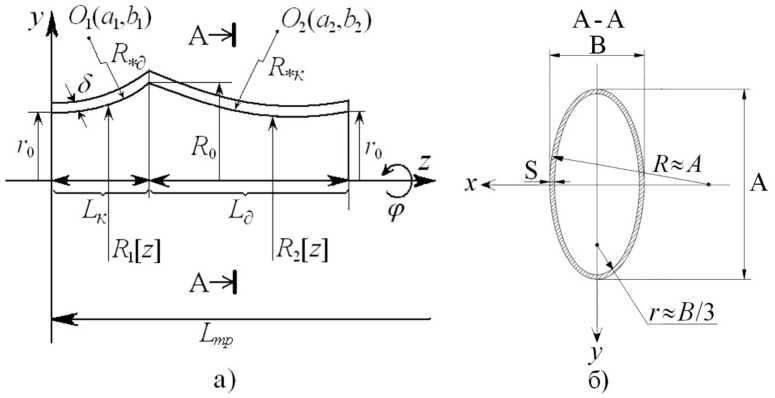


Рис. Фрагмент системы «диффузор-конфузор» в декартовой системе координат:
а) радиальное сечение б) осевое сечение

Граница осевого сечения канала (рис., а) изменяется в соответствии с законом, описываемым функцией $R_i(z) = b_i - \sqrt{R_{*i}^2 - (z - a_i)^2}$, где (a_i, b_i) – координаты центра окружности, по которой построен профиль твердой стенки канала, R_{*i} – радиус окружности, *i=1* – для диффузора, *i=2* – для конфузора [2].

Уравнение границы поперечного сечения трубы (рис., б) имеет вид [3]:

$$\frac{x^2}{\overline{A}^2} + \frac{y^2}{\overline{B}^2} = 1, \qquad (1)$$

где $\overline{A} = A/2$; $\overline{B} = B/2 \cdot \sqrt{K_1 x^2 + K_2}$; $K_2 \neq 0$.

Предположим, что большая и малая ось в уравнении (1) изменяются по профилю радиального сечения канала, т.е.:

$$\overline{A} := \overline{A}(z) = R_i(z);\ \overline{B} := \overline{B}(z) = B/A \cdot R_i(z). \tag{2}$$

Тогда уравнение (1) будет являться уравнением поверхности канала «конфузор-диффузор» с овальным сечением.

Развитие течения степенной жидкости во вращающейся трубе овального сечения будем рассматривать в подвижной обобщенно-цилиндрической системе координат (r, φ, z), вращающейся с постоянной угловой скоростью ω, где нулевое значение радиальной координаты совпадает с осью трубы, координаты z – с входным сечением, а угловой координаты φ – с радиальным сечением трубы. Для этого воспользуемся преобразованием координат:

$$\begin{cases} x = R_i(z) \cdot r \cdot \cos j\,, \\ y = B/A \cdot R_i(z) \cdot \sqrt{K_1 \cdot \left(R_i(z) \cdot r \cos j\right)^2 + K_2} \cdot r \cdot \sin j\,, \\ z = z. \end{cases} \tag{3}$$

Введем в уравнения движения, энергии и теплопроводности стенок канала безразмерные переменные и параметры [2]:

$$\begin{gathered} \overline{z} = z/L_{уч};\quad \overline{r} = r/R_0;\quad \overline{R} = R_0/L_{уч};\quad \widetilde{R} = d_э/R_0;\quad \overline{u} = u_m/u_0;\quad \overline{L} = L_{mp}/L_{уч}; \\ d = d/L_{уч};\quad \overline{a}_i = a_i/L_{уч};\quad \overline{b}_i = b_i/L_{уч};\quad \overline{R}_{*i} = R_{*i}/L_{уч},\quad i = 1, 2, \end{gathered} \tag{4}$$

где $L_{уч}$ – длина трубы; R_0 – входной радиус конфузора; $d_э$ – эквивалентный диаметр трубы; δ – толщина стенки канала; u_0 – начальная скорость потока, $u_m = Q/S_{сеч}$ – средняя скорость потока.

При этом формула преобразования координат запишется в виде:

$$\begin{cases} x = \overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cdot \cos j\,, \\ y = B/A \cdot \overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \sqrt{K_1 \cdot \left(R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cos j\right)^2 + K_2} \cdot \overline{r} \cdot \sin j\,, \\ z = L_{уч} \cdot \overline{z}. \end{cases} \tag{3'}$$

Компоненты метрического тензора в криволинейной системе координат (r, φ, z), определяемые по формуле [5]:

$$g_{ij} = \sum_{k=1}^{3} \frac{\partial x^k}{\partial \widetilde{x}^i} \frac{\partial x^k}{\partial \widetilde{x}^i}, \tag{5}$$

где $x^1 = x,\ x^2 = y,\ x^3 = z,\ \widetilde{x}^1 = \overline{r},\ \widetilde{x}^2 = j\,,\ \widetilde{x}^3 = \overline{z},$

будут иметь вид:

$$\begin{gathered} g_{11} = \left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z})\right)^2 \cdot \left(\cos^2 j + \frac{\left(B/A \cdot \sin j\right)^2 \left(2K_1\left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cdot \cos j\right)^2 + K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cdot \cos j\right)^2 + K_2} \right); \\ g_{12} = g_{21} = \left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z})\right)^2 \cdot \overline{r} \cdot \cos j \sin j \cdot \left(\left(K_1\left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r}\right)^2 \left(\cos^2 j - \sin^2 j\right) + K_2\right) \cdot \right. \\ \left. \cdot \frac{\left(B/A\right)^2 \left(2K_1\left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cdot \cos j\right)^2 + K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R} \cdot R_i(\overline{z}) \cdot \overline{r} \cdot \cos j\right)^2 + K_2} - 1 \right); \end{gathered} \tag{6}$$

$$g_{13}=g_{31}=\overline{R}^2R_i(\bar{z})R_i'(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\left(\cos^2 j+\frac{(B/A\cdot\sin j)^2\left(2K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2}\right);$$

$$g_{22}=\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\right)^2\cdot\left(\sin^2 j+\frac{(B/A\cdot\cos j)^2\left(K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\right)^2\left(\cos^2 j-\sin^2 j\right)+K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2}\right);$$

$$g_{23}=g_{32}=\left(\overline{R}\cdot\bar{r}\right)^2R_i(\bar{z})\cdot R_i'(\bar{z})\cdot\cos j\,\sin j\cdot\left(\left(K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\right)^2\left(\cos^2 j-\sin^2 j\right)+K_2\right)\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\frac{(B/A)^2\left(2K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2}-1\right);$$

$$g_{33}=\left(\overline{R}\cdot R_i'(\bar{z})\cdot\bar{r}\right)^2\cdot\left(\cos^2 j+\frac{(B/A\cdot\sin j)^2\left(2K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cos j\right)^2+K_2\right)^2}{K_1\left(\overline{R}\cdot R_i(\bar{z})\cdot\bar{r}\cdot\cos j\right)^2+K_2}\right)+\overline{L}^2;$$

Ассоциированный метрический тензор, определяется из соотношения:

$$g^{ik}=\frac{G^{ik}}{g},$$

где $g\equiv\det[g_{ik}]$, $G^{ik}=G^{ki}$ – есть алгебраическое дополнение g_{ik} в определителе g.

Дифференциальные операторы в тензорно-индексном виде определяются следующими формулами [4, 5]:

$$\left(\nabla\mathbf{U}\right)_{ij}=U_{i,j}=\frac{\partial U_i}{\partial\tilde{x}^j}-\sum_{k=1}^{3}\Gamma_{ij}^kU_k,$$

где $\Gamma_{ij}^k=\frac{1}{2}\sum_{m=1}^{3}g^{im}\left(\frac{\partial g_{mi}}{\partial\tilde{x}^j}+\frac{\partial g_{mj}}{\partial\tilde{x}^i}-\frac{\partial g_{ij}}{\partial\tilde{x}^m}\right)$ – символы Кристоффеля второго рода;

$$grad U=\left(\sum_{i=1}^{3}g^{i1}\frac{\partial U}{\partial\tilde{x}^1}\right)\cdot\mathbf{e}_{\tilde{x}^1}+\left(\sum_{i=1}^{3}g^{i2}\frac{\partial U}{\partial\tilde{x}^2}\right)\cdot\mathbf{e}_{\tilde{x}^2}+\left(\sum_{i=1}^{3}g^{i3}\frac{\partial U}{\partial\tilde{x}^3}\right)\cdot\mathbf{e}_{\tilde{x}^3};$$

$$div U=\frac{1}{\sqrt{|g|}}\cdot\left(\frac{\partial\left(\sqrt{|g|}\cdot U_1\right)}{\partial\tilde{x}^1}+\frac{\partial\left(\sqrt{|g|}\cdot U_2\right)}{\partial\tilde{x}^2}+\frac{\partial\left(\sqrt{|g|}\cdot U_3\right)}{\partial\tilde{x}^3}\right);$$

$$\Delta U(\bar{r},j,\bar{z})=div\,grad U(\bar{r},j,\bar{z})=\frac{1}{\sqrt{|g|}}\cdot\sum_{i=1}^{3}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}^i}\left(\sqrt{|g|}\cdot\sum_{k=1}^{3}g^{ik}\frac{\partial U}{\partial\tilde{x}^k}\right);\qquad(7)$$

$$[UV]=U\times V=\frac{1}{\sqrt{|g|}}\begin{vmatrix}e_{\tilde{x}^1} & e_{\tilde{x}^1} & e_{\tilde{x}^1}\\ U_1 & U_2 & U_3\\ V_1 & V_2 & V_3\end{vmatrix}.$$

Уравнения движения, неразрывности, энергии и теплопроводности при течении аномально-вязкой жидкости в трубе с учетом переносной и кориолисовой сил инерции имеют вид [5, 6]:

$$\frac{\partial V}{\partial t}+(V\cdot\nabla)V=-\frac{1}{r}\,grad\,p+w^2\tilde{x}^1e_{\tilde{x}^1}-2[wV]+\nabla t;\ divV=0;\ V\nabla T=a(\Delta T)+\frac{k}{r\,c}\cdot A^{n+1};$$

$\Delta T_c=0$, где $t_{ij}=k\cdot A^{n-1}\cdot\Delta_{ij}$ – реологическое уравнение состояния среды,

$A=\left[4\cdot\sum_{i=1}^{3}\Delta_{ij}^2+8\cdot\sum_{i<j}\Delta_{ij}^2\right]^{1/2}$ – интенсивность скоростей деформации, $\Delta_{ij}=\frac{1}{2}\left(T_{ij}+T_{ji}\right)$ – (8)

компоненты тензора скоростей деформации, где $T_{ij}=\frac{\partial V_i}{\partial\tilde{x}_j}-\sum_{k=1}^{3}\Gamma_{ij}^kV_k$.

Условия однозначности системы (8) заданы начальным распределением скорости, давления, температуры на входе в канал и на выходе из него, и граничными условиями на стенках канала [2].

- Условия на входе в канал $\bar{z} = 0$:
  - для скорости: $V_{\bar{r}} = 0; V_j = 0; V_{\bar{z}} = u_0$;
  - для температуры жидкости $T = T_0$;
  - для температуры стенки $T_c = T_0$.
- Условия на выходе из канала $\bar{z} = \bar{L}$:
  - для скорости: $V_{\bar{r}} = 0; V_j = 0; V_{\bar{z}} = \bar{u}\,\frac{(3n+1)}{(n+1)}\left(1-\bar{r}^2\right)$;
  - для температуры жидкости $\frac{\partial T}{\partial \bar{z}} = 0$;
  - для температуры стенки $\frac{\partial T_c}{\partial \bar{z}} = 0$. (9)
- Граничные условия при $0 < \bar{z} < \bar{L}$:
  - Условие на границе жидкости и внутренней стенки $\bar{r} = 1$:

для скорости: $V_{\bar{r}} = 0; V_j = 0; V_{\bar{z}} = 0$;

для температуры четвертого рода: $T = T_c; \quad l\,\frac{\partial T}{\partial \bar{r}} = l_c\,\frac{\partial T_c}{\partial \bar{r}}$.

  - Условие на границе внешней стенки и жидкости третьего рода $\bar{r} = 1 + \bar{d}$:

для температуры $l_c\,\frac{\partial T_c}{\partial \bar{r}} = a_{ж}\left(T_{ж} - T_c\right)$,

где p_0 – начальное давление; ω – угловая скорость вращения трубы; $V_{\bar{r}}, V_j, V_{\bar{z}}$ – радиальная, окружная, осевая составляющие скорости; a – коэффициент температуропроводности среды, T – температура жидкости; T_c – температура стенки канала; c – удельная теплоемкость; c – плотность среды; k – характеристика консистентности среды; n – индекс течения.

Решение системы (8) будем искать в виде [7]:

$$\begin{aligned} &V_{\bar{r}} = u_0 f(\bar{r}, j, \bar{z}); \quad V_j = w\bar{r}G(\bar{r}, j, \bar{z}); \quad V_{\bar{z}} = u_0 D(\bar{r}, j, \bar{z}); \\ &p = r u_0^2 P(\bar{r}, j, \bar{z}) + p_0; \quad T = T_0 \cdot t(\bar{r}, j, \bar{z}); \quad T_c = T_0 \cdot q(\bar{r}, j, \bar{z}). \end{aligned} \tag{10}$$

Рассмотрим слагаемое $(V \cdot \nabla)V$ в системе уравнений (8):

$$\left(\nabla \vec{V} \cdot \vec{V}\right) = \left(\nabla \vec{V}\right)_{ij} e^i e^j \cdot V^k e^k = \left(\nabla \vec{V}\right)_{ij} V^k e^i \left(e^j \cdot e^k\right) = \left(\nabla \vec{V}\right)_{ij} V^k e^i d_k^{\,j} = \left(\nabla \vec{V}\right)_{ij} V^j e^i = \left(\nabla \vec{V} \cdot V\right)_i e^i, \tag{11}$$

Таким образом:

$$\left(\nabla \mathbf{V} \cdot \mathbf{V}\right)_i = \sum_{j=1}^{3} \left(\nabla \mathbf{V}\right)_{ij} \cdot V^j.$$

Используя формулу для компонент ковариантной производной в формуле (7) преобразуем (11) к виду [5]:

$$\left(\nabla \mathbf{V} \cdot \mathbf{V}\right)_i = \sum_{j=1}^{3} \left(\frac{\partial V_i}{\partial \tilde{x}^j} - \Gamma_{ij}^k V_k \right) \cdot V^j e^j. \tag{12}$$

Если выразить все через ковариантные компоненты вектора $\vec{V}$, $V^j = \sum_{n=1}^{3} g^{nj} V_n$, и тогда:

$$\left(\nabla \vec{V} \cdot \vec{V}\right)_i = \sum_{j=1}^{3}\left(\frac{\partial V_i}{\partial \tilde{x}^j} - \Gamma_{ij}^k V_k\right) \cdot \sum_{n=1}^{3} g^{nj} V_n. \qquad (13)$$

Принимая малые деформации вектора ускорений $\partial \vec{V}/\partial t$ $(\partial \vec{V}/\partial t \to 0)$, с учетом подстановки (10) и формулы (13) система (8) примет вид:

Уравнения движения:

$$\sum_{k=1}^{3}\left\{\left(g^{1k}\frac{\partial f}{\partial \tilde{x}^k} - g^{1k}\Gamma_{1k}^1 f\right)f + \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}\left(g^{2k}\frac{\partial f}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{1k}\Gamma_{1k}^2 + g^{2k}\Gamma_{1k}^1\right)f\right)G + \right.$$
$$+\left(g^{3k}\frac{\partial f}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{1k}\Gamma_{1k}^3 + g^{3k}\Gamma_{1k}^1\right)f\right)D - \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}\left(\frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}g^{2k}\Gamma_{1k}^2 G + \left(g^{2k}\Gamma_{1k}^3 + g^{3k}\Gamma_{1k}^2\right)D\right)G -$$
$$\left. - g^{3k}\Gamma_{1k}^3 D^2 + g^{k1}\frac{\partial P}{\partial \tilde{x}^k}\right\} = \frac{\tilde{R}^n}{\mathrm{Re}} \cdot \sum_{k=1}^{3}\frac{1}{\sqrt{|g|}} \cdot \frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot \Delta_{1k} A^{n-1}\right)}{\partial \tilde{x}^k} + \frac{\bar{r}N^2}{\tilde{R}^2};$$

$$\sum_{k=1}^{3}\left\{\left(g^{1k}\frac{\partial G}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{1k}\Gamma_{2k}^2 + g^{2k}\Gamma_{2k}^1\right)G + g^{11}\frac{G}{\bar{r}}\right)f + \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}\left(g^{2k}\frac{\partial G}{\partial \tilde{x}^k} - g^{2k}G + g^{21}\frac{G}{\bar{r}}\right)G + \right.$$
$$+\left(g^{3k}\frac{\partial G}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{2k}\Gamma_{2k}^3 + g^{3k}\Gamma_{2k}^2\right)G + g^{31}\frac{G}{\bar{r}}\right)D - \frac{\tilde{R}}{\bar{r}N}\left(g^{1k}\Gamma_{2k}^1 f + \left(g^{1k}\Gamma_{2k}^3 + g^{3k}\Gamma_{2k}^1\right)D\right)f - \qquad (14)$$
$$\left. - \frac{\tilde{R}}{\bar{r}N}g^{3k}\Gamma_{2k}^3 D^2 + g^{k2}\frac{\partial P}{\partial \tilde{x}^k}\right\} = \frac{\tilde{R}^n}{\bar{r}N\,\mathrm{Re}} \cdot \sum_{k=1}^{3}\frac{1}{\sqrt{|g|}} \cdot \frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot \Delta_{2k} A^{n-1}\right)}{\partial \tilde{x}^k} + \frac{1}{\sqrt{|g|}} \cdot (D - f);$$

$$\sum_{k=1}^{3}\left\{\left(g^{1k}\frac{\partial D}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{1k}\Gamma_{3k}^3 + g^{3k}\Gamma_{3k}^1\right)D\right)f + \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}\left(g^{2k}\frac{\partial D}{\partial \tilde{x}^k} - \left(g^{2k}\Gamma_{3k}^3 + g^{3k}\Gamma_{3k}^2\right)D\right)G + \right.$$
$$+\left(g^{3k}\frac{\partial D}{\partial \tilde{x}^k} - g^{3k}\Gamma_{3k}^3 D\right)D - \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}\left(\frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}g^{2k}\Gamma_{3k}^2 G + \left(g^{2k}\Gamma_{3k}^3 + g^{3k}\Gamma_{3k}^2\right)D\right)G -$$
$$\left. - g^{1k}\Gamma_{1k}^1 D^2 + g^{k3}\frac{\partial P}{\partial \tilde{x}^k}\right\} = \frac{\tilde{R}^n}{\mathrm{Re}} \cdot \sum_{k=1}^{3}\frac{1}{\sqrt{|g|}} \cdot \frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot \Delta_{3k} A^{n-1}\right)}{\partial \tilde{x}^k};$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{\sqrt{|g|}} \cdot \left(\frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot V_1\right)}{\partial \tilde{x}^1} + \frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot V_2\right)}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{\partial\left(\sqrt{|g|} \cdot V_3\right)}{\partial \tilde{x}^3}\right) = 0;$$

Уравнение энергии:

$$\sum_{k=1}^{3}\left\{g^{1k} f \frac{\partial q}{\partial \tilde{x}^k} + \frac{\bar{r}N}{\tilde{R}}g^{2k} G \frac{\partial q}{\partial \tilde{x}^k} + g^{3k} D \frac{\partial q}{\partial \tilde{x}^k}\right\} =$$
$$= \frac{1}{Pe}\frac{1}{\sqrt{|g|}}\sum_{i=1}^{3}\frac{\partial}{\partial \tilde{x}^i}\left(\sqrt{|g|} \cdot \sum_{k=1}^{3} g^{ik}\frac{\partial T}{\partial \tilde{x}^k}\right) + \frac{\bar{T}}{\mathrm{Re}} \cdot A^{n+1};$$

Уравнение теплопроводности стенок канала:

$$\frac{1}{\sqrt{|g|}}\cdot\sum_{i=1}^{3}\frac{\partial}{\partial\tilde{x}^{i}}\left(\sqrt{|g|}\cdot\sum_{k=1}^{3}g^{ik}\frac{\partial q}{\partial\tilde{x}^{k}}\right)=0,$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned}
&\bar{z}=0: \qquad f=0;\quad G=0;\quad D=1;\quad t=1;\quad q=1;\\
&\bar{z}=1: \qquad f=0;\quad G=0;\quad D=\bar{u}\frac{(3n+1)}{(n+1)}\left(1-\bar{r}^{2}\right);\quad \frac{\partial t}{\partial\bar{z}}=0;\quad \frac{\partial q}{\partial\bar{z}}=1;\\
&0<\bar{z}<1:\\
&\qquad \bar{r}=1: \qquad f=0;\quad G=0;\quad D=0;\quad t=q;\quad l\frac{\partial t}{\partial\bar{r}}=l_{c}\frac{\partial q}{\partial\bar{r}};\\
&\qquad \bar{r}=1+\bar{d}: \qquad \frac{\partial q}{\partial\bar{r}}=-Bi\left(q_{ж}-q_{c}\right),
\end{aligned} \tag{15}$$

где:

$$\bar{A}_{0}^{n-1}=\left[2\left(\Delta_{\bar{r}\bar{r}}\right)^{2}+2\left(\Delta_{j\,j}\right)^{2}+2\left(\Delta_{\bar{z}\bar{z}}\right)^{2}+\left(\Delta_{\bar{r}j}\right)^{2}+\left(\Delta_{\bar{r}\bar{z}}\right)^{2}+\left(\Delta_{j\bar{z}}\right)^{2}\right]^{(n-1)/2};$$

$$\mathrm{Re}=\frac{r u_{0}^{2-n}d_{э}^{n}}{k}\text{ – число Рейнольдса;}\quad N=\frac{wd_{э}}{u_{0}}\text{ – число закрутки;}$$

$$\mathrm{Pe}=\frac{u_{0}R_{0}}{a}\text{ – число Пекле;}\quad Bi=\frac{aR_{0}}{l_{c}}\text{ – число Био;}$$

Таким образом, разработана сопряженная задача теплообмена при течении аномально-вязкой жидкости типа Освальда-де-Виля во вращающемся канале «конфузор-диффузор» овального сечения. Описанная в работе криволинейная система координат является обобщением для известной цилиндрической системы координат. Несомненная ценность данной работы заключается в том, что построенная математическая модель является универсальной для каналов различной конфигурации. Соответствующая вариация коэффициентов: A=B, K_1=0, K_2=1, и символов Кристоффеля позволяет получить известные уравнения движения, неразрывности, энергии и теплопроводности стенок канала для декартовой, цилиндрической и сферической систем координат.

Численная реализация полученной математической модели позволит определить поле скоростей, давления и температур при течении неньютоновских сред в каналах конфузорно-диффузорного типа и уточнить методику инженерного расчета теплообменного оборудования для нагрева сред с широкими реологическими свойствами.

Список обозначений

A – интенсивность скоростей деформации; *a* – коэффициент температуропроводности, м^2; *c* – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); *∂* – толщина стенки канала, м; *k* – характеристика консистентности среды, Па·с; $L_{тр}$ – общая длина канала типа «конфузор-диффузор», м; $L_к$ –длина элемента типа конфузор, м; $L_д$ –длина элемента типа диффузор, м; R_{*i} – радиус дуги окружности диффузора *(i=1)*, конфузора *(i=2)*, м; r_0, R_0 – наименьший и наибольший радиусы канала типа «конфузор-диффузор», м; $d_э$ – эквивалентный диаметр трубы, м; *N* – число закрутки; *n* – индекс течения; *p* – статистическое давление, Па; *Pe* – число Пекле; *Re* – критерий Рейнольдса; *T* – температура нагреваемой среды, К; T_c – температура стенки канала, К; $T_{ж}$ – температура жидкости, К; $V_r=V_1$, $V_\varphi=V_2$,$V_z=V_3$ – радиальная, окружная, осевая составляющие скорости

течения, м/с; $\alpha_{ж}$ – коэффициент теплоотдачи жидкости, Вт/(м^2·К); λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К); λ_c – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м·К); c – плотность, кг/ м^3; ω – угловая скорость вращения, с$^{-1}$.

Список литературы

1. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А., Хайруллин М.Р. Энергосберегающее теплообменное оборудование на базе теплообменных элементов типа «конфузор-диффузор» и пружинно-витых каналов. Тезисы доклада. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию НХТИ «Актуальные инженерные проблемы химических и нефтехимических производств и пути их решения». – Нижнекамск: НХТИ, 2012. – С. 81-83.
2. Хайруллин М.Р., Золотоносов Я.Д. Сопряженная задача теплообмена при течении степенной жидкости во вращающемся канале «конфузор-диффузор» овального сечения // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19). – С. 94-102.
3. Хайруллин М.Р., Золотоносов Я.Д. К вопросу течения аномально-вязкой среды во вращающемся овальном канале «конфузор-диффузор» // Тезисы докладов VII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». – Казань: КГЭУ, 2012. – С. 36-37.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Изд-во Наука, 1973. – 832 с.
5. Астарита Дж., Марручи Дж. Основы гидродинамики неньютоновских жидкостей. – М.: Мир, 1978. – 195 с.
6. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М.: Изд-во Химия, 1977. – 440 с.
7. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Горская Т.Ю. Совершенствование теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью теплообмена «конфузор-диффузор» // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 112-124.

Khairullin M.R. – post-graduate student
E-mail: marat.khairullin@gmail.com
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 model of laminar flow of power-law fluid in the rotating «confusor-diffusor» channel with oval section

Resume

In this work we considered features of the reodynamics in the flow of abnormal-viscous fluid in the rotating «confusor-diffusor» channel with oval section of the apparatus of the type «pipe in pipe». Based on the configuration of the channel, associated curvilinear system of coordinates was described. In the generalized cylindrical system of coordinates on the basis of the complete equations of motion, continuity, energy and thermal conductivity of the channel walls mathematical model of conjugate heat transfer problem with the initial distributions of velocity, pressure, temperature at the channel entrance and exit, and the boundary conditions on the channel walls was built. Curvilinear Coordinate system described in the work is a generalization for the cylindrical coordinate system. Certainly the value of this work lies in the fact that the constructed mathematical model is universal for channels of various configurations. The corresponding variation of the coefficients: A=B, K1=0, K2=1, and parameters Lame allows you to get the well-known equations of motion, continuity, energy and thermal conductivity of the channel walls for the Cartesian, cylindrical and spherical coordinate systems.

The subsequent development of a mathematical model of conjugate heat transfer in rotating confusor-diffuser channels oval cross section and its numerical implementation will

determine the values of velocities and pressures in the flow part of the channel. Also it will be possible to outline the main directions in the development of engineering methods for calculating heat transfer equipment for the heating of non-Newtonian environment.

Keywords: reodynamics, conjugate heat transfer problem, abnormal-viscous fluid, channel with oval section, curvilinear coordinate system.

References

1. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov J.D., Mustakimova S.A., Khairullin M.R. Energy-saving heat-exchange equipment on the basis of the heat-exchange elements of the type «confusor-diffusor» and spring-twisted channels. Abstract of the report. Materials of all-Russian scientific-practical conference, dedicated to the 30-th birthday NChTI «Actual engineering problems of chemical and petrochemical industries and ways of their solution». – Nizhnekamsk: NChTI, 2012. – P. 81-83.
2. Khairullin M.R., Zolotonosov J.D. Conjugate heat transfer problem in the flow of power-law fluid in the rotating «confusor-diffusor» channel with oval section // News of the KSUAE, 2012, № 1 (19). – P. 94-102.
3. Khairullin M.R., Zolotonosov J.D. To the question of abnormally-viscous environment flow in a rotating oval channel of type «confusor-diffusor» // Abstracts of the VII International youth scientific conference «Tinchurin's reading». – Kazan: KSEU, 2012. – P. 36-37.
4. Loyzansky L.G. Fluid and gas mechanics. 6th edition. – M.: Publishers Nauka, 1987. – 840 p.
5. Midlman C. The flow of polymers. – M.: Mir, 1971. – 259 p.
6. Vinogradov G.V., Malkin A.YA. Rheology of polymer. – M.: Publishers Himiya, 1977. – 440 p.
7. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov J.D., Gorskaya T.Yu. Improvement of heat exchangers of type «pipe in pipe» with a rotating surface heat of type «confusor-diffusor» // News of the KSUAE, 2012, № 2 (20). – P. 112-124.

УДК 628.3 622.5
Адельшин А.А. – кандидат технических наук, доцент
Адельшин А.Б. – доктор технических наук, профессор
E-mail: a566pm@rambler.ru
Бусарев А.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: sa789@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

О факторе времени, обуславливающем процесс очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков*

Аннотация

Исследованиями созданы установки очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) по технологическим схемам: гидроциклон – отстойник (БГО); гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – отстойник (БГКО).

Различные схемы «гидроциклон – камеры сливов» образуют гидродинамические каплеобразователи (ГКС). В закрученных потоках гидроциклона и камер сливов происходит разрушение бронирующих оболочек, коалесценция и уменьшение полидисперсности капель нефти при действии различных факторов в определенной последовательности, величиной и в течение определенного времени.

В статье приведены результаты исследований времени пребывания (гидродинамической обработки) НСВ в гидроциклоне, ГКС и в целом БГКО. Установлено, что время гидродинамической обработки НСВ в гидроциклоне составляет 1-3 с, в ГКС 30-50 с, что способствует повышению эффекта и стабильности очистки НСВ на установках БГО и БГКО.

Ключевые слова: нефтепромысловая сточная вода, гидроциклон, камеры сливные, закрученный поток, гидродинамическая обработка, время пребывания, очистка.

Создание, разработка технологии и установок очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) для утилизации в системах наводнения нефтяных пластов является актуальной проблемой. Нефтедобывающая промышленность является крупным водопотребителем и объектом образования огромного количества (по стране более 1,2 млрд. $м^3$ в год) НСВ. В настоящее время около 90 % нефти добывается на месторождениях, разрабатываемых с использованием методов заводнения нефтяных пластов для поддержания пластового давления (ППД).

Нефтепромысловые сточные воды (НСВ) имеют суспензионно-эмульсионный характер, относятся к минерализованным полидисперсным микрогетерогенным системам. Свойства НСВ, особенно состояние бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы нефти, определяют методы разрушения, очистки НСВ в течение определенного времени.

Очистка НСВ для целей заводнения продуктивных горизонтов заключается в удалении из них до заданных норм нефти и механических примесей. Утилизация очищенных НСВ в системах заводнения нефтяных пластов является единственным экономически и экологически выгодным путем их ликвидации на промыслах Российской Федерации.

В процессе разработки нефтяных месторождений происходит изменение параметров и свойств извлекаемых флюидов, свойств пластовых вод, продуктивных пластов, остаточных запасов нефти, технического и технологического состояния нефтепромыслового оборудования, в т.ч. аппаратов, сооружений, в целом установок очистки НСВ. Эти факторы предопределяют необходимость модернизации совершенствования, реконструкции систем заводнения, в т.ч. установок очистки НСВ.

* *Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК №16.740.11.0672 от 7 июня 2011 г.).*

Сущность и успешность процесса очистки НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения адсорбционной бронирующей оболочки на каплях нефти, режима движения НСВ, обеспечивающего укрупнение этих капель. Эти процессы осуществляются наиболее полно и интенсивно при предварительной определенной степени турбулизации потока НСВ в полости различных гидродинамических каплеобразователей с последующим отстаиванием. Высокий и стабильный эффект очистки НСВ может быть достигнут за счет предварительной гидродинамической обработки ее в закрученном потоке.

Внедрение индустриальных методов обустройства нефтяных месторождений предусматривает широкое применение оборудования, аппаратов, установок очистки НСВ в блочном исполнении с высоким эффектом очистки и высокой единичной мощностью аппаратов (установок) при ограниченном объеме, герметичности, транспортабельности и высокой индустриальности в изготовлении и монтаже. Одним из направлений в решении указанных требований являются: создание новых методов, аппаратов, установок очистки НСВ, совершенствование конструкции распределительных и сборных устройств и улучшение гидродинамики потока в отстойниках; интенсификация и совершенствование технологических процессов, в т.ч. применение специальных конструкций и устройств для предварительного разрушения бронирующих оболочек и укрупнения капель эмульгированной нефти; разработка методов расчета конструирования, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений очистки НСВ.

Исследованиями создана технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти гидродинамической обработкой исходной НСВ с использованием закрученных потоков. Для очистки НСВ разработаны и реализованы в производстве установки, работающие по технологическим схемам: блок гидроциклон – отстойник (БГО), блок гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – отстойник (БГКО) [1-4].

Различные схемы «гидроциклон – цилиндрические камеры сливов» в сущности образуют гидродинамические центробежные каплеобразователи (в дальнейшем сокращенно аппарат ГКС). В конструктивных решениях установок БГКО гидродинамический каплеобразователь ГКС скомпонован в единый блок с отстойником и предназначен для интенсификации, повышения эффекта очистки НСВ при последующем отстаивании. При этом гидроциклон служит для предварительной гидродинамической обработки НСВ: разрушения стабилизированных частиц примесей, бронирующих оболочек нефтяных капель и их коалесценции и уменьшения полидисперсности капель нефти. В составе аппарата ГКС гидроциклон является также устройством для получения закрученного потока в камерах сливов в результате тангенциальной подачи НСВ в гидроциклон.

В настоящих исследованиях масштаб линейных и угловых размеров гидроциклона в модели и натурных условиях принят 1:1. Конструктивные параметры гидроциклонов, примененных в составе промышленных установок БГО и БГКО (в т.ч. ГКС), составляют: диаметр Д = 75 мм, угол конусности α = 5°; диаметр: входного патрубка $d_{вх}$ = 15 мм, верхнего слива $d_{в.\,сл.}$ = 20 мм, нижнего слива $d_{н.\,сл.}$ = 26 мм, глубина погружения верхнего сливного патрубка $h_{н}$ = 48 мм. Режим движения жидкости в гидроциклоне характеризуется числом Рейнольдса по радиусу в пределах 30000-40000. Давление на входе в гидроциклон составило $P_{вх.}$ = 0,2 МПа [1, 2].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями получены функции распределения времени пребывания жидкости для гидроциклона при вышеприведенных параметрах [1, 2].

По экспериментальным данным построены кривые отклика на импульсные возмущения (рис. 1 а, б) согласно методики [5, 6]: теоретические 1 и экспериментальные 2 кривые отклика для нижнего слива (см. рис. 1 а); б – для верхнего слива (см. рис. 1 б). Значения C_i – текущие концентрации индикатора (раствор химически чистого хлористого натрия) для верхнего и нижнего сливов гидроциклона при экспериментах определялись с помощью кондуктометра типа АНИОН 4120 и вычислялись по методике и формулам, приведенным в работе [1, 2], при изменении времени от 0 до 5 с с интервалом 0,1 с. Полученные значения $C_{i.}$ нормировались по максимальному значению (C_i/C_{max}).

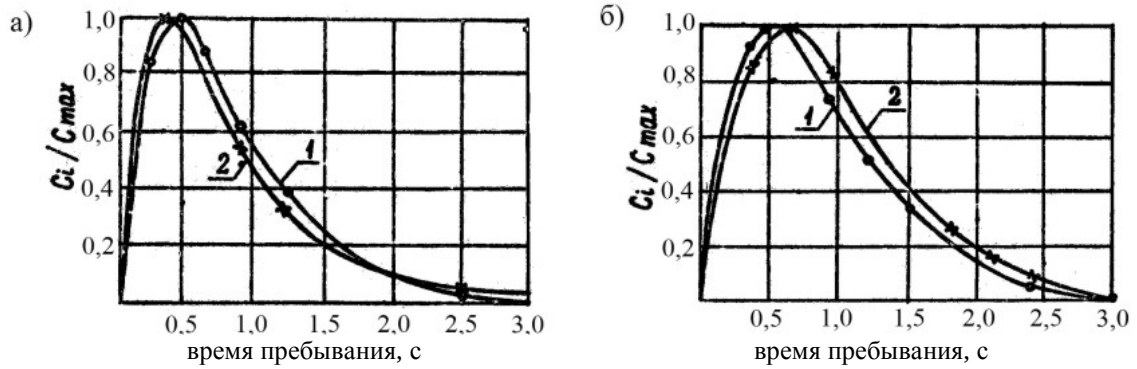


Рис. 1

Как видно из рис. 1, время пребывания частиц нефти в закрученных потоках в полости гидроциклона составляет 1,1-3 с.

Совместный анализ гидродинамических процессов и факторов, обуславливающих процесс разрушения НСВ и механизма разрушения НСВ в гидроциклоне, показал что время пребывания частиц нефти в гидроциклоне недостаточно для наиболее полной реализации известных стадий механизма разрушения НСВ [3].

С целью увеличения времени пребывания частиц нефти в объеме аппарата с закрученным течением, т.е. увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке в составе аппарата ГКС установки БГКО, предусмотрены достаточно длинные цилиндрические камеры на сливах гидроциклона. В зависимости от геометрических и технических параметров гидроциклона, диаметр и длина сливных камер могут быть разными. Сливные камеры выполняют транспортные и технологические функции по разрушению НСВ, в которых образуется сложное закрученное турбулентное течение, о котором количественная и качественная информация практически отсутствует. После гидроциклона в камерах сливов его гидродинамическая обработка НСВ осуществляется последовательно во всех областях закрученного потока – в зонах: расширения закрученной струи, стабильного закрученного течения, затухания закрученного течения, переходного и осевого потенциального течения, циркуляционных и тороидальных. Указанные области течения характеризуются различными качественными и количественными параметрами течения, изменяющимися во времени по длине и объему в целом сливных камер. В сливных камерах НСВ подвергается наиболее универсальной комплексной гидродинамической обработке по наиболее полным числу, качеству и продолжительности воздействия различных видов сил, факторов на частицы нефти в НСВ [3, 4].

Совместный анализ гидродинамических процессов и механизма разрушения НСВ по схеме БГКО показывает, что здесь максимально достигается полнота условий воздействия факторов и требуемое технологическое время для очистки НСВ и реализуются все этапы механизма разрушения, очистки НСВ при воздействии более 12 многократно действующих интенсифицирующих факторов – сил: тяжести, центробежных, набегающего потока, столкновения капель, турбулентных пульсаций, притяжения к стенке, косого удара, гидродинамического воздействия, давления потока на стенку, разрыва частиц, поверхностного натяжения, разности динамических напоров у стенки, изменяющиеся по величине и направлению градиенты скорости и давления, а также существование зон циркуляции, в т.ч. центральные тороидальные; существование подвижных инверсирующих поверхностей нулевых скоростей, границ расширения и сужения потока, процессирующего вихревого ядра [1-3].

Проведены экспериментальные исследования, визуализация и количественная оценка параметров закрученных потоков в цилиндрических камерах из стеклянных труб диаметрами 50, 80, 100 мм, длиной 3 м каждая на сливах гидроциклона диаметром 75 мм, и другими вышеприведенными конструктивными и технологическими параметрами [3, 4]. Для реализации в составе ГКС установки БГКО рекомендованы цилиндрические камеры диаметром 100 мм, так как только при таком диаметре закрученные струи

верхнего и нижнего сливов как для свободного излива, так и при изливе с подпором по всей длине камер сохраняют геометрические характеристики, свойственные распространению закрученных струй [3].

Проведены также экспериментальные исследования распределения времени пребывания жидкости в сливных камерах диаметром 100 мм, различной длины от 40 см с шагом 40 см до 240 см при давлении на входе гидроциклона P = 0,4 МПа и противодавлении на сливах P ≈ 0,2 МПа.

Установлено, что дальнейшее увеличение длины камер незначительно влияет на функцию распределения времени пребывания жидкости в камерах. За оптимальную длину (L) камер нижнего и верхнего сливов в составе ГКС установки БГКО принято значение L = 2 м [3, 4], т.е. масштаб размеров камер в модели и натурных условиях составил 1:1.

В соответствии с теоретическими исследованиями гидродинамики аппарата ГКС и установки БГКО [3] экспериментальные исследования проводились по технологическим схемам: гидроциклон – цилиндрическая камера нижнего слива; гидроциклон – цилиндрическая камера верхнего слива; гидроциклон – цилиндрическая камера нижнего и верхнего сливов – отстойник, при величинах давления на входе в гидроциклон 0,4 МПа (4 атм) и противодавления 0,2 МПа (2 атм) на выходах камер нижнего и верхнего сливов. Ввод индикатора в систему проводился импульсным методом [5, 6], а концентрация его в воде определялась с помощью кондуктометра АНИОН 4120.

На рисунках 2, 3, 4 представлены функции $\overline{C}(\tau)$ распределения времени пребывания жидкости соответственно для нижнего и верхнего сливов, а также на выходе из отстойника.

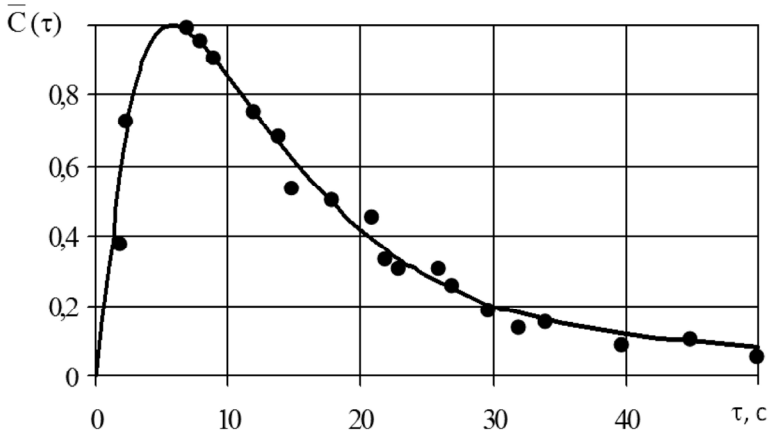


Рис. 2. Нижний слив:
—— теория; • – эксперимент

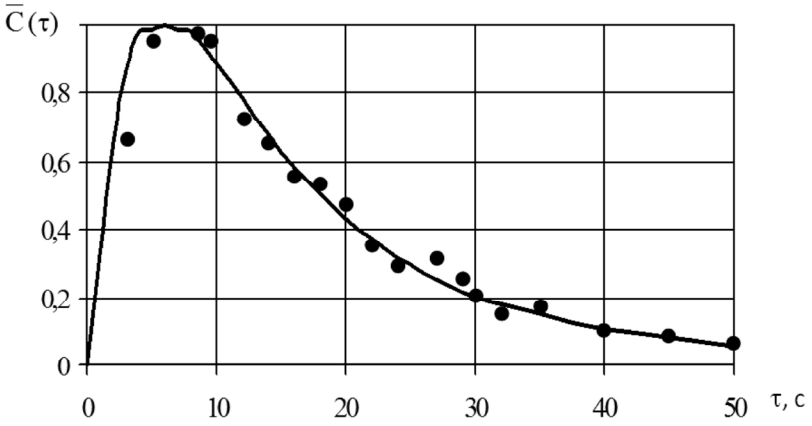


Рис. 3. Верхний слив:
—— теория; • – эксперимент

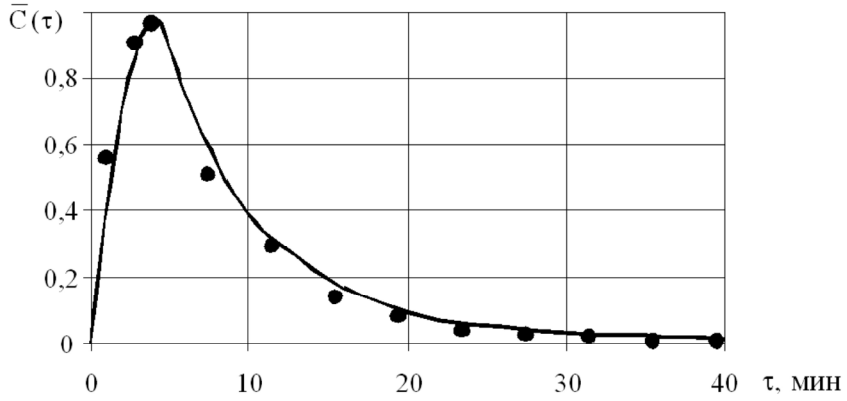


Рис. 4. БГКО:
—— теория; • – эксперимент

Сравнение опытных кривых с теоретическими показывает, что закономерность их изменения практически одинакова. При этом продолжительность комплексной гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке по схеме «гидроциклон – камеры сливов» составляет 30-50 с, что в среднем более чем в 20 раз больше продолжительности гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке в полости гидроциклона (см. рис. 1 а, б).

В камерах сливов гидроциклона ГКС гидродинамические параметры потоков во всех областях способствуют получению наиболее монодисперсной системы частиц нефти наибольшего размера. При этом основными факторами процесса коалесценции являются: расход, диаметр, вязкость среды, поверхностное натяжение, концентрация и степень полидисперсности частиц нефти. Очевидно, в камерах сливов необходимо исключить возможность расслоения эмульсии, гравитационного осаждения нефтяных глобул, что обуславливает длительность воздействия, максимальное сближение, число столкновений, слияние, уменьшение полидисперсности частиц нефти, т.е. в целом эффективную коалесценцию. Для предотвращения расслоения эмульсии в камерах сливов следует поддерживать в них турбулентный режим в автомодельной области ($Re \geq 10000$) и достаточно высокое значение параметра закрутки, чтобы скорость турбулентных пульсаций потока превышала скорость гравитационного осаждения частиц нефти [3, 4].

Экспериментально найдены оптимальное соотношение длины (L) и диаметров (Д) сливных камер (L/D = 20-30), а также рекомендуемые значения универсального параметра закрутки (Θ) потоков для верхней ($\Theta_в$ = 20-33) и нижней ($\Theta_н$ = 16-18,5) сливных камер, позволяющие эффективно осуществлять процесс разрушения, очистки НСВ, в том числе коалесценции нефтяных капель. Количественная оценка дисперсного состава эмульгированной нефти в НСВ показала высокую степень коалесценции и капель нефти при гидродинамической обработке эмульсии по схеме «гидроциклон – камеры сливов (ГКС)» [3].

Экспериментально установлено, что эффект очистки НСВ (угленосного типа, сероводородосодержащая нефтепромысловая сточная вода высокой стойкости) после обработки в ГКС и двухчасового отстаивания достигает 94,5 %, что на 8-10 % превышает эффективность очистки по схеме «гидроциклон – отстойник» и на 20-25 % превышает эффективность отстаивания необработанной в ГКС [3].

Анализ собранного фактического материала по методам очистки и факторов интенсифицирующих процесс очистки НСВ показал, что все факторы действуют в определенной последовательности, определенной величиной и в течение определенного времени.

Список литературы

1. Адельшин А.Б. Энергии потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Часть 1. Гидроциклоны: Монография. – Казань: КГАСА, 1996. – 200 с.
2. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод / Дис. докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.

3. Адельшин А.А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков // Дис. канд. техн. наук. – Пенза, 2009. – 181 с.
4. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. Монография. – Казань: КГАСУ, 2011. – 245 с.
5. Шифрин С.М., Мишуков Б.Г., Феофанов Ю.А. Расчет сооружений биохимической очистки городских и промышленных сточных вод: Учебное пособие. – Л.: ЛИСИ, 1977. – 74 с.
6. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1973. – 224 с.

Adelshin A.A. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: a566pm@rambler.ru
Adelshin A.B. – doctor of technical sciences, professor
Busarev A.V. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: sa789@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

About the time factor, that may influence the process of cleaning oil-field waste water using a swirling flows

Resume

Creation of technology and block installations of purification of oil-field sewage (OFS) for a waterflooding of oil layers is an actual problem.

The high and stable effect of cleaning of OFS can be reached by a way of preliminary hydrodynamic processing it in the twirled stream. Researches created installations of cleaning of OFS with use of the twirled streams according to technological schemes: the block a hydrocyclone – a settler (BHS); the block a hydrocyclone – cylindrical chambers on top and bottom hydrocyclone drain – a settler (BCHS). Various schemes «a hydrocyclone – chambers» in effect are formed by hydrodynamic droplet formation (OC). Thus the hydrocyclone serves for preliminary hydrodynamic processing of OFS: destruction of the stabilized particles of the impurity, armouring shells, to a coalescence and reduction of polydispersion of drops of oil. As a part of OC the hydrocyclone is also the device for receiving the twirled stream in chambers.

In article results of researches of time of stay in a hydrocyclone, the device OC and are given in the whole BCHS. It is established that emulsion destruction by hydrodynamic processing in a hydrocyclone makes 1-3 s, and in the device OC 30-50 s that promotes increase of effect and stability of cleaning of OC on BHS, BCHS installations.

Keywords: oil-field sewage, hydrocyclone, chamber drains, twirled streams, hydrodynamic processing, residence time, purification.

References

1. Adelshin A.B. Energy of a stream in processes of an intensification of cleaning of the petrocontaining sewage. Part 1. Hydrocyclones: the Monography. – Kazan: KSABA, 1996. – 200 p.
2. Adelshin A.B. The intensification of processes of oilfield wastewater hydrodynamic purification / Doctor of technical sciences dissertation. – Saint-Petersburg, 1998. – 73 p.
3. Adelshin A.A. Modeling of processes and working out of installations of oilfield wastewater purification on the basis of swirling flows usage: Cand. Tech. Sci. dissertation. – Penza, 2009. – 181 p.
4. Adelshin A.A., Adelshin A.B. Urmitova N.S. Hydrodynamic purification of oilfield wastewater on the basis of swirling flows usage. Monography. – Kazan: KSUAE, 2011. – 245 p.
5. Shifrin S.M., Mishukov B.G., Feofanov Y.A. Calculation of the structures of biochemical purification of municipal and industrial wastewater: Tutorial. – L.: LCEI, 1977. – 74 p.
6. Zakgeim A.Y. Introduction into the modeling of chemical and technological processes. – M.: Khimiia, 1973. – 224 p.

УДК 628.35:62-278
Катраева И.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: inna@nngasu.ru
Колпаков М.В. – ассистент
E-mail: lab4-5@mail.ru
Кузина Ю.С. – соискатель
E-mail: jule420@yandex.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65
Мынин В.Н. – кандидат технических наук
E-mail: info@genos.ru
Научно-производственная компания «ГЕНОС»
Адрес организации: 125047, Россия, г. Москва, ул. 1-я Миусская, д. 3
Айнетдинов Р.М. – кандидат технических наук
E-mail: info@teco-nn.ru
ООО «ТЭКО»
Адрес организации: 603000, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 38

Применение погружных керамических модулей для биомембранных аппаратов

Аннотация

В статье приведены результаты исследования работы трубчатого керамического мембранного модуля производства российской компании НПК «ГЕНОС» (г. Москва) в лабораторном мембранном биореакторе, дается обоснование преимуществ и перспектив использования керамических мембран для биомембранной технологии в качестве погружных модулей при очистке промышленных сточных вод.

Эксперименты проводились на сточных водах предприятий пищевой и фармацевтической промышленности.

Была доказана высокая эффективность регенерации мембран обратной продувкой воздухом.

Ключевые слова: мембранный биореактор (МБР), очистка сточных вод, погружной модуль, трубчатые керамические мембраны, биомембранная технология.

Опыт эксплуатации биомембранной технологии в мировой практике в последние годы подтверждает ее высокую эффективность и перспективность применения для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Благодаря постоянному развитию и совершенствованию технологии изготовления мембранных модулей для биореакторов снижаются энергозатраты на очистку сточных вод и повышается надежность работы биомембранных аппаратов.

На сегодняшний день для биомембранной технологии с погружными мембранными модулями чаще всего используются модули с половолоконными мембранами, их преимуществом является дешевизна и большая удельная поверхность.

Керамические мембраны, несмотря на их высокую стоимость, которая в настоящее время составляет 200÷300 Евро/м^2, имеют преимущества с точки зрения надежности, долговечности и удобства в эксплуатации (таблица) [1, 2].

Таблица

Сравнение половолоконных и керамических мембран

Параметр	Полимерные мембраны	Керамические мембраны
Стойкость к воздействию:		
Абразив	«-»	«+»
Гидролиз	«-»	«+»
Радиолиз	«-»	«+»
Высокая температура (выше 80°C)	«-»	«+»
Биологическое разрушение	«-»	«+»
Химическая стойкость:		
Хлор	«-»	«+»
Кислоты	«-»	«+»
Щёлочи	«-»	«+»
Органические растворители	«-»	«+»
Эксплуатационные параметры:		
Срок службы без замены, лет	0,5-4	до 20
Возможность обратной продувки	«-»	«+»
Потребность воды на промывку, %	до 10	до 2

Разработка керамических мембран является приоритетным направлением развития многих компаний, которые являются лидерами производства мембранных модулей для МБР, данное производство высокотехнологично и требует большого научного потенциала. Например, немецкая компания ItN Nanovation на практике доказывает превосходство своих керамических модулей по приведённым затратам над полимерными мембранами.

Из российских компаний, которые успешно развиваются в последнее десятилетие и достигли больших успехов в производстве и внедрении в практику трубчатых керамических модулей, можно назвать НПК «ГЕНОС» (г. Москва). Модули, произведенные компанией, используются как для водоподготовки, так и для очистки сточных вод.

В ННГАСУ в течение четырех лет проводились лабораторные исследования, в которых мембранные модули НПК «ГЕНОС» использовались в качестве погружных модулей для биомембранного аппарата. Для экспериментов были использованы модули с трубчатыми керамическими мембранами с внешним рабочим слоем, имеющие площадь поверхности фильтрования 0,1 м^2 и средний размер пор активной поверхности 200 нм (рис. 1). Исследования проводились на сточных водах предприятий пищевой (птицефабрики, предприятия рыбо и мясопереработки) и фармацевтической промышленности, которые отличались высоким содержанием органических загрязнений, концентрация по ХПК составляла от 800 до 5000 мг/л.

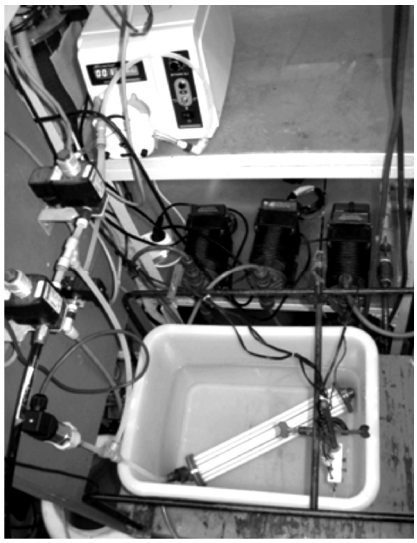


Рис. 1. Внешний вид лабораторного МБР аппарата
с погружным керамическим модулем НПК «ГЕНОС»

Лабораторный аппарат работал круглосуточно в автоматическом режиме под управлением контроллера, с его принципиальной схемой и результатами работы можно ознакомиться в ряде предыдущих публикаций [3, 4]. Длительность эксперимента по очистке сточных вод для каждого из исследуемых предприятий составляла около трех месяцев, для сточных вод фармацевтического предприятия исследования продолжались в течение полугода.

В ходе эксперимента изучались особенности работы МБР аппарата в среде с активным илом с целью определения оптимальных технологических режимов, а также повышения надежности и эффективности его работы.

Работа мембранного модуля оценивалась по величине удельного потока фильтрата J (л/ч м^2) и величине нормализованного потока фильтрата J_n (л/ч м^2 бар), доза активного ила в системе составляла 2,5-9,5 г/л, регулирование работой установки осуществляли по давлению, давление разрежения при фильтровании изменяли от 0,1 до 0,3 бара, объёмная нагрузка на МБР аппарат составляла 1-2 кг ХПК/м^{3}сут.

Лабораторный аппарат работал в циклическом режиме, каждый цикл состоял из следующих фаз: подача исходной сточной воды, окисление сточной воды с регенерацией мембран за счет обратной продувки воздухом, сброс давления-разрежения, фильтрование, сброс избыточного давления, откачка избыточного активного ила (рис. 2).

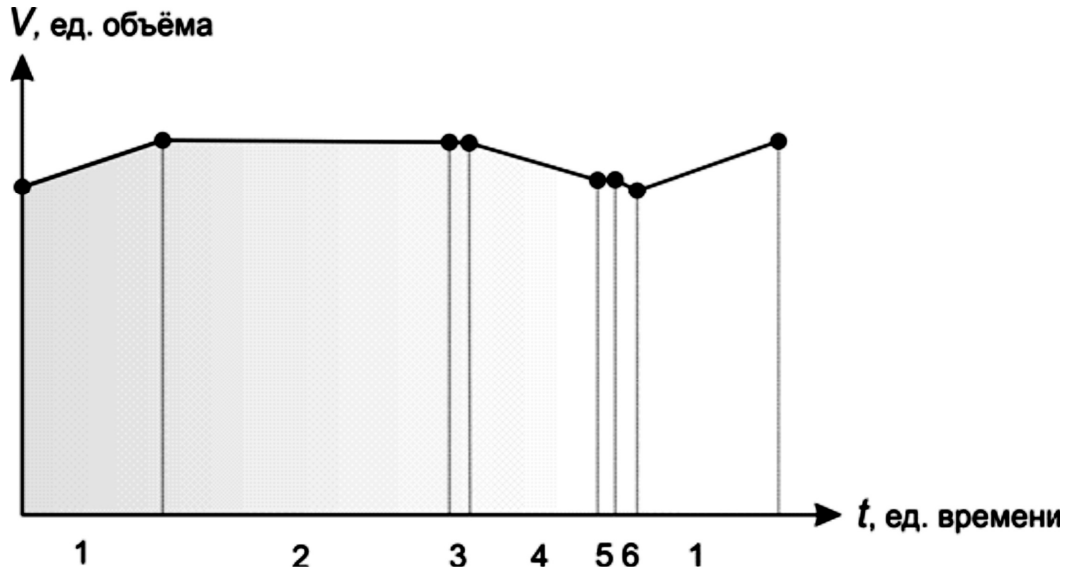


Рис. 2. Циклическая работа лабораторного МБР:
1 – подача исходной сточной воды, 2 – фаза окисления сточной воды
с одновременной регенерацией мембранного модуля обратной продувкой воздухом,
3 – сброс давления воздуха, 4 – фаза фильтрования при давлении разрежения,
5 – сброс давления разрежения, 6 – откачка избыточного ила

При существующем режиме эксплуатации механическая очистка мембранного модуля снаружи за счет промывки водой под давлением требовалась через каждые 1,5-2 недели, так как J за это время снижался на 25 %, после промывки величина удельного потока восстанавливалась и имела исходное значение.

В ходе проведенных экспериментов было доказано, что эффективность обратной продувки воздухом керамических мембран выше, чем обратной промывки фильтратом (рис. 3, 4), в ходе проведения данного эксперимента давление при регенерации обратной продувкой и промывкой было одинаковым и составляло 1 бар. Исследования показали, что достаточно одной минуты, чтобы за счет регенерации обратной продувкой восстановить способность мембранных модулей к фильтрованию и получить первоначальную величину удельного потока. Увеличение продолжительности регенерации обратной продувкой не сказывалось на величине удельного потока (рис. 5).

Было установлено, что величина удельного потока зависит от трансмембранного давления (ТМД) и дозы активного ила, что представлено на рис. 6.

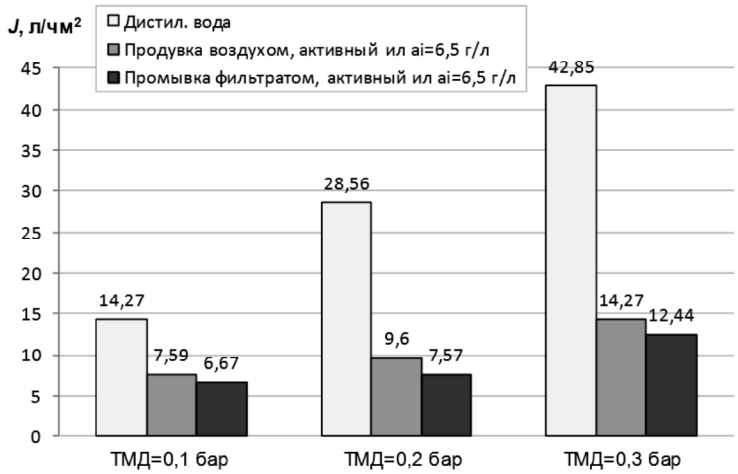


Рис. 3. Величина удельного потока фильтрата через 20 циклов работы установки при работе в дистиллированной воде, в реакторе с активным илом после обратной продувки воздухом и обратной промывки фильтратом

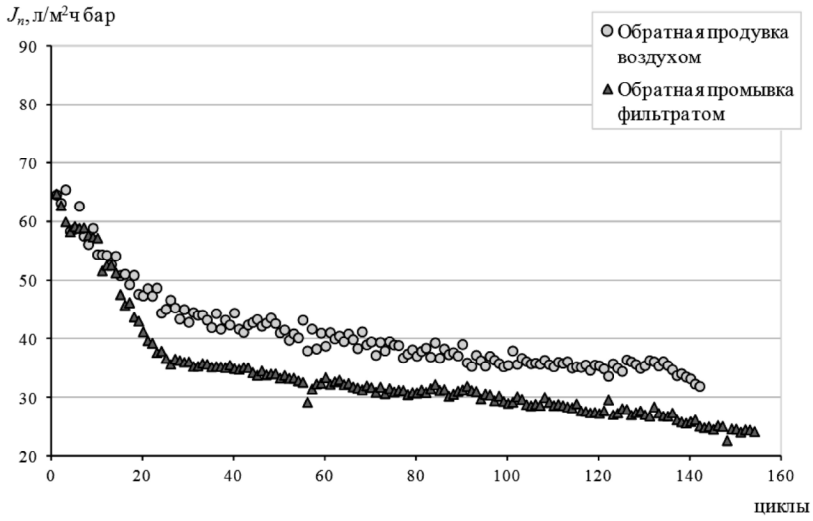


Рис. 4. Изменение нормализованного потока фильтрата во времени при обратной продувке модуля воздухом и промывке фильтратом

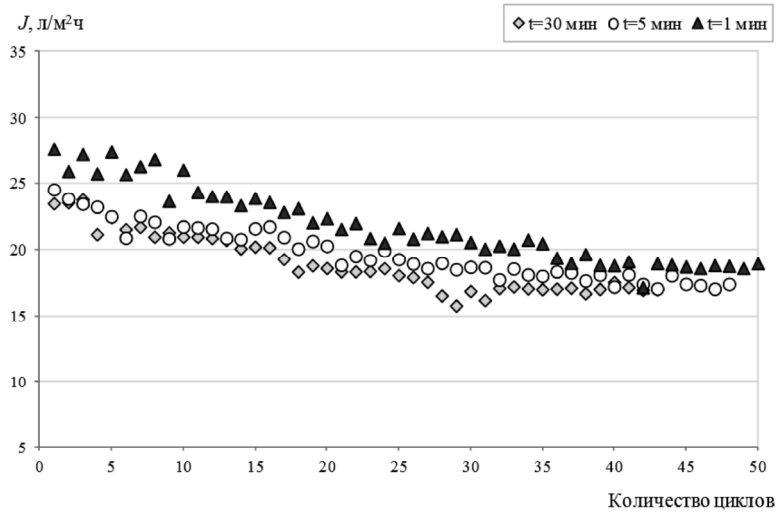


Рис. 5. Влияние продолжительности обратной продувки на величину удельного потока фильтрата

Было определено, что величина удельного потока зависит от ТМД и дозы активного ила, что представлено на рис. 6.

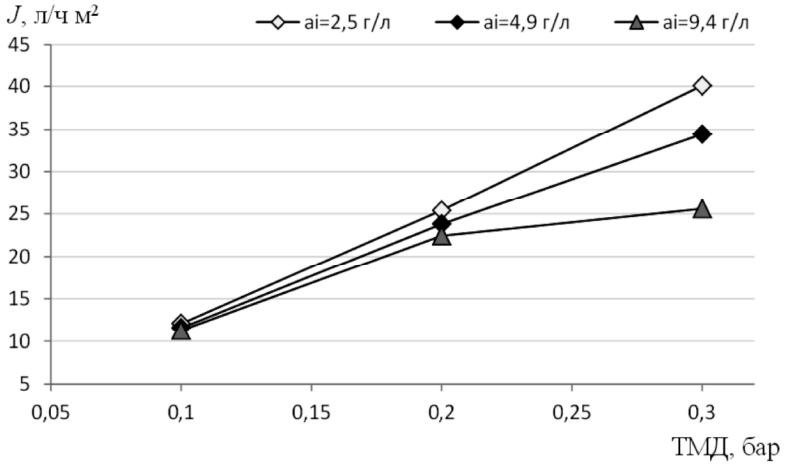


Рис. 6. Зависимость величины удельного потока
от трансмембранного давления и дозы активного ила в МБР аппарате

Выводы: На примере трубчатого керамического мембранного модуля российской компании НПК «ГЕНОС» доказана перспективность использования погружных керамических модулей в МБР аппаратах для очистки промышленных сточных вод, а также их высокая надежность при длительной эксплуатации в среде с активным илом. Также была доказана высокая эффективность регенерации мембран обратной продувкой воздухом, по сравнению с обратной промывкой фильтратом.

Список литературы

1. http://www.genos.ru (дата обращения: 15.06.2012).
2. Розенвинкель К.-Х., Борхман А., Губанов Л.Н., Катраева И.В., Колпаков М.В., Кузина Ю.С. Керамические мембраны в качестве погружных модулей в мембранных биореакторах // Водоснабжение и сан. техника, 2011, № 12. – С. 44-49.
3. Губанов Л.Н., Розенвинкель К.-Х., Катраева И.В., Борхман А., Кулемина С.В. Глубокая очистка сточных вод с применением биохимических и мембранных методов // Приволжский научный журнал, 2008, № 4. – С. 37-44.
4. Губанов Л.Н., Катраева И.В., Колпаков М.В., Кулемина С.В., Кузина Ю.С. Очистка сточных вод птицефабрик с применением биомембранных технологий // Приволжский научный журнал, 2010, № 4. – С. 194-201.

Katraeva I.V. – candidate of technical sciences
E-mail: inna@nngasu.ru
Kolpakov M.V. – assistant
E-mail: lab4-5@mail.ru
Kuzina Y.S. – post-graduate student
E-mail: jule420@yandex.ru
Nizhny Novgorod StateUniversityofArchitectureandCivilEngineering
The organization address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Ilyinskaya st., 65
Mynin V.N. – candidate of technical sciences, technical director
E-mail: info@genos.ru
JSC «GENOS»
The organization address: 125047, Russia, Moskow, 1-ya Miusskaya st., 3
Ainetdinov R.M. – candidate of technical sciences
E-mail: info@teco-nn.ru
JSC «TECO»
The organization address: 603000, Russia, Nizhny Novgorod, Belinskogo st., 38

Submerged ceramic modules in biomembrane installation

Resume

The article presents the results of a study of a tubular ceramic membrane installation produced by the Russian company JSC «Genos» (Moscow) as a submerged module for a laboratory membrane bioreactor; benefits and prospects of ceramic membranes application for the MBR technology as a submersible modules for industrial wastewater treatment are substantiated.

The experiments were performed on waste waters of food and pharmaceutical industries characterized by a high content of organic impurities and COD ranging from 800 to 5 000 mg/l.

The membrane module performance was assessed by the flux J(l/h m^2) and permeability J_n (l/h m^2 bar) values, MLSS in the installation constituted 2,5 to 9,5 g/l; the installation operation was controlled by the pressure, which was changed from 0,1 to 0,3 bar, organic loading rate was kept within the limits of 1 to 2 kg COD/m^3 day.

The laboratory apparatus was working in a cycle mode; each cycle consisted of the following phases: feeding of waste water, waste water oxidation with membrane regeneration by air purging, pressure release, filtration, pressure release, excess sludge removal.

The experiments proved high efficiency of air purging as compared with back-washing for the membrane regeneration.

Keywords: membrane bioreactor (MBR), wastewater treatment, submerged module, tubular ceramic membrane, biomembrane technology.

References

1. http://www.genos.ru (reference date: 15.06.2012).
2. RosenwinkelK.-H., BorchmannA., Gubanov L.N., Katraeva I.V., Kolpakov M.V., Kuzina Yu.S. The use of ceramic membrane sassubmersible modules in membrane bioreactors // Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika, 2011, № 12. – P. 44-49.
3. Gubanov L.N., Rosenwinkel K.-H., Katraeva I.V., Borchmann A., Kulemina S.V. Integrated waste water treatment by biochemical and membrane technologies // Privolzhskiy nauchny zhurnal, 2008, № 4. – P. 37-44.
4. Gubanov L.N., Katraeva I.V., Kolpakov M.V., Kulemina S.V., Kuzina Yu.S. Treatment of waste water of poultry plants with the use of biomembrane technologies // Privolzhskiy nauchny zhurnal, 2010, № 4. – P. 194-201.

УДК 666.97
Королев Е.В. – доктор технических наук, профессор
E-mail: korolevev@mgsu.ru
Московский государственный строительный университет
Адрес организации: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
Береговой В.А. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: vabereg@rambler.ru
Костин Д.С. – аспирант
E-mail: kostindimas@yandex.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес организации: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28

Исследование процессов пластификации сырьевых смесей, применяемых в технологии кремнистого пенокерамобетона*

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению влияния супер- и гиперпластификаторов на свойства опочных смесей, являющихся основой для получения кремнистой керамики. Установлено влияние комплексных добавок, содержащих пластификатор и соль, хорошо растворимую в воде (электролит). Показано, что совместное введение суперпластификатора и разжижителей на основе солей натрия (например, NaF, Na_3PO_4) способствует усилению пластифицирующего эффекта.

Ключевые слова: пластификация, пластификатор, разжижитель, опока, пенокерамобетон, теплоизоляционный материал.

Большинство современных технологий производства строительной керамики базируется на использовании традиционного (пластичного) глинистого сырья. За исключением диатомита, применение непластичного керамического сырья в виде кремнистых пород (опоки, трепелы, цеолиты) при изготовлении обжиговых строительных материалов (кремнистой керамики) носит крайне ограниченный характер. В месте с тем, особенность минеральной базы России заключается в исключительно широком распространении во многих регионах (Поволжье, Карелия, Урал, Сахалин, Северный Кавказ и др.) значительных запасов нетрадиционного керамического сырья, представленного опочными месторождениями.

При рациональном использовании опочное сырье позволяет получить стеновую керамику, не уступающую по основным показателям традиционным изделиям этой группы [1]. Однако для получения конкурентоспособной ячеистой керамики необходимо существенное улучшение прочностных показателей кремнистой матрицы, которого можно достичь за счет увеличения степени взаимного спекания кремнеземистых частиц, составляющих основу сырьевого шликера. Важнейшими рецептурными факторами, влияющими на этот процесс, являются дисперсность минеральных частиц, водотвердое отношение сырьевой смеси и наличие флюсующих веществ.

Зависимость продолжительности образования контактов в местах спекания минеральных частиц при обжиге материала от их размера выражается уравнением вида [2]:

$$\tau_2 = \tau_1 \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^{\gamma}, \qquad (1)$$

где τ_2 – продолжительность спекания частиц размером r_2; τ_1 – продолжительность спекания частиц размером r_1.

Значение показателя степени γ в формуле (1) зависит от преобладающего механизма процесса спекания и изменяется в широком диапазоне:

$$\gamma \in [1; 4],$$

* Печатается при поддержке государственного контракта № 16.552.11.7025 от 29.04.2011 г.

($\gamma = 1$ – при вязком течении; …; $\gamma = 4$ – при поверхностной диффузии).

Ускорение процесса спекания частиц сырьевой смеси способствует снижению энергоемкости процесса изготовления и позволяет получить прочный материал за более короткое время обжига. Бережной А.С. получил зависимость, устанавливающую взаимосвязь между степенью спекания z и прочностью обжигового материала:

$$z = C_1 \frac{R_2 - R_1}{R_1} C_2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}, \quad (2)$$

где R_2 и R_1 – прочность материала после и до спекания, ρ_2 и ρ_1 – плотность после и до спекания, C_i – числовые коэффициенты.

Таким образом, увеличение дисперсности кремнистых пород (в частности опок) способствует сокращению продолжительности обжига и закономерно (за счет закупорки каналов истечения жидкой фазы) повышает устойчивость пеноминеральных масс, применяемых в технологии кремнистых пенокерамобетонов (ПКБ).

В работе приведены результаты исследований по подбору добавок-разжижителей, способствующих повышению прочностных показателей материала-основы ПКБ. При проведении исследований использованы две характерные разновидности опок – кремнистые и рыхлые (трепеловидные), которые отличаются содержанием в составе примесей глинистых веществ. Полуколичественный рентгенофазовый анализ показал, что состав трепеловидной опоки определяется наличием следующих минералов: кварц, опаловидный кремнезем и кристобалит – 40…60 %; глины (монтмориллонит, сепиолит) – 30…35 %. Минералогический состав кремнистой опоки более однородный и характеризуется наличием кварца и его низкотемпературных разновидностей, а также опаловидного кремнезема.

Результаты экспериментов по влиянию водотвердого (В/Т) отношения на прочность материала-основы базового состава установлены посредством испытаний образцов из трепеловидных опок, обожженных при температуре 900 °С (таблица).

Таблица

Влияние водотвердого отношения на свойства материала-основы

Водотвердое отношение	Показатели свойств	
	$R_{сж}^{обож}$, МПа	Средняя плотность, кг/м^3
0,40	14,0…16,0	1200…1220
0,50	10,0…10,5	1100…1140
0,55	6,1…6,5	1000…1060
0,75	1,4…1,6	900…915
0,90	1,1…1,3	815…830

Установленные экспериментальные данные удовлетворительно описываются уравнением вида:

$$R_{сж}^{м} = \frac{R'_{сж}}{m\left(\frac{B}{T}\right)^n}, \quad (3)$$

где $R'_{сж}$ – прочность материала-основы при В/Т, равном 0,4; n и m – коэффициенты, равные соответственно 3,63 и 26,3.

Установлено, что при водотвердом отношении сырьевой смеси на границе достижения связности и гравитационно-текучего состояния водо-опочного шликера (В/Т=0,35…0,43) возможно получение конструкционно-теплоизоляционных пенокерамобетонов без введения в состав сырьевой смеси добавок, стабилизирующих структуру вспененной минеральной массы (например, портландцемента, гипса, жидкого стекла, извести).

Получение сырьевых смесей с достаточной для последующей поризации подвижностью при столь низких В/Т возможно только при использовании эффективных разжижающих добавок. При выборе добавок дополнительно учитывалось влияние их химического состава на процессы формирования при обжиге оптимального количества стекловидных фаз с заданными свойствами [3].

В качестве добавок-разжижителей при проектировании составов пенокерамобетона были опробованы Na_3PO_4, NaF, MgF_2, Na_2CO_3, $Na_4P_2O_7$, NaCl, а также добавки-пластификаторы бетона (СП), относящиеся к четырем основным типам:

- на основе сульфированных меламиноформальдегидных поликонденсатов (МФ) – Melment F15C;

- на основе сульфированных нафталинформальдегидных поликонденсатов (НФ) – суперпластификатор С3;

- на основе очищенных лигносульфонатов (ЛСТ) – Бетон Пласт ЛСТ;

- гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов (ГП) – Melflux 2651 и 5581, Frame Gyper S, BetonPlast 02 Gyper.

Установлено, что для смесей базового состава (В/Т = 0,45) наибольший пластифицирующий эффект достигается при введении кальцинированной соды и добавки Melflux 5581: при оптимальном количестве увеличение подвижности по отношению к базовому составу достигает 34 и 46 % соответственно.

Анализ полученных данных позволяет констатировать, что эффект пластификации рассматриваемых двухфазных систем проявляется при введении ГП, механизм действия которых обеспечивается наличием существенной стерической составляющей. На это обстоятельство указывает усиление эффекта пластификации в ряду:

Melflux 2651 (12 %) > Melflux 5581 (46 %[*]).

Пластифицирующий эффект от введения СП типа НФ, МФ или ЛСТ, в механизме действия которых основная роль принадлежит эффекту электростатического отталкивания, обусловленному повышением о-потенциала поверхности частиц в результате адсорбции молекул СП, практически отсутствует. Очевидно, это связано с преобладанием на поверхности частиц опоки отрицательно заряженных активных центров, что приводит к закономерному снижению адсорбции анионактивных ПАВ, к которым относятся все рассматриваемые вещества.

Формирование ячеистой структуры на основе сырьевых смесей базового состава проводили с применением в качестве порообразователя перекиси водорода в сочетании с разжижающей добавкой Na_2CO_3. Использование H_2O_2 позволило получить образцы конструкционно-теплоизоляционного пенокерамобетона плотностью 650 кг/м^3 и прочностью более 2,0 МПа.

Для получения теплоизоляционных пенокерамобетонов базовый состав был дополнен портландцементной технологической связкой (10…15 %), способной фиксировать ячеистую структуру в сырьевых системах, сильно разбавленных водой (В/Т более 0,85). Установлено, что добавка портландцемента положительно влияет на пластифицирующую способность большинства опробованных пластификаторов. Это происходит в результате частичной нейтрализации кислых поверхностных центров кремнеземистых частиц за счет адсорбции положительно заряженных продуктов гидратации цемента.

Высокая стоимость ГП приводит к целесообразности поиска комплексных добавок на основе СП, эффективно работающих в исследуемых минеральных системах. В работе было проведено исследование совместного влияния СП и разжижителей на основе неорганических солей на вязкость цементно-опочных растворов. Исследование проводили на системах, состоящих из ПЦ-500 и опоки (Ц:П = 1:6).

На рис. 1 и 2 показано совместное влияние некоторых из исследованных разжижителей (NaF), пластификаторов (С-3, Melment F15C) и пенообразователей (ПБ-2000) на вязкость цементно-опочного раствора.

[*] Для рассматриваемых ГП увеличение численного обозначения в маркировке указывает на увеличение длины боковых гидрофобных полиэфирных цепей и рост стерической составляющей [4].

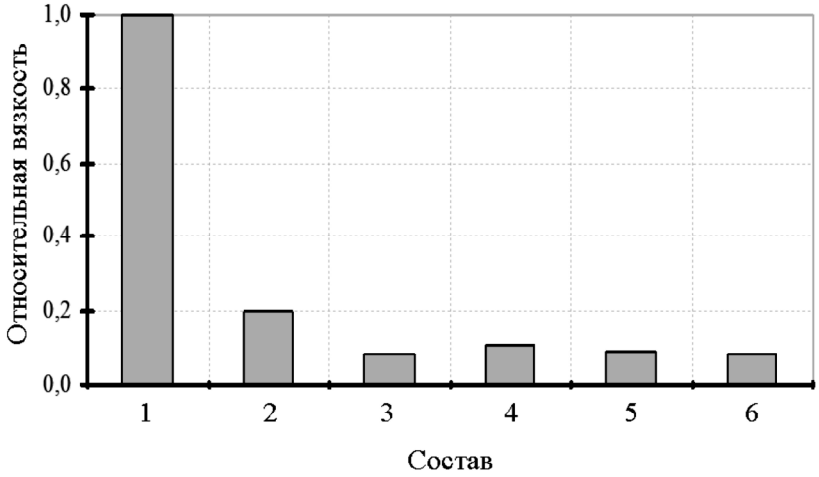


Рис. 1. Влияние добавок на вязкость цементно-опочного раствора:
1 – без добавок; 2 – С-3 (0,08 %); 3 – С-3 (0,08 %) + NaF (2 %);
4 – С-3 (0,08 %) + NaF (2 %) + ПБ-2000 (0,075 %);
5 – С-3 (0,16 %) + NaF (2 %)+ ПБ-2000 (0,075 %);
6 – С-3 (0,16 %) + NaF (3 %)+ ПБ-2000 (0,075 %)

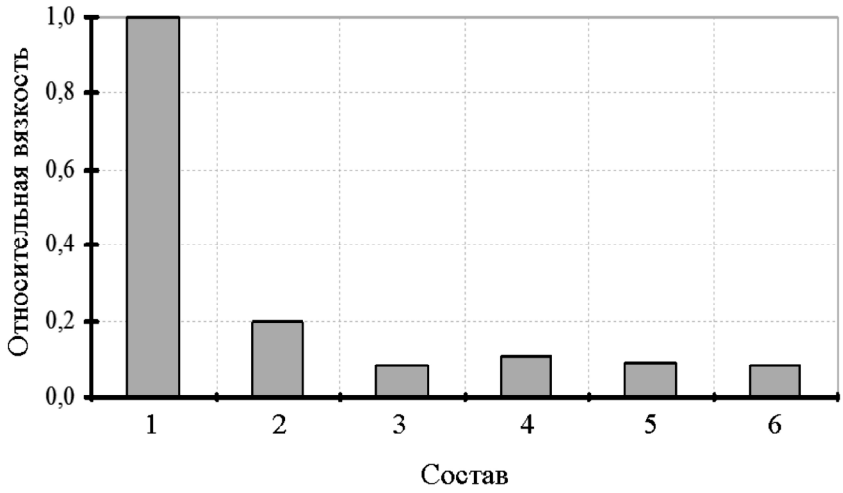


Рис. 2. Влияние добавок на вязкость цементно-опочного раствора:
1 – без добавок; 2 – Melment F15C (0,08 %); 3 – NaF (2 %) + Melment F15C (0,08 %);
4 – NaF (2 %) + Melment F15C (0,16 %); 5 – NaF (3 %) + Melment F15C (0,16 %);
6 – NaF (3 %) + Melment F15C (0,16 %) + ПБ-2000 (0,075 %)

Анализ данных рис. 1 и 2, а также аналогичных исследований, проведенных авторами для других веществ, показал, что при введении комплексной добавки, состоящей из С-3 (или Melment F15C, Бетон Пласт ЛСТ) и NaF (или Na_3PO_4), наблюдается значительное увеличение эффекта пластификации. Наличие в растворе пенообразователя несколько снижает пластифицирующий эффект от введения комплексной пластифицирующей добавки.

Синергетический эффект, отмечаемый при совместном введении добавок пластификатора и разжижителя связан с увеличением ξ-потенциала поверхности минеральных частиц за счет адсорбции пластификатора, что приводит к усилению взаимного отталкивания частиц и их диспергации. Роль добавки электролита NaF сводится к усилению этого эффекта.

Таким образом, совместное введение СП типов НФ, МФ и ЛСТ и разжижителей на основе солей натрия (например, NaF, Na_3PO_4) способствует взаимному усилению пластифицирующего эффекта применительно к цементно-опочным смесям, применяемым для получения теплоизоляционных ПКБ.

Для снижения водо-твердого отношения монокомпонентных опочных смесей, используемых при получении конструкционно-теплоизоляционных ПКБ, целесообразно применять гиперпластификаторы, действие которых основано на совокупности электростатического и сферического эффекта. При этом в ряду ГП усиление пластификации связано с увеличением сферической составляющей, в том числе за счет анионной активности.

Список литературы

1. Котляр В.Д., Талпа В.Д. Опоки – перспективное сырьё для стеновой керамики // Строительные материалы, 2007, № 2. – С. 31-33.
2. Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Технология огнеупоров. – М.: Металлургия, 1978. – 480 с.
3. Береговой В.А., Королев Е.В., Баженов Ю.М. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны. – М.: МГСУ, 2011. – 264 с.
4. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.

Korolev E.V. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: korolevev@mgsu.ru
Moscow State University of Civil Engineering
The organization address: 129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoje sh., 26
Beregovoj V.A. – candidate of technical sciences, assistant professor
E-mail: vabereg@rambler.ru
Kostin D.S. – post-graduate student
E-mail: kostindimas@yandex.ru
Penza State University of Architecture and Construction
The organization Address: 440028, Russia, Penza, G. Titova st., 28

Examination of the plasticizing process of compositions for siliceous foam-ceramic concrete technology

Resume

Application of the nonplasticized siliceous raw materials, such as bergmeals, opalous minerals and zeolites during the production of siliceous ceramics are currently of very limited use. Being used properly, the opalous minerals (flask etc.) allow to produce the wall ceramics with properties at least comparable with traditional articles of the same purpose. To obtain such ceramics, it is necessary to improve the strength of siliceous matrix significantly. The improvement can, in turn, be achieved by means of increasing the mutual clinkering rate of siliceous particles, which constitute the basis of the composition. As it was shown by A.S. Berezhnoj and K.K. Strelov, the duration of the clinkering necessary to produce the material with predetermined properties, depends strongly on the siliceous particles' size. For the production of ther effective foam-ceramic concretes the portland cement is used as a technological bond. Thus, the optimal liquid-solid relation have to be established. This relation can be controlled by means of addition of electrolytes and plasticizers. It is shown, that simultaneous addition of the «S3», «Melment», «F15» and «LST» plasticizers, together with soduim salt based liquifiers (NaF, Na_3PO_4, etc) leads to the mutual amplification of the plasticizing effect in case of mixtures (based on portland cement and opalous materials) for production of heat insulation FCC.

The solid-liquid relation of multicomponent mixtures for heat insulating and general-purpose foam ceramic concretes can further be decreased by means of hyperplasticizers addition. This is due to both electrostatic and spherical effect. Among the all hyperplasticizers the ones with domination of later effect (caused by anion activity) are also more effective.

Keywords: plasticizing, plasticizer, opaline mineral, foam-ceramic concrete, heat insulating material.

References

1. Kotlyar V.D., Talpa B.V. Opaline minerals – advanced raw materials for wall ceramics // «Stroilenlyje materially», 2007, № 2. – P. 31-33.
2. Strelov K.K., Mamykin P.S. Technology of fire retardant materials. – M.: «Metallurgija», 1978. – 480 p.
3. Beregovoj V.A., Korolev E.V., Bazhenov Yu.M. Effective foam ceramic concretes for heat insulation. – M.: «MGSU», 2011. – 264 p.
4. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Chemical admixtures for concretes. – M.: «Paleotip», 2006. – 244 p.

УДК 625.714.24
Красиникова Н.М. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: knm0104@mail.ru
Хохряков О.В. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: olvik@list.ru
Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор
E-mail: khozin@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Влияние цементов низкой водопотребности на степень пучинистости пылеватых грунтов*

Аннотация

Насыщенные влагой грунты при замерзании увеличиваются в объеме – это приводит к поднятию грунта и, как следствие, к необратимым деформациям дорожных покрытий. Потому к грунтам для верхней части земляного полотна предъявляются требования по морозному пучению. Показано, что грунты, подверженные морозному пучению, можно укреплять цементами низкой водопотребности с малым содержанием клинкера – ЦНВ-30.

Ключевые слова: степень пучинистости, пылеватые грунты, цементы низкой водопотребности.

При строительстве дорог их основания чаще всего устраивают из естественных или техногенных грунтов. Насыщающая их влага при замерзании увеличивается в объеме, в результате чего происходит поднятие грунта, приводящее к необратимым деформациям дорожных покрытий и потому к грунтам для верхней части земляного полотна предъявляются требования по морозному пучению [1].

В конце 50-х XX века была предложена классификация грунтов по степени морозной пучинистости по двум основным критериям – гранулометрическому составу грунта и величине вспучивания его поверхности при полном промерзании [2].

Разделение грунтов на пучинистые и непучинистые является чисто условным. Обычно к пучинистым грунтам относят: глины, песчаные пылеватые или крупномоноблочные, в которых глиняный наполнитель превышает 15 % [3]. Это явление можно объяснить тем, что глина плохо пропускает влагу, которая не уходит вниз, вызывая тем самым подъем замерзшего грунта, а в мелких песках и пылеватых, в пылевато-глинистых грунтах наблюдается капиллярный подъем ее снизу вверх (миграция) к фронту промерзания.

Во многих регионах России, в ее европейской части и даже в Сибири, имеется большое количество пылеватых суглинков, которые подвержены морозному пучению (табл. 1). К тому же такие грунты не позволяют достичь нужной несущей роли «скелета», что требует рационального укрепления этих грунтов вяжущими материалами для использования в дорожном строительстве.

Обеспечение прочности и устойчивости рабочего слоя дорожной одежды, в т.ч. и пучинистости, достигается устройством морозозащитного слоя и дренирующих или капилляропрерывающих прослоек, а также укреплением рабочего слоя грунта с использованием вяжущих, гранулометрических добавок и применением армирующих прослоек.

Согласно ГОСТ 23558 все виды пылевидных и глинистых грунтов, т.е. подверженные морозному пучению, укрепляют неорганическими вяжущими материалами. Традиционно это портландцемент или шлакопортландцемент. Следует отметить, что одним из приемов борьбы с пучением является использование гидрофобизаторов [4].

* Авторы выражают благодарность за помощь в проведении испытаний образцов инженеру Гелеверя Т.И. и аспиранту Бешенову М.Е. (КГАСУ, г. Казань).

Таблица 1

Группы грунтов по степени пучинистости [1]

Грунт	Группа
Песок гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	Непучинистый
Песок гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %, мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %; супесь легкая крупная	Слабопучинистый
Супесь легкая; суглинок легкий и тяжелый; глины	Пучинистый
Песок пылеватый; супесь пылеватая; суглинок тяжелый пылеватый	Сильнопучинистый
Супесь тяжелая пылеватая; суглинок легкий пылеватый	Чрезмерно-пучинистый

Целью нашего исследования стала оценка степени пучинистости пылеватых суглинков (табл. 2), укрепленных цементом (вяжущим) низкой водопотребности (ЦНВ) на основе золошлаковых отходов с гидроотвалов зол-уноса (ЗШО), образующихся при сжигании Окино-Ключевских углей в агрегатах Гусиноозерской ГРЭС.

Таблица 2

Физические характеристики суглинка пылеватого

Наименование показателя	Единицы измерения	Количественное значение
Плотность частиц грунта	г/см^3	2,7
Плотность скелета грунта	г/см^3	2,06
Максимальная плотность	г/см^3	1,77
Оптимальная влажность	%	16,0
Влажность на границе текучести	%	24,0
Влажность на границе раскатывания	%	16,5
Число пластичности	%	7,5
Содержание отмученных частиц, <0,05 мм	%	69,83

ЦНВ – неорганические вяжущие, содержащие всего 30 % портландцемента, а остальные 70 % – золошлаковые отходы. Получали ЦНВ путем совместного помола портландцемента ПЦ400Д0 с ЗШО и суперпластификатором С-3. При этом по физико-механическим свойствам они не уступают рядовым портландцементам (табл. 3).

Следует отметить, что цементы (вяжущие) низкой водопотребности (сокращенно ЦНВ или ВНВ) – вяжущие нового поколения, которые уже с 1990 года рекомендованы для устройства бетонных дорожных покрытий [5].

Основные физические характеристики применяемых грунтов приведены в табл. 2.

Степень морозного пучения определяли двумя методами:

- по гранулометрическому составу исходного и укрепленного грунта (ГОСТ 12536);
- по величине вспучивания его поверхности при полном промерзании (ГОСТ 28622).

Образцы для испытаний грунта изготавливались согласно ГОСТ 22733.

Определение гранулометрического (зернового) состава глинистых грунтов и укрепленных ЦНВ-30 в количестве 16 % от массы грунта определяли ареометрическим методом (табл. 4-5) путем измерения плотности суспензии ареометром в процессе ее отстаивания.

Таблица 3

Результаты оценки активности по прочности ЦНВ-30

№ п/п	Наименование показателей	ЦНВ-30 на ЗШО
1	Исходная удельная поверхность ЗШО, $см^2/г$	100…120
2	Удельная поверхность ЦНВ, $см^2/г$	5800
3	Плотность, $г/см^3$	2,5
4	Содержание СП С-3, (% от ЦНВ)	1
5	Водоцементное отношение	0,34
6	Расплыв конуса (ГОСТ 310.4), мм	122
7	Активность вяжущего в возрасте 1 суток нормального твердения, МПа: - при изгибе - при сжатии	 2,6 9,3
8	Активность вяжущего в возрасте 3 суток нормального твердения, МПа: - при изгибе - при сжатии	 2,9 18,9
9	Активность вяжущего в возрасте 7 суток нормального твердения, МПа: - при изгибе - при сжатии	 4,1 26,4
10	Активность вяжущего в возрасте 28 суток нормального твердения, МПа: - при изгибе - при сжатии	 5,9 37,7

Таблица 4

Гранулометрический состав естественного грунта (суглинок пылеватый)

№ п/п	Время отсчета	Упрощенный отсчет по ареометру без поправок	Температура суспензии в данное время отсчета	Отсчет по ареометру с поправкой на мениск ареометра	Окончательный отсчет по ареометру со всеми поправками	Диаметр частиц, мм	Подсчет содержания частиц с учетом частиц крупнее d	Фракция частиц, мм	Истинное содержание конкретно данного размера частиц, %
1	1 мин	14,50	20	14,80	14,80	<0,05	54,0	0,05-0,01	29,8
2	30 мин	6,35	20	6,65	6,65	<0,01	24,3	0,01-0,005	30,0
3	2 ч	1,50	20	1,3	1,30	<0,005	4,7	<0,005	10,0

Из табл. 5 видно, что после обработки грунта 16 % составом ЦНВ-30, подверженного морозному пучению, происходит «укрупнение зерен» пылеватых частиц, что, в свою очередь, ведет к снижению и полному прекращению пучинообразования грунтов земляного полотна.

Эти данные подтверждаются и методом лабораторного определения степени пучинистости. Степень пучинистости грунта определяли по значению относительной деформации морозного пучения, полученному по результатам испытаний образцов грунта в специальных установках, обеспечивающих промораживание образца исследуемого грунта в заданном температурном и влажностном режимах, и измерение перемещений его поверхности по ГОСТ 28622-90. Для определения показателя морозного пучения использовали прибор ППГ-1М с индикаторами часового типа.

Таблица 5

Гранулометрический состав грунта с ЦНВ-30

№ п/п	Время отсчета	Упрощенный отсчет по ареометру без поправок	Температура суспензии в данное время отсчета	Отсчет по ареометру с поправкой на мениск ареометра*	Окончательный отсчет по ареометру со всеми поправками	Диаметр частиц, мм	Подсчет содержания частиц с учетом частиц крупнее d	Фракция частиц, мм	Истинное содержание конкретно данного размера частиц
1	1 мин	12,50	20	12,8	12,6	< 0,05	34,2	0,05-0,01	22,0
2	30 мин	4,20	20	4,50	4,50	< 0,01	12,2	0,01-0,005	19,5
3	2 ч	1,00	20	1,3	1,3	< 0,005	3,5	< 0,005	7,1

Примечание:* к заводскому ареометру поправки отсутствуют

Согласно ГОСТ 25100, пучинистый грунт – это грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме, вследствие образования кристаллов льда, и имеет относительную деформацию морозного пучения $\varepsilon_{fh} \geq 0{,}01$.

В результате после испытания неукрепленных грунтов толщина промерзшего слоя в образце грунта превышала 35 мм. Относительную деформацию морозного пучения образца грунта ε_{fh} вычисляли с точностью 0,01 по формуле:

$$\varepsilon_{fh} = h_f / d_i,$$

где h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм;

d_i – фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

При расчете относительная деформация морозного пучения составляла 0,3, поэтому пылеватые суглинки в соответствии с ГОСТ 28622-90 являются чрезмерно пучинистыми.

При этом грунт, укрепленный цементом низкой водопотребности (16 % от массы грунта, при этом содержание клинкерной части цемента в ЦНВ-30 составляет 4,8 %), после испытания имел незначительную толщину промерзания – 8 мм. Расчет показал, что относительная деформация составляет 0,009.

Согласно ГОСТ 28622 «Метод лабораторного определения степени пучинистости» укрепленный грунт относится к непучинистым (ε_{fh}<0,01). Следовательно, процесс морозного пучения прекращен полностью.

Таким образом, грунты, подверженные морозному пучению, можно укреплять цементами низкой водопотребности с малым содержанием клинкера – ЦНВ-30.

Список литературы

1. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. – М.: Госстрой России, 2004. – 170 с.
2. Дружинин М.К., Горелик А.М. О глубине заложения фундаментов в пучинистых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1959, № 4. – С. 12-15.
3. Абжалимов Р.Ш., Головко Н.Н. Отчего вспучивается грунт? // Автомобильные дороги, 2008, № 11. – С. 102-107.
4. Хабибуллина И.Н., Бешенов М.Е., Гелеверя Т.И. Использование укрепленных грунтов для устройства противопучинистых слоев на автомобильных дорогах // Известия КГАСУ, 2011, № 2. – С. 257-261.
5. Методические рекомендации по применению ВНВ в монолитном дорожном бетоне. – М., Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт СОЮЗДОРНИИ, 1990. – 7 с.

Krasinikova N.M. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: knm0104@mail.ru
Khohryakov O.V. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: olvik@list.ru
Khozin V.G. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: khozin@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of cements of low water requirement on degree swellings of dusty soil

Resume

In many regions of Russia – in its European part and even in Siberia,– there is a large amount of dusty loams which are subject to frosty swelling. Usually, they are strengthened by inorganic knitting materials, traditionally by ordinary cement or slag cement.

The purpose of the study was the assessment of extent of swelling of the dusty adobe strengthened by cement (knitting) to low water requirement (CNV) on the basis of a cindery and slagwaste from hydrodumps and the evils ablations, the Okino-Klyuchevsky coals which were formed at burning in units of Gusinoozerskaya GRES in number of 16 % from weight of soil. Extent of frosty swelling determined by two methods:

1) on disperse composition of the initial and strengthened soil; definition of granulometric (grain) composition of clay soil and strengthened CNV-30 in number of 16 % from weight of soil determined by an areometrichesky method a way of measurement of density of suspension the areometer in the course of its upholding.

It is shown that after processing of soil of 16 % by structure CNV-30 subject to frosty swelling, there is an «oversanding» of dusty particles that, in turn, conducts to decrease and the complete termination to swelling of soil of a road bed.

2) on size of swelling of its surface at complete volume freezing (GOST 28622).

As a result after testing of unfortified soil the thickness of the chilled layer in a sample of soil exceeded 35 mm. At calculation, relative deformation of frosty swelling made 0,3 therefore dusty loam according to GOST 28622-90 is excessively bulking up.

Thus, soil strengthened by cement of low water requirement (16 % from weight of soil) after test had insignificant thickness of volume freezing – 8 mm. Calculation showed that relative deformation makes 0,009. Therefore, process of frosty swelling is stopped completely.

Thus, it is shown that it is possible to strengthen the soil subjects, exposed to frosty swelling, by cements of low water requirement with the small maintenance of a klinker – CNV-30.

Keywords: extent of swelling, dusty soil, cements of low water requirement.

References

1. Construction norms and regulations 2.05.02-85*. Highways. – M.: State Committee for Construction of Russia, 2004. – 170 p.
2. Druzhinin M.K., Gorelik A.M. About depth of an arrangement of the bases in bulking-up soil // the Bases, the bases and mechanics of soil, 1959, № 4. – P. 12-15.
3. Abzhalimov R.Sh., Golovko N.N. Why soil bulks up? // Highways, 2008, № 11. – P. 102-107.
4. Khabibullina I.N, Beshenov M.E., Geleverya T.I. The use of fortified soil layers for the device soil bulks up on highways // Proceedings of KGASU, 2011, № 2. – P. 257-261.
5. Methodical recommendations about CNV application in monolithic road concrete. – M.: State all-Union road research institute SOYUZDORNII, 1990. – 7 p.

УДК 666.973
Лесовик В.С. – доктор технических наук, профессор
E-mail: naukavs@mail.ru
Мосьпан А.В. – аспирант
E-mail: alexander.mospan@gmail.com
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес организации: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Конструкционно-теплоизоляционные прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях

Аннотация

Показано, что использование гранул, полученных на основе природных аморфных кремнеземсодержащих материалов и гидроксидов щелочных металлов в качестве заполнителей для силикатных бетонов, позволяет получать стеновые материалы пониженной плотности и теплопроводности. Они имеют замкнутую пористость и нечеткую границу раздела между заполнителем и матрицей, могут применяться в сейсмостойком строительстве и позволяют существенно облегчить вес строительных конструкций без снижения их теплоизолирующих и прочностных характеристик. За счет высокой адгезии к кладочным растворам рекомендуется их использование для сейсмостойкого строительства.

Ключевые слова: силикатный материал, активный гранулированный заполнитель, теплопроводность, стеновой материал, сейсмостойкое строительство.

С каждым годом в Российской Федерации и за рубежом наращиваются объёмы строительных, ремонтных и восстановительных работ. Значительная часть этих объёмов выполняется на территориях, опасных в сейсмическом отношении. Значительные средства затрачиваются также на восстановление зданий и сооружений, пострадавших от землетрясений, наводнений, оползневых явлений, военных действий и других стихийных бедствий.

Развитие методов, способов и средств обеспечения надежности зданий и сооружений в сейсмически опасных районах и снижение затрат, связанных с сейсмической опасностью, являются глобальной проблемой, решение которой имеет важное значение для науки и практики.

Известно, что кладка стен из каменных материалов и кирпича не обладает достаточным запасом прочности и несущей способности, поскольку является хрупким материалом, не способным к развитию пластических деформаций; силикатный кирпич имеет слабую адгезию к кладочным растворам. Поэтому даже незначительные перегрузки, а этот фактор типичен при любом землетрясении, весьма опасны для кладки стен из штучных материалов. При этом, если для стен зданий, возводимых в обычных регионах РФ, имеются отдельные рекомендации и нормативы по их проектированию [1, 2], то в действующем СНиП [3] конструкции стен для сейсмоопасных регионов РФ из штучных материалов не рассматриваются.

В условиях современного градостроительства особые требования предъявляются не только к прочностным показателям и архитектурно-декоративному внешнему облику зданий и сооружений, но и к их функциональным характеристикам. При этом особое внимание уделяется теплозвукоизоляционным материалам, используемым для создания внешних ограждающих стеновых конструкций, особенно для жилых и общественных зданий, где значительная часть всего веса здания приходится на долю этих конструкций. Поэтому в сейсмически опасных районах при проектировании зданий и сооружений, с одной стороны, необходимо максимально снизить вес ограждающих конструкций, а с другой, снижение веса не должно способствовать ухудшению таких важных характеристик, как сейсмостойкость зданий и сооружений.

Всесторонний анализ энергозатрат, экологических и потребительских факторов при производстве и эксплуатации стеновых материалов показывает привлекательность бесцементных силикатных бетонов автоклавного твердения на основе известково-песчаного вяжущего и кварцевого заполнителя. Силикатные строительные изделия не требуют высоких

энергозатрат при получении, по сравнению со строительными материалами на основе цемента, их недостатком является относительно высокая теплопроводность: при плотности 1930 кг/м^3 теплопроводность составляет 0,85-0,87 Вт/(м·К). Однако вопросам разработки недорогих искусственных заполнителей, способных существенно снизить теплопроводность силикатных материалов, уделяется недостаточно внимания.

Если для строительных материалов на основе цемента создана и применяется весьма обширная номенклатура природных и искусственных заполнителей с широким спектром потребительских свойств по экономичности, прочности, пористости, теплопроводности и др., то для силикатных материалов автоклавного твердения выбор весьма невелик. Известные легкие заполнители имеют чрезвычайно большое различие по физическим и химическим свойствам от силикатных матриц: коэффициенты термического расширения, водопоглощение и др. отличаются на порядок и более, что разупрочняет контактную зону «матрица-заполнитель» при эксплуатации и уменьшает атмосферостойкость стеновых изделий в целом. Используемые в настоящее время заполнители для силикатных стеновых материалов не защищают их от насыщения влагой. Сорбционная влажность таких стеновых материалов достигает 8-12 мас. % и существенно ухудшает их теплоизолирующие свойства при эксплуатации.

Нами предлагаются силикатные строительные материалы, включающие активные гранулированные безобжиговые заполнители (АГЗ). АГЗ вводились в состав песчано-известковых сырьевых смесей перед прессованием силикатного кирпича [4-8]. АГЗ состоят из природного сырья, содержащего аморфный кремнезем (опока, перлит, трепел и др.) и щелочь в соотношении 5 к 1, т.е. ядра гранул имеют силикатный модуль, равный 5. Защитная оболочка вокруг ядра гранулы, состоящая из молотой извести и кремнефтористого натрия, не позволяет водорастворимому гидроксиду щелочного металла выйти из гранулы при приготовлении силикатной смеси и формовании изделий. Кремнефтористый натрий обеспечивает достаточную водостойкость АГЗ.

Таблица 1

№ п.п.	Наименование сырья	Средняя плотность, кг/м^3	Насыпная плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа	Растворимость при автоклавной обработке, %
1.	Перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия)	780	705	8,7	92,9
2.	Опока Коркинского месторождения, Челябинская обл.	810	720	10,7	89,1
3.	Цеолит Хотынецкого месторождения, Орловская обл.	890	810	9,6	88,9
4.	Трепел Фокинский, Брянская обл.	840	762	9,8	88,2
5.	Цеолитсодержащий туф, Мухор-Талинское м-е	850	774	9,6	93,4
6.	Бой зеленого тарного стекла, г. Воронеж	890	822	7,2	91,6
7.	Перлит вспученный	570	507	7,8	94,8
8.	Песок кварцевый, Безлюдовское м-е	920	840	7,1	89,2

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики гранул, полученных с использованием различных кремнеземсодержащих сырьевых материалов. Полученные данные свидетельствуют о том, что предлагаемые гранулы по своим показателям могут применяться в качестве заполнителей для силикатных изделий автоклавного твердения.

Способность гранул выделять водорастворимые активные соединения, проникающие в силикатную матрицу, оценивалась по потере массы гранул до и после автоклавной обработки.

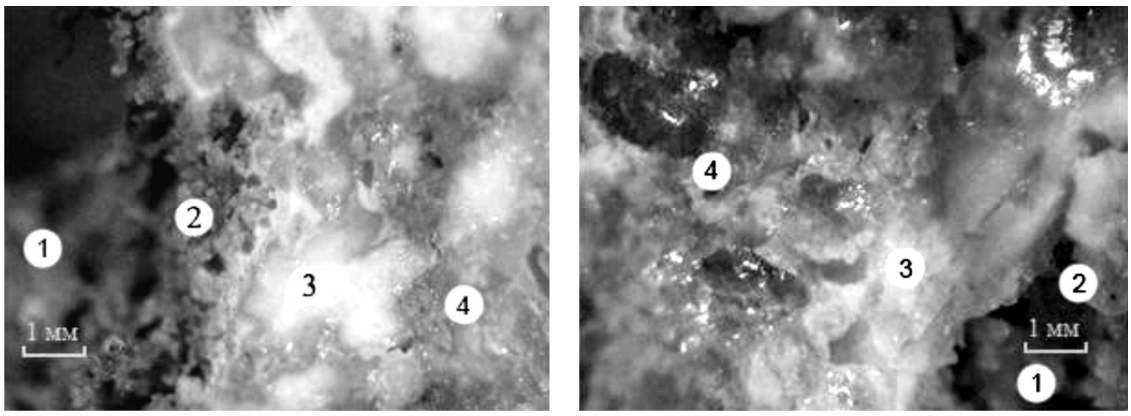
Полученные гранулы вводились в силикатную смесь в различном процентном соотношении, затем методом прессования формовались образцы, которые помещались в автоклав и выдерживались при давлении водяного пара 1 МПа и температуре 178 ^{o}С в течение 8 часов. Оценивалась возможность уменьшения продолжительности

изотермической выдержки при автоклавной обработке силикатных изделий с активными гранулированными заполнителями.

При автоклавной обработке силикатных изделий аморфный кремнезем реагирует со щелочью с образованием водорастворимых силикатов, которые переходят в матрицу, обогащая ее активными компонентами, существенно ускоряя процессы минералообразования. На месте АГЗ остается водонепроницаемая пора с незначительным количеством непрореагировавшего материала (см. рис.).

Анализируя свойства полученных силикатных материалов (табл. 2), следует отметить их низкую теплопроводность и относительно высокие значения прочности при изгибе. Силикаты натрия, выделяющиеся при автоклавной обработке из АГЗ, пропитывают матрицу, связывают портландит, залечивают микродефекты и неорганизованные поры силикатного материала, вдвое повышают значения коэффициента конструктивного качества полученных строительных изделий. Отсутствие свободного портландита благоприятно сказывается на повышении водостойкости полученных изделий (табл. 2), которая превышает значение 0,8, поэтому по этому параметру наш силикатный материал составит достойную конкуренцию керамическому кирпичу.

Ранее нами делались попытки вводить порошковый аморфный кремнезем в сырьевые силикатные смеси при формовании силикатного кирпича для интенсификации процессов минералообразования и повышения его прочности, однако при автоклавной обработке аморфный кремнезем переходил в опаловые сферические образования, а существенного повышения прочности силикатных материалов отмечено не было.



а) б)

Рис. Микрофотографии контактного слоя активных гранул на основе опоки (а) и перлита (б) с матрицей.
Обозначения: 1 – поровое пространство, 2 – остатки порообразующего состава гранул,
3 – переходный слой гранулы и силикатной матрицы, 4 – силикатная матрица.
Съемка образцов производилась на поляризационном микроскопе ПОЛАМ Р-312

Силикатный материал с АГЗ имеет большую прочность сцепления с цементным кладочным раствором, т.к. прореагировавшие гранулы делают поверхность силикатного кирпича более шероховатой со сферическими кавернами, что облегчает и процесс штукатурки стен. За счет насыщения силикатной матрицы гидросиликатами натрия происходят дальнейшие преобразования минеральной структуры полученного строительного материала в процессе эксплуатации в сторону упрочнения: приведенные в таблице значения по прочности увеличиваются на 10-15 %.

Исследование кинетики взаимодействия материалов ядра гранул АГЗ разного состава в процессе автоклавной обработки образцов стеновых изделий при изотермической выдержке при давлении 1 МПа и температуре 178 °С показывает, что предварительная механоактивация материала ядра гранул эффективна при использовании только кристаллических компонентов – песка, при использовании же аморфных кремнеземов: перлита, опоки, трепела и др. – механоактивация не приносит

существенного ускорения процессов образования гидросиликатов натрия и зависит в основном от дисперсности частиц аморфного кремнезема. Следует отметить, что резкое ускорение процесса растворения кремнезема отмечается лишь в первые два часа автоклавирования, при этом реакция идет за счет наличия частиц с поврежденной кристаллической структурой, что подтверждают кривые РФА, либо при наличии особо тонкодисперсных частиц. С течением времени характер взаимодействия кремнезема со щелочными гидроксидами приобретает монотонно-замедленный характер.

За счет ввода АГЗ в силикатном материале формируется организованная пористость, поры играют роль демпферов: они не дают развиваться продольным и поперечным трещинам, способствуют получению более монолитной матрицы. В целом же средняя плотность материала снижается и может достигнуть величины 650 кг/м^3. Сочетание величины средней плотности материала ниже 1000 кг/м^3 и наличие замкнутой, водонепроницаемой пористости позволило получить силикатный материал с пониженной в три раза, по сравнению с традиционным силикатным кирпичом, теплопроводностью.

Таблица 2

№ смеси	Мас. % гранулированного заполнителя на основе:	Удельная поверхность порошкового материала ядра перед грануляцией, м^2/кг	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Водостойкость, относительная потеря прочности после 25 циклов замачивания	Предел прочности при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Общая пористость, %	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м^3
1	0	-	0,76	0,74	28,4	3,86	27,2	21,3	1880
2	15, трепел	250	0,66	0,77	28,3	4,32	38,8	18,8	1705
3	25, трепел	300	0,52	0,81	24,8	5,21	50,8	14,3	1460
4	25, опока	300	0,53	0,80	24,6	5,28	50,4	14,7	1475
5	40, трепел	250	0,23	0,88	22,5	4,31	57,7	11,2	1010
6	40, природный перлит	250	0,25	0,85	21,9	4,81	57,2	10,8	910
7	45, вспученный перлит	250	0,24	0,86	22,1	4,11	59,8	9,1	885

Строительное материаловедение, а также геоника большое внимание уделяют созданию новых высокопрочных, умных материалов – бетонов и силикатов [9]. У них должна быть упорядоченная регулируемая структура, формируемые новообразования обладают высокой прочностью и низкой теплопроводностью, обладать способностью самозалечивать дефекты структуры и ликвидировать разупрочняющую пористость. Этими свойствами обладают полученные нами силикатные изделия строительного назначения за счет использования АГЗ на стадии их изготовления и автоклавной обработки.

Таким образом, учитывая повышенные конструктивные показатели новых силикатных изделий, возможность облегчить вес строительных конструкций на 35-40 % без снижения их теплоизолирующих и прочностных характеристик, за счет высокой адгезии к кладочным растворам и т.д., рекомендуется их использование для сейсмостойкого строительства, в том числе и в условиях Крайнего Севера.

Новизна решений по формированию систем закрытой пористости в силикатных бесцементных материалах автоклавного твердения отмечена 5 патентами РФ.

Список литературы

1. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 1992.
2. СНиП РК 5.02-02-2010. Каменные и армокаменные конструкции.
3. СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах.
4. Пат. № 2361838 РФ, МПК[8] С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе кварцевого песка, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2007142320/03; заявл. 15.11.2007 г.; опубл. 20.07.2009 г., Бюл. № 20. – 10 с.
5. Пат. № 2361839 РФ, МПК[8] С 04 В 28/18. Гранулированный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе кремнистых цеолитовых пород, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М., Лесовик Р.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2007142318/03; заявл. 15.11.2007 г.; опубл. 20.07.2009 г., Бюл. № 20. – 10 с.
6. Пат. № 2365555 РФ, МПК[8] С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе трепела, диатомита и опоки, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М., Лесовик Р.В., Ходыкин Е.И.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2007142319/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 27.08.2009г., Бюл. № 24. – 12 с.
7. Пат. № 2365556 РФ, МПК[8] С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе перлита, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Гридчин А.М., Строкова В.В., Лесовик Р.В., Мосьпан А.В., Воронцов В.М.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2007142316/03; заявл. 15.11.2007 г.; опубл. 27.08.2009 г., Бюл. № 24. – 7 с.
8. Пат. № 2433976 РФ, МПК[8] С 04 В 28/18. Способ изготовления гранулированного заполнителя для силикатных изделий автоклавного твердения / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Лесовик Р.В., Воронцов В.М.; Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2010119770/03; заявл. 17.05.2019 г.; опубл. 20.11.2011 г., Бюл. № 32. – 7 с.
9. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова В.Г., 2012. – 213 с.
10. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С. и др. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова В.Г., 2008. – 595 с.

Lesovik V.S. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: naukavs@mail.ru
Mospan A.V. – post-graduate student
E-mail: alexander.mospan@gmail.com
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
The organization address: 308012, Russia, Belgorod, Kostukova st., 46

Load-bearing structural insulating material with granulated filler for earthquake resistant building

Resume

Using of pellets, derived from natural materials and amorphous silica-alkali metal hydroxides as placeholders for silicate concrete, produces wall materials of low density and thermal conductivity. They have a closed porosity and fuzzy interface between the filler and the matrix can be used in earthquake-resistant construction, and greatly simplify the weight of building structures without reducing their insulating and strength characteristics. Due to the high adhesion to mortar recommended their use in earthquake engineering, including in the Far North. It should be noted the low thermal conductivity of the resulting silicate material and relatively high flexural strength. Sodium silicates released during autoclaving of the proposed aggregate impregnated matrix connecting Portland, heal microdefects and fugitive pore silicate material, doubles the values of the structural quality of building products. Due to the introduction of the developed aggregate in the silicate material formed organized porosity, pore act as shock absorbers: it do not develop the longitudinal and transverse cracks, which would produce a solid matrix. In general, the average density of the material is significantly reduced.

Keywords: silicate material, active granular filler, thermal conductivity, walling material, earthquake resistant building.

References

1. Recommendations for use of small wall blocks from cellular concrete. CNIISK named after V.A. Kucherenko. – Moscow, 1992.
2. SNiP RK 5.02-02-2010. Reinforced masonry structures.
3. SNiP RK 2.03-30-2006. Construction in seismic regions.
4. The patent № 2361838 RF, MPK[8] C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products on the basis of quartz sand, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142320/03; it is declared 15.11.2007; it is published 20.07.2009, The bulletin. № 20. – 10 p.
5. The patent № 2361839 RF, MPK[8] C 04 B 28/18. Granular aggregate for the silicate wall products on the basis of siliceous zeolite rocks, the composition of raw mix for the production of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142318/03; it is declared 15.11.2007; it is published 20.07.2009, The bulletin. № 20. – 10 p.
6. The patent № 2365555 RF, MPK[8] C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products on the basis of tripoli, diatomaceous earth and mold, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V., Khodykin E.I.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142319/03; it is declared 15.11.2007; it is published 27.08.2009, The bulletin. № 24. – 12 p.
7. The patent 2365556 RF, MPK[8] C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products based on perlite, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142316/03; it is declared 15.11.2007; it is published 27.08.2009, The bulletin. № 24. – 7 p.
8. The patent № 2433976 RF, MPK[8] C 04 B 28/18. Method of manufacturing granular filler for silicate materials / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2010119770/03; it is declared 17.05.2019; it is published 20.11.2011, The bulletin № 32. –7 p.
9. Lesovik V.S. Geonic. subject matter and objectives/ V.S. Lesovik // – Belgorod. BSTU named after V.G. Shukhov – 2012. – 213 p.
10. Gridchin A.M., Bazhenov Yu.M., Lesovik V.S. etc. Building materials for extreme environment. – Belgorod. BSTU named after V.G. Shukhov – 2008. – 595 p.

УДК 678.643.425.033:620.193.8
Строганов В.Ф. – доктор химических наук, профессор
E-mail: svf08@mail.ru
Куколева Д.А. – ассистент
E-mail: daria-zd@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Лыгина Т.З. – доктор геолого-минералогических наук, профессор
Шинкарёв А.А. – кандидат геолого-минералогических наук
ЦНИИ Геолнеруд
Адрес организации: 420015, Россия, Казань, ул. Зинина, 17

Исследование продуктов взаимодействия модельной и биологически-активной сред с цементным раствором

Аннотация

Работа посвящена исследованию взаимодействий цементно-песчаного раствора с биологически-активной и модельной средами. Методом ИК-спектрального анализа установлены изменения, происходящие в растворах карбоновых кислот. С помощью рентгенофазового анализа изучены процессы, происходящие в цементно-песчаном растворе при экспозиции в биологически-активной и модельной средах. Проведенные исследования позволили установить идентичность происходящих процессов, что подтверждается схожестью дифракционных картин по фазовому составу продуктов взаимодействия.

Ключевые слова: модельная среда, цементно-песчаные растворы, карбоновые кислоты, ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ.

В настоящее время проблема биологического повреждения строительных материалов, изделий и конструкций приобретает глобальное значение, а ее исследование становится все более актуальным.

Широко известен тот факт, что биоповреждению подвергаются все строительные материалы и изделия. Однако, стоит отметить, что воздействие грибов на материалы может быть как прямым, так и косвенным.

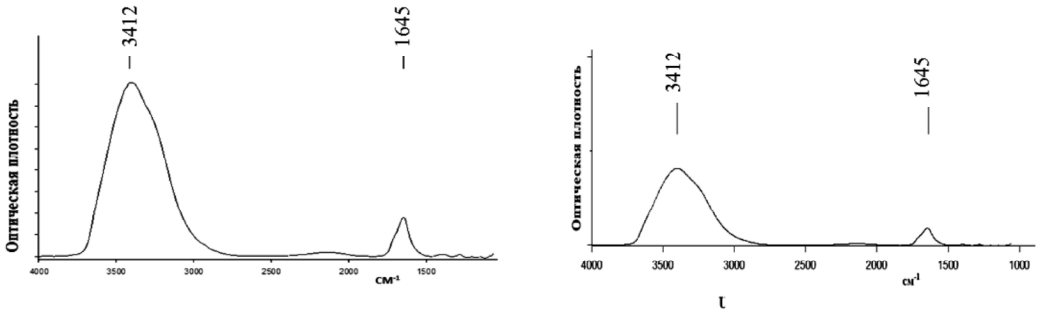
При прямом воздействии материалы используются в качестве источников углерода или других питательных веществ. Прямое воздействие имеет место при развитии грибов на бумаге, текстильных изделиях, коже, шерсти, древесине.

При косвенном воздействии (это касается минеральных, полимерных и других строительных материалов) на объект влияют продукты метаболизма микроорганизмов. В этом случае, главную роль играют ферменты и органические кислоты, продуцируемые грибами. Кислоты действуют на материалы как агрессивная среда, кроме того, они могут служить источником углерода для микроорганизмов. Большинство изученных видов грибов выделяет в среду широкий спектр органических кислот, среди которых присутствуют представители всех трех классов основности (одно-, двух- и трехосновные) [1].

Поэтому при разработке метода оценки биостойкости строительных материалов в модельных средах [2] выбраны представители каждого класса основности: одноосновная – уксусная, двухосновная – щавелевая (как наиболее агрессивная по отношению к материалам, и наиболее распространенная среди метаболитов микроорганизмов; другое название этой кислоты – лишайниковая), трехосновная – лимонная.

С целью определения влияния карбоновых кислот и их смесей на взаимодействие модельных сред с цементно-песчаным раствором проведено комплексное исследование данных процессов методами ИКС и РФА.

С помощью ИК-спектрального анализа [3] изучены процессы, происходящие в модельной среде (рис. 1 а, б).



а) б)

Рис. 1. ИК-спектры модельной смеси до (а) и после (б) взаимодействия с цементно-песчаным раствором

Как можно видеть из приведенных на рисунке спектров, после взаимодействия модельной среды с образцами цементно-песчаного раствора, интенсивность отражений характеристических полос значительно снижается, что свидетельствует о происходящих изменениях в модельной среде.

Дополнительно для изучения происходящих процессов нами проведено рентгенографическое исследование серии образцов ЦПР до и после испытаний в модельной среде.

С этой целью изучены рентгенограммы компонентов, входящих в состав ЦПР, образцов ЦПР до и после экспозиции в биологически-активной и модельной среде.

Исходный песок на 97 % состоит из кварца и на 3 % из полевых шпатов (алюмосиликатов калия и натрия). Это подтверждается рентгенограммой (рис. 2), на которой наблюдаются сильные отражения кварца (0,426 нм; 0,343 нм; 0,245 нм; 0,228 нм; 0,213 нм; 0,198 нм; 0,182 нм; 0,167 нм; 0,154 нм; 0,142 нм), а также слабые отражения алюмосиликатов натрия (0,319 нм) и алюмосиликатов калия (0,324 нм).

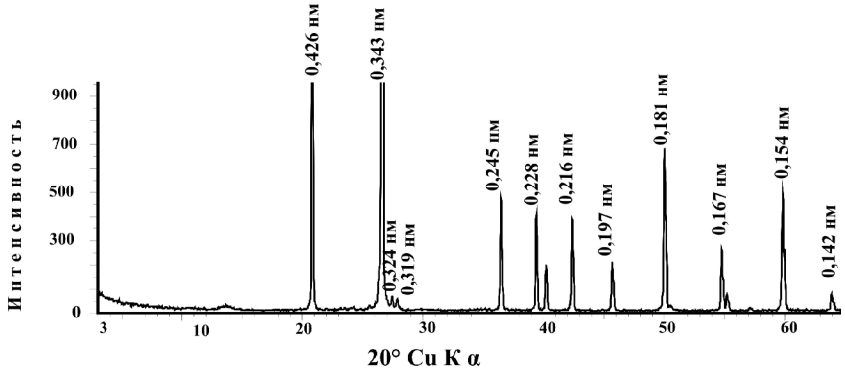


Рис. 2. Рентгенограмма используемого кварцевого песка

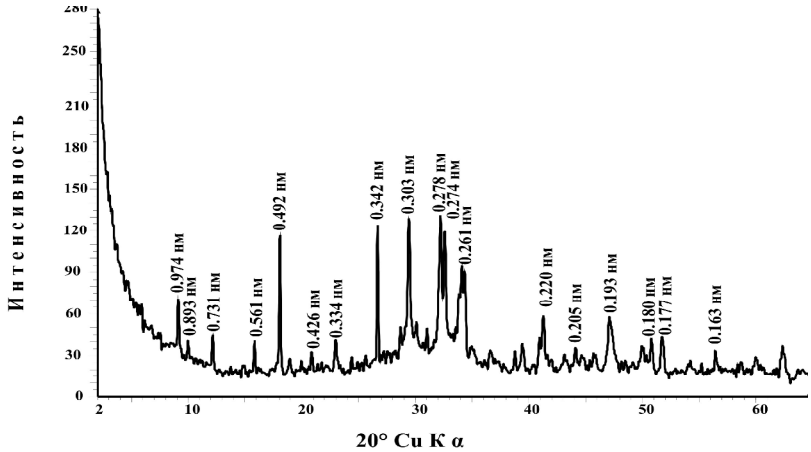


Рис. 3. Рентгенограмма гидратированного цемента

Известно, что цементный клинкер состоит из четырех основных фаз:

Алит является наиболее важной составляющей всех цементных клинкеров; содержание его составляет 50-70 %. Это трехкальциевый силикат, Ca_3SiO_5, состав и структура которого модифицированы за счет размещения в решетке инородных ионов.

Содержание **белита** для нормальных цементных клинкеров составляет 15-30 %. Это двукальциевый силикат Ca_2SiO_4, модифицированный введением в структуру инородных ионов и обычно полностью или большей частью присутствующий в виде β-модификации.

Содержание **алюминатной фазы** составляет 5-10 % для большинства нормальных цементных клинкеров. Это трехкальциевый алюминат $Ca_3Al_2O_6$, существенно измененный по составу, а иногда и по структуре, за счет инородных ионов, особенно Si^4, Fe^{3+}, Na^+ и K^+.

Ферритная фаза составляет 5-15 % обычного цементного клинкера. Это – четырехкальциевый алюмоферрит Ca_2AlFeO_5, состав которого значительно меняется при изменении отношения Al/Fe и размещении в структуре инородных ионов [4].

После гидратации цементного клинкера на рентгенограмме (рис. 3) присутствуют отражения алита 0,303 нм; 0,275 нм; 0,220 нм, белита (трехкалициевого силиката) в области 0,278 нм, портладита – 0,492 нм; 0,261 нм; 0,193 нм; 0,180 нм, броунмиллерита – 0,731 нм; 0,205 нм, а также эттрингита – 0,974 нм; 0,893 нм; 0,561 нм.

При изготовлении образцов цементно-песчаного раствора цемент и строительный песок смешивались в соотношении 1:3 при водно-цементном соотношении 0,6.

На рентгенограмме образцов цементно-песчаного раствора до взаимодействия с агрессивными средами (рис. 4) отмечены следующие отражения: кварц (0,426 нм; 0,2457 нм; 0,228 нм; 0,224 нм; 0,213 нм; 0,154 нм), броунмиллерит (0,725 нм; 2,049 нм), и более слабые отражения алита (0,304 нм; 0,271 нм; 0,176 нм), белита (0,277 нм), эттрингита (0,9751 нм; 0,560 нм) и портландита (0,492 нм; 0,263 нм) по сравнению с цементным камнем (рис. 4).

Таким образом, дифракционная картина образцов ЦПР ожидаемо содержит те же элементные фазы, что и у исходных компонентов. Однако, необходимо отметить, что интенсивность отражения цементных фаз в случае ЦПР заметно ниже по сравнению с цементным камнем.

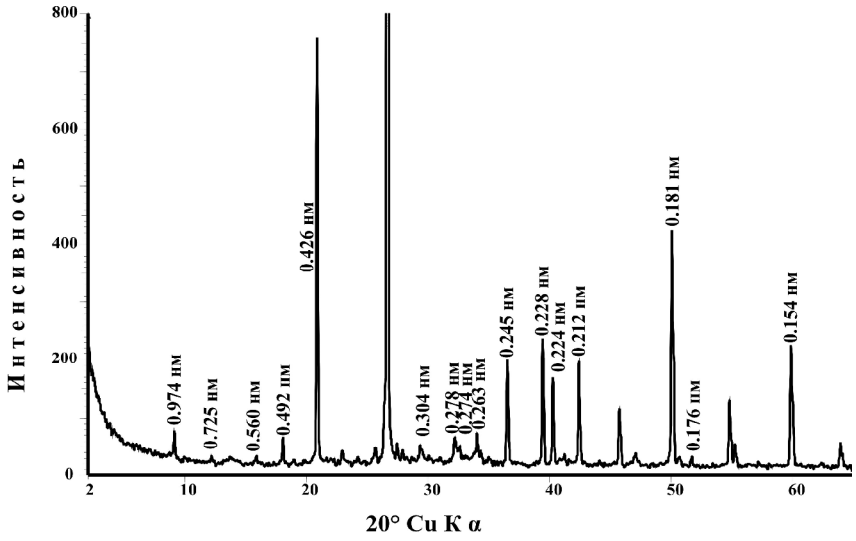


Рис. 4. Рентгенограмма исходного ЦПР

Анализ рентгенограмм (рис. 5) показал, что после взаимодействия образцов ЦПР с агрессивными средами (в обоих случаях) происходит снижение интенсивности отражений так называемых цементных фаз (алита, белита, эттрингита и броунмиллерита). Однако, на наш взгляд, более наглядно происходящие процессы проявляются в снижении интенсивности отражений портландита и появлении отражений кальцита.

Так, на рентгенограммах образцов ЦПР до взаимодействия с агрессивными средами обнаружены отражения портландита – $Ca(OH)_2$ (d = 0,492 нм; 0,263 нм; 0,197 нм) и отсутствие отражений кальцита – $CaCO_3$.

В свою очередь, на рентгенограммах образцов ЦПР после экспозиции в БАС и модельной среде присутствуют отражения кальцита (d = 0,386 нм; 0,303 нм; 0,263 нм; 0,1604 нм) и очень слабые отражения портландита. Появление отражений кальцита на рентгенограммах в случаях взаимодействия со средами свидетельствует о происходящих процессах изменения фазового состава ЦПР.

Несмотря на различие в интенсивностях отражений кальцита после испытания ЦПР в аэротенках в модельной среде в лабораторных условиях, можно сделать вывод о идентичности протекающих процессов взаимодействия исследуемого материала с БАС и модельной средой, что подтверждено схожестью дифракционных картин по фазовому составу.

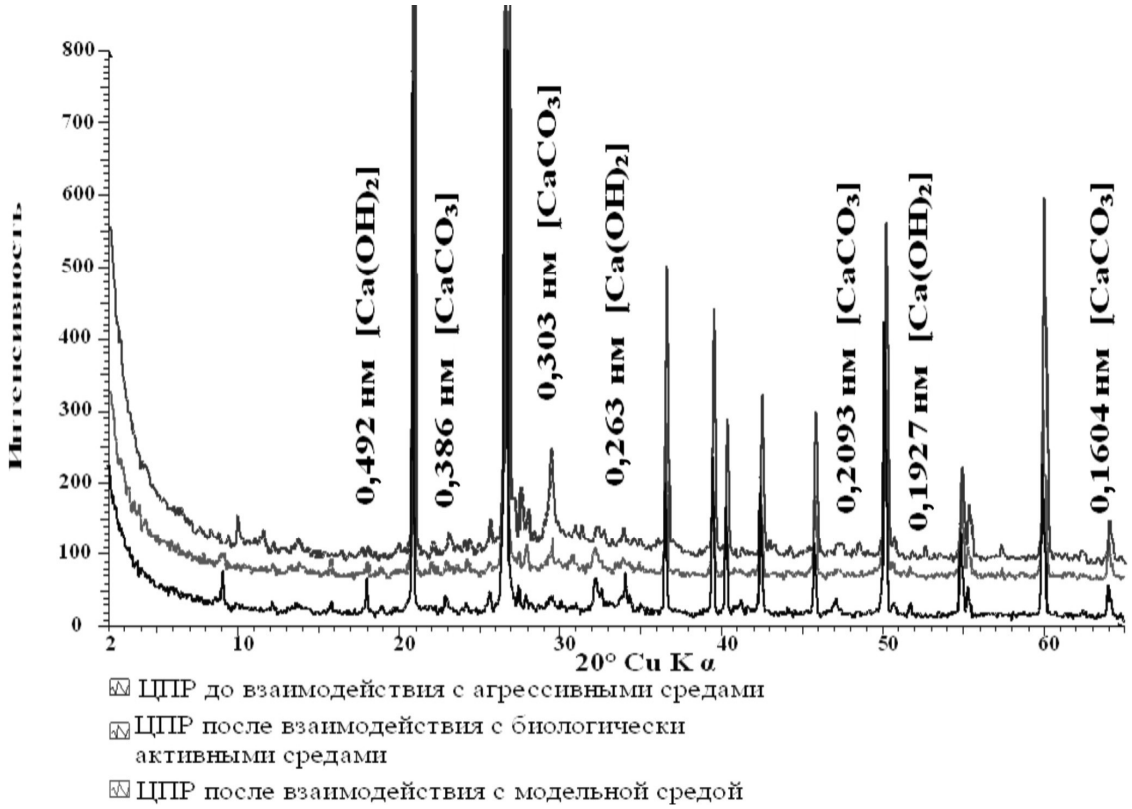


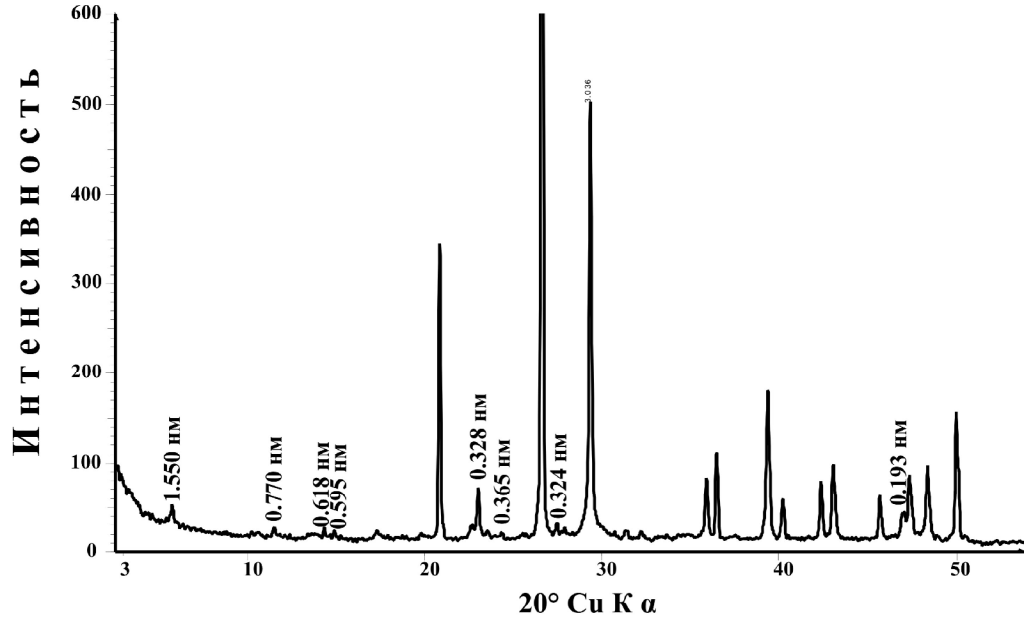
Рис. 5. Рентгенограммы ЦПР до и после взаимодействия с модельной средой

Дополнительно проведено исследование продуктов взаимодействия ЦПР со смесью карбоновых кислот, проведены рентгенографические и ИК-спектральные исследования осадка, образовавшегося при экспозиции образцов.

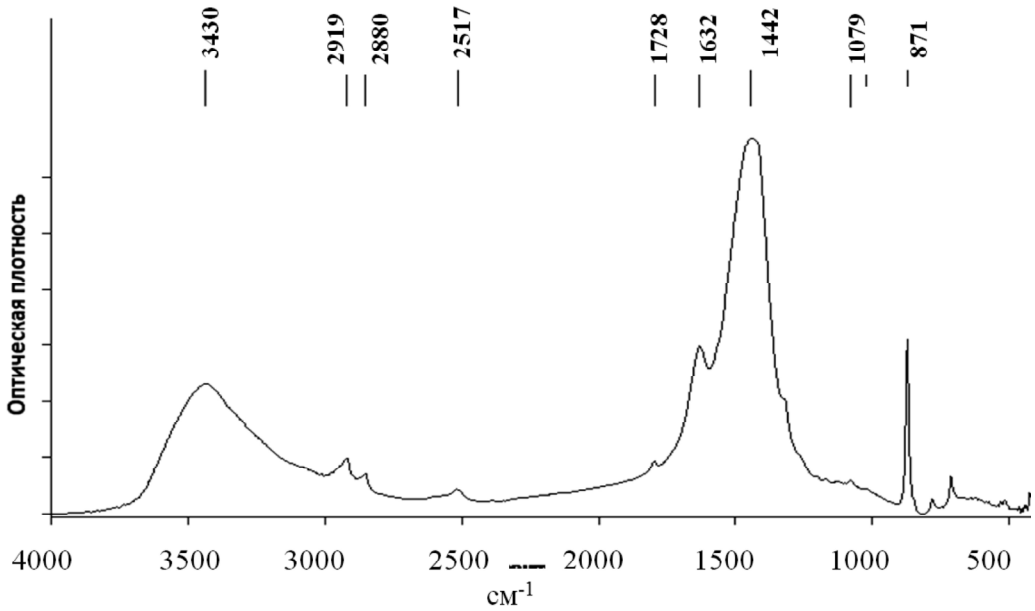
На рентгенограмме (рис. 6а), как и следовало ожидать, присутствуют отражения цитратов (1,550 нм; 0,770 нм), вевеллита (0,596 нм; 0,365 нм), ведделита (0,618 нм; 0,324 нм) и кальцита (0,387 нм; 0,193 нм) и незначительные отражения алюминтных фаз.

Исследования рентгенофазового анализа подтверждают и ИК-спектральные исследования (рис. 6 б).

Данные ИК-спектрометрии показали преобладание насыщенных структур в виде CH, CH_2 и CH_3 (полосы в области 3000 –2800 $см^{-1}$, 1465, 1378 $см^{-1}$) и групп CH_2, (полоса 720 $см^{-1}$довольно слабо выраженная). Для исследуемого осадка характерно значительное содержание кислородных соединений с группами C=O, COOH и OH (полосы 1715 $см^{-1}$).



а)



б)

Рис. 6. Рентгенограмма (а) и ИК-спектр (б) осадка,
образовавшегося при взаимодействии ЦПР с модельной средой

Стоит отметить, что полученные результаты ИК-спектрального анализа подтверждают результаты рентгенографического исследования.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить идентичность воздействия на образцы ЦПР микроорганизмов, содержащихся в аэротенках, и среды, моделирующей продукты их жизнедеятельности, что подтверждает правомерность и обоснованность разработанного лабораторного метода оценки биостойкости строительных материалов в модельных средах.

Список литературы

1. Куколева Д.А. Оценка биостойкости цементных растворов и эпоксидных полимеров в модельных средах // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – Казань, 2012. – 21 с.
2. Строганов В.Ф., Куколева Д.А. Методика испытаний минеральных строительных материалов на биостойкость // Известия КГАСУ, 2011, № 3 (17). – С. 150-156.
3. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Закиев Р.Б. Промышленный метод испытания строительных материалов на биостойкость // Известия КГАСУ, 2011, № 4 (18). – С. 268-273.
4. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С. Справочник по строительным материалам и изделиям – М.: Феникс, 2008 . – 443 с.

Stroganov V.F. – doctor of chemical sciences, professor
E-mail: svf08@mail.ru
Kukoleva D.A. – assistant
E-mail: daria-zd@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Lygina T.Z. – doctor of geological-mineralogical sciences, professor
Shinkarev A.A. – candidate of geological-mineralogical sciences
CNII Geolnerud
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zinina st., 17

Integrated research process biological damage mineral building materials

Resume

In order to determine the effect of carboxylic acids and their mixtures on the interaction model of media with a cement-sand mortar conducted a comprehensive study of these processes. By IR spectral analysis revealed that after the interaction of a model medium with samples of the cement-sand mortar, the intensity of the reflections of the characteristic bands is significantly reduced, indicating that the changes occurring in the model environment. In addition to study of the processes we have carried out X-ray study of a series of samples before and after the CSG test in a model environment. For this purpose, studied X-ray components that make up the CSG, CSG samples before and after exposure to biologically active and modeling environment. The x-ray samples of CSG before the interaction with aggressive media found portlanit reflection and the absence of reflections of calcite. In turn, the diffraction patterns after exposure to the CSG and BAM model environment there are reflections of calcite and very weak portlandit reflections. The appearance of the X-ray reflections of calcite in the case of interaction with environments suggests ongoing processes of change of phase of CSG. Despite the difference in the intensities of reflections of calcite after BAM testing in the aeration tanks in a model environment in the lab, we can conclude that the identity of the running processes of interaction of the investigated material with BAM and modeling environment, which is confirmed by the similarity of the diffraction patterns of phase composition.

Keywords: modeling medium, cement-sand grout, carboxylic acids, IR-spectroscopy, X-ray phase analysis.

References

1. Kukoleva D. Evaluation of biological stability of cement mortars and epoxy polymers in model media // Ph. d. thesis. on comp. ph.d. degree. technical sciences. – Kazan, 2012. – 21 p.
2. Stroganov V.F., Kukoleva D. Methods of test for mineral building materials biopersistence // Proceedings of KSUAE, 2011, № 3 (17). – P.150-156.
3. Stroganov V.F., Kukoleva D., Zakiev R.B. Method of test building materials on biodeterioration // Proceedings of KSUAE, 2011, № 4 (18). – P. 268-273.
4. Osnovin V.N., Shuliak L, Dubyago D.S. Handbook of building materials and products – M.: Phoenix, 2008. – 443 p.

УДК 691.33
Гришин И.В. – аспирант
E-mail: il6357@yandex.ru
Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор
E-mail: kayumov@rambler.ru
Иванов Г.П. – кандидат технических наук, доцент
E-mail: ivanovGPI@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К определению температурного поля в покрытии металлического моста с ортотропной плитой

Аннотация

В статье представлен анализ формы и изменения температурного поля в принятом типе покрытия металлического моста с ортотропной плитой, путём создания численной модели. Была сделана попытка выявить зависимость изменения температуры в покрытии от условий изменения окружающей среды и получить путём регрессии функцию, описывающую эту температурную кривую, для её применения в дальнейшем при определения НДС.

Ключевые слова: температурные условия, асфальтобетонные покрытия, численное моделирование, температурная кривая.

О необходимости и возможности применения конечно-элементной модели

Известно, что в асфальтобетонных покрытиях мостов появляются температурные напряжения, что отражено в работах [1, 2, 3]. Эти напряжения являются, во-первых, следствием разности коэффициентов температурного расширения-сжатия материалов пролётного строения и асфальтобетона, а, во-вторых, следствием неравномерности температурного поля по толщине покрытия. Вклад обоих факторов необходимо определить, таким образом появляется задача определения формы температурного поля в покрытии. Ниже будет рассмотрено решение этой задачи для металлических мостов с ортотропной плитой. В этом случае конструкцию можно рассматривать как бесконечную многослойную плиту, а определение формы температурного поля сводится к решению системы известных уравнений теплопроводности, что в случае аналитического решения сопряжено с большими математическими трудностями. Исходя из этого, мы приходим к необходимости численного решения, которое, в частности, можно получить в программном комплексе ANSYS 12.0. Для апробации модели была создана плоская двухмерная модель (учитывающая толщину и длину выбранного участка) однослойной асфальтобетонной плиты. Такая модель позволяет предварительно рассмотреть характер изменения температуры, проверить сходимость численного решения с аналитическим. Модель создавалась путём твердотельного моделирования. Толщина асфальтобетонной плиты была выбрана равной 0,1 м. Участок плиты был выбран также длиной 0,1 м. Параметры материала использовались следующие: темплоёмкость $c = 1670\ \frac{Дж}{кг\cdot℃}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 1{,}05\ \frac{Вт}{м\cdot℃}$, удельная масса $\rho = 2120\ \frac{кг}{м^3}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 34\ \frac{Вт}{м^2\cdot℃}$. Использовался плоский 4-х узловой элемент PLANE55 (Quad 4node 55), имеющий в качестве степеней свободы в узлах температуру (TEMP). Начальные и граничные условия были следующими: начальная температура одинакова во всей плите и равна 2 °С; постоянные (stepped load) граничные условия с температурой -8 °С. Конвективная температурная нагрузка на узлы модели прикладывалась к двум параллельным сторонам плиты, соответствующим её свободным поверхностям, и моделировала теплопроводность, происходящую по закону Ньютона-Рихмана, т.е. через коэффициент теплоотдачи. Использовалась сетка 10х10 элементов (сторона элемента 0,01 м) и сетка в два раза мельче – 20х20 элементов (сторона элемента 0,005 м) и было выявлено, что в указанных пределах крупность сетки существенного влияния не оказывает. Полученное численное решение сравнивалось с аналитическим решением при таких же граничных условиях.

Аналитическое решение для однослойной плиты получается из решения уравнения теплопроводности в предположении независимости теплофизических характеристик асфальтобетона от температуры и координат:

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2},$$

где $T(x,\tau)$ – температурная функция, при x, изменяющемся в промежутке $[-R;R]$;

$R = 0{,}05$ *м* – расстояние от середины до края плиты;

$a = \frac{\lambda}{c\cdot\rho}$ – коэффициент температуропроводности, равный $3\cdot10^{-7}\ \frac{м^2}{с}$.

$T(x,0) = T_0 = 2$ °C – начальное условие.

$-\lambda\frac{\partial T(R,\tau)}{\partial x} + \alpha[T_c - T(R,\tau)] = 0$ и $\lambda\frac{\partial T(-R,\tau)}{\partial x} + \alpha[T_c - T(-R,\tau)] = 0$ – краевые условия, где $T_c = -8$ °C – температура окружающей среды, постоянная во времени.

Данное уравнение может быть решено методом Фурье. Решение согласно [4] имеет вид:

$$T(x,\tau) = T_c - (T_c - T_0)\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n\cos\mu_n}\cos(\mu_n\frac{x}{R})\exp\left(-{\mu_n}^2\frac{a\tau}{R^2}\right),$$

где μ_n – коэффициент, являющийся решением уравнения $ctg\mu_n = \frac{1}{Bi}\mu_n$, принимающий бесчисленное множество значений. Для каждого члена ряда используется своё значение μ_n.

$Bi = \frac{\alpha}{\lambda}R$ – критерий Био, равный 1,62.

Было использовано 6 членов в ряде и 6 соответствующих им значений μ_n, взятых из [4] для данного значения Bi:

Таблица 1

μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6
0,9882	3,5422	6,5097	9,5801	12,6841	15,8026

В табл. 2 показаны результаты численного и аналитического решений. Предполагается, что начало координат находится в середине плиты, а ось x направлена по нормали к плоскости свободной поверхности. Можно видеть, что в начальный момент времени (0 секунд), в середине плиты ($x = 0$ *м*) сходимость решения не очень хорошая. Однако это характерно только для сходимости к начальным условиям, и со временем сходимость улучшается, а исходя из результатов, представленных в табл. 2, не превышает 0,3 °C. В условиях решаемой задачи по определению напряжённо-деформированного состояния мостового полотна первоначально можно допустить максимальную разность результатов (точность решения) 1-1,5 °C, не опасаясь появления серьёзных ошибок в решении.

Выбор параметров для построения модели в ANSYS

На основе вышеописанных результатов в программном комплексе ANSYS 12.0 была построена модель конструкции мостового полотна металлического моста с ортотропной плитой. При этом была выбрана следующая конструкция мостового полотна: двухслойный асфальтобетон общей толщиной 0,1 м; защитно-сцепляющий слой толщиной 0,005 м из изопласта или мостопласта; металлический настил толщиной 0,01 м.

Предполагалось, что эта конструкция соответствует указанной в табл. 1 (1 пункт) [5]. Влияние рёбер жесткости не учитывалось. Для данных материалов принимались следующие физико-механические характеристики (Real constants):

- *Асфальтобетон*: теплоёмкость – $c = 1{,}67\cdot10^3\ \frac{Дж}{кг\cdot°C}$; коэффициент теплопроводности – $\lambda = 1{,}05\ \frac{Вт}{м\cdot°C}$; коэффициент теплоотдачи – $\alpha = 34\ \frac{Вт}{м^2\cdot°C}$; удельная масса – $\rho = 2120\ кг/м^3$.

- *Защитно-сцепляющий слой* (при назначении характеристик защитно-сцепляющего слоя предполагалось, что основным компонентом мостопласта и изопласта является битум, поэтому влияние других присутствующих в этом слое материалов не учитывалось и характеристики принимались равными характеристикам битума): $c = 1{,}9\cdot10^3\ \frac{Дж}{кг\cdot°C}$, $\lambda = 0{,}5\ \frac{Вт}{м\cdot°C}$, $\rho = 1000\ кг/м^3$.

Таблица 2

Координата по x, м	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое	Ansys	Аналитическое
Момент времени, с	0	0	300	300	1000	1000	1650	1650	10000	10000
0	2	1,952	1,995	1,999	1,785	1,812	1,306	1,318	-4,544	
0,01	2	2,047	1,987	1,997	1,693	1,714	1,162	1,172	-4,615	-4,563
0,02	2	1,958	1,943	1,967	1,376	1,382	0,712	0,722	-4,825	-4,476
0,03	2	2,028	1,768	1,785	0,723	0,718	-0,082	-0,056	-5,165	-5,093
0,04	2	2,022	1,167	1,099	-0,404	-0,382	-1,251	-1,18	-5,621	-5,535
0,05	2	1,453	-0,491	-0,563	-2,082	-1,967	-2,789	-2,637	-6,174	-6,072
			Разница результатов		Разница результатов		Разница результатов		Разница результатов	
			-0,00418		-0,02662		-0,01202		-0,04904	
			-0,01008		-0,02981		-0,01055		-0,0519	
			-0,02382		-0,0061		-0,01041		-0,34857	
			-0,0171		0,004502		-0,02585		-0,07145	
			0,06752		-0,02247		-0,07112		-0,08561	
			0,071135		-0,11544		-0,15178		-0,10235	

- *Металлический настил ортотропной плиты*: $c = 0{,}48 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot ℃}, \lambda = 58 \frac{Вт}{м \cdot ℃}, \rho = 7850\, кг/м^3$.

Была выбрана сетка следующей крупности: асфальтобетон 20x20 элементов, защитно-сцепляющий слой 2x20 элементов, металлический настил 2x20 элементов (рис. 1). Цифрами на рис. 1 обозначены некоторые из узлов (nodes). Поскольку температура изменяется по толщине нелинейно, то степень этой нелинейности определяется разностью температуры на краю слоя асфальтобетона в точке 2 и некоторой внутренней точке (точке экстремума температуры). В результате проверки было выяснено, что такой точкой является точка 13, т.к. она даёт наибольшее значение разности температур, что будет показано ниже более подробно.

Об охлаждении плиты после укладки асфальтобетона

Предполагалось, что использовался горячий асфальтобетон, который, как известно, укладывается при температуре 140-180 °С [6], рекомендуемая температура уплотнения для смеси типа Б может быть принята равной 120 °С [7]. Поскольку во время и после уплотнения покрытие остывает неравномерно, первоначально проверялось, не сохраняется ли данная неравномерность во времени. Для этого рассматривалась следующая модель загружения:

- начальная температура многослойной плиты предполагалась равномерной по всей толщине и равной температуре уплотнения асфальтобетона 120°С;

- температура окружающей среды предполагалась переменной во времени и, по данным наблюдений изменения температуры воздуха в г. Казани, взятым в Росгидрометцентре, принималась через каждые 3 часа, т.к. горячий асфальтобетон укладывается при температуре воздуха не ниже +5 °С, был выбран отрезок времени, начиная с 1.06.06 в 12:00 и заканчивая 2.06.06 в 15:00 (июнь месяц 2006 года). Изменение температуры на данном промежутке показано в таблице 3. Изменение температуры в ANSYS 12.0 задавалось с помощью таблицы (нагрузка задавалась с помощью вкладки Existing table, таблица задавалась как Array parameter). Такое задание нагрузки позволяет при наличии данных о её изменении задавать это изменение проходящим по любому

закону. Время в конце шага нагружения (time at the end of load step) задавалось равным 97200 с. Шаг приращения (time step size) был принят равным 150 с.

График изменения разности температур в точках 13 и 2 показан на рис. 2. По оси абсцисс откладывается время в секундах. По оси ординат откладывается разность температур в °С.

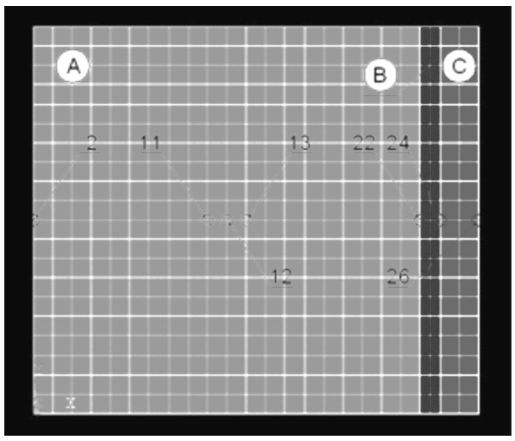


Рис. 1. Конечно-элементная модель:
A – асфальтобетон;
B – защитно-сцепляющий слой;
C – металлический настил

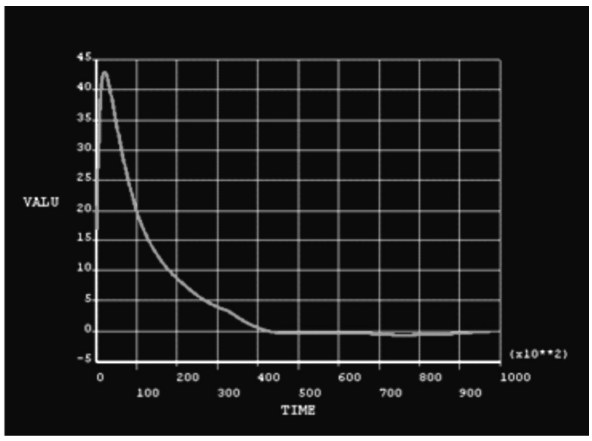


Рис. 2. График изменения разности температур

Таблица 3

Число наблюдений	1.06.06	1.06.06	1.06.06	1.06.06	1.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06	2.06.06
Час наблюдений, часы	12	15	18	21	24	3	6	9	12	15
Температура, °С	20,4	22,4	16,5	13,9	17,8	18,6	19,1	20,8	21,6	21,4

В таблицах 4 и 5 показаны значения разности температур в некоторые моменты времени. Момент времени 0 с соответствует начальной точке температурных данных, т.е. 1.06.06 в 12:00, а момент времени 97200 с – точке 2.06.06 в 15:00. Можно видеть, что разность температур растёт от 0 °С и в момент времени 1950 с достигает своего максимума в 42,9 °С, но затем уменьшается и к моменту времени 42600 с практически выравнивается по толщине слоя асфальтобетона. В дальнейшем при данных температурных условиях и принятой выше точности измерений остаётся равномерно распределённой по всей толщине.

Таблица 4

Время наблюдения, с	0	1950	10800	21600	32400	42600
Значение разности температур, °С	0	42,9	18,23	7,73	3,38	0,00049

Таблица 5

Время наблюдения, с	43200	54000	64800	75600	86400	97200
Значение разности температур, °С	-0,11	-0,33	-0,27	-0,63	-0,47	-0,098

О характере изменения температуры окружающей среды

При снижении температуры увеличивается прочность асфальтобетона, но снижаются способность к релаксации и предельная растяжимость. Это приводит к увеличению хрупкости покрытия. В частности, в [7] указывается мнение проф. А.М. Богуславского о том, что образование трещин в покрытиях автомобильных дорог происходит, когда скорость перепада температуры достигает величины 1,3 °С в 1 час. Всё это показывает зависимость напряжённо-деформированного состояния как от

температуры, так и от скорости её изменения. Ниже приведены графики скоростей изменения температуры окружающей среды через каждые 3 часа в течение одного зимнего и осеннего месяцев за 2006-2008 гг. (рис. 3-5). Скорости на графиках принимают отрицательные значения в случае охлаждения и положительные – в случае нагревания.

Из графиков видно, что в каждом месяце скорость изменения температуры достигает значений, превышающих вышеназванное значение 1,3 °С. Максимальная из представленных скоростей охлаждения наблюдается зимой (рис. 5) и составляет -15,9 °С в 3 часа (5,3 °С в 1 час), при этом температура изменяется с -0,9 °С до -16,8 °С . В другом примере (рис. 4) при скорости охлаждения -11,2 °С в 3 часа (-3,7 °С в 1 час) температура изменяется с -5,8 °С до -17 °С. В такие моменты можно ожидать появления трещин, что, вообще говоря, в случае покрытий мостов требует доказательства и подтверждения на расчетной модели.

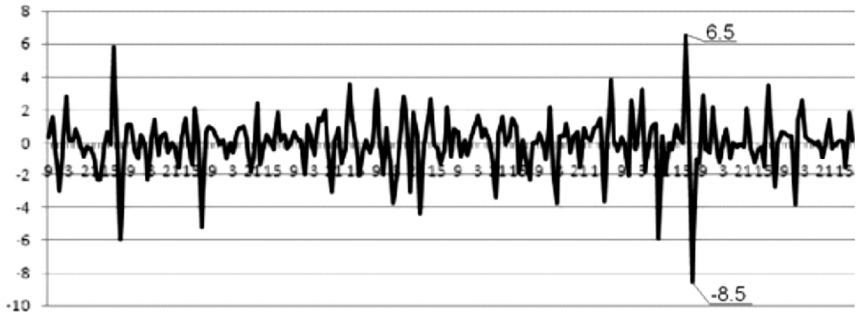


Рис. 3. Ноябрь 2008 г.

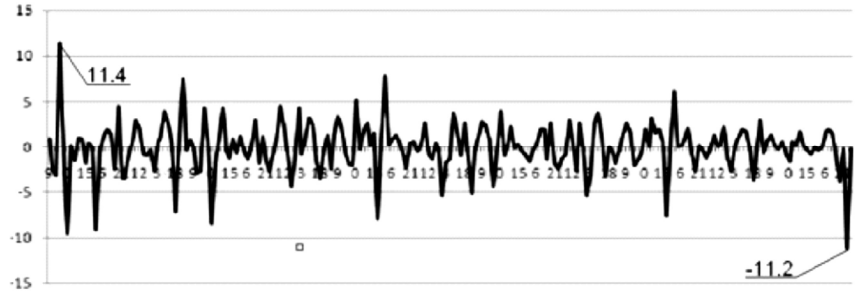


Рис. 4. Февраль 2006 г.

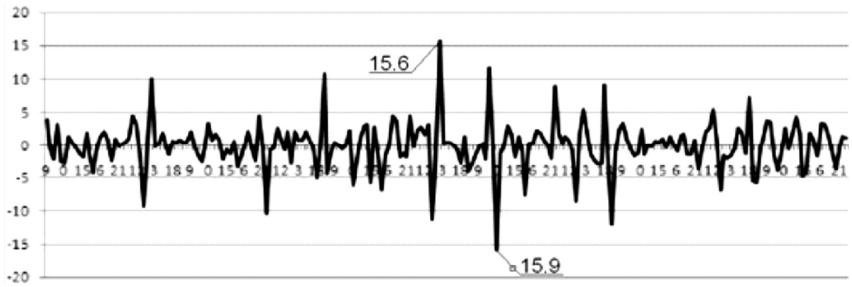


Рис. 5. Февраль 2007 г.

О форме температурной кривой

Далее после того, как было выяснено, что неравномерность распределения температуры не сохраняется во времени, проводилось исследование характера изменения температурного поля по толщине в зависимости от температуры окружающей среды. Для этого была выбрана следующая схема нагружения трёхслойной плиты:

- использовалась та же модель плиты;
- начальная температура была выбрана равной 120 °С (т.е. рассматривалось изменение температуры, начиная с момента завершения уплотнения асфальтобетона);

- в качестве температурной нагрузки был выбран период изменения температуры окружающей среды (рис. 6) через каждые 3 часа, начиная с 1.06.06 в 12:00 и до 7.06.06 в 18:00 (данный промежуток времени включает 540000 с наблюдений за температурой, и содержит 51 значение температуры). Предполагалось, что такого количества данных будет достаточно для того, чтобы отследить, как изменяется температура в плите. Время в конце шага нагружения (time at the end of load step) задавалось равным 540000 с. Шаг приращения (time step size) был принят равным 600 с.

Ниже в качестве примера на рис. 7-10 представлены температурные кривые в некоторые моменты времени, где цифрами 2, 22, 26 обозначены узлы конечно-элементной модели (рис. 1).

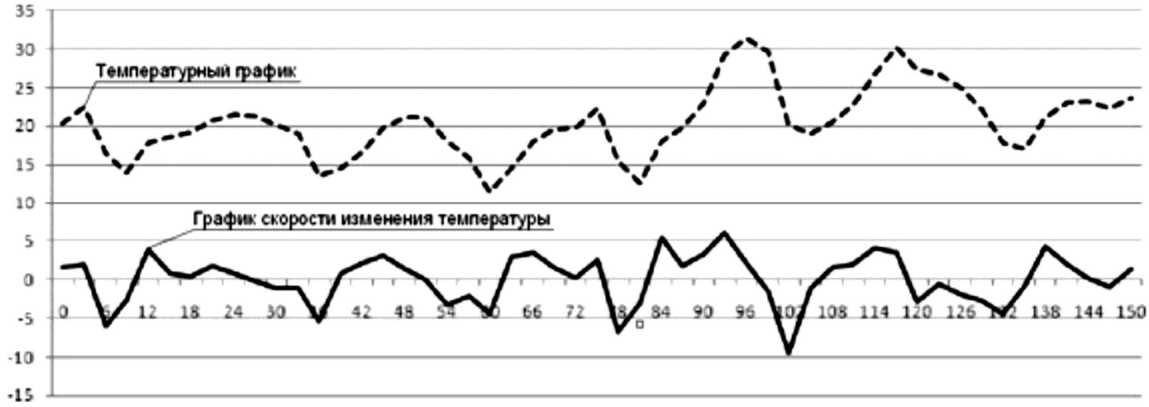


Рис. 6.

На рис. 7, 8 параметром T – обозначен момент времени, в который рассматривается температурная кривая. Анализируя форму этих температурных кривых, можно видеть, что все они имеют форму, близкую к квадратной параболе. Различается только кривизна её ветвей, что в дальнейшем будет считаться несущественным фактором влияния на НДС. В случае, когда перепад температур в плите становится малым, можно считать, что эта парабола переходит в прямую, нормальную к границе плиты. На всех кривых можно видеть, что точка экстремума температуры смещена от середины слоя асфальтобетона в сторону металлического настила, имеющего большую теплопроводность. Из сравнения наибольших перепадов температур в слое асфальтобетона при шаге нагружения 97200 с и шаге приращения 150 с, представленных в таблице 2, со значениями при шаге наружения 540000 с и шаге приращения 600 с, представленных на рис. 7, 8, можно сделать вывод, что получаемые численные решения не зависят от шагов нагружения и приращения. А после сравнения температур в узлах 2 и 26 в моменты времени, когда уже произошло остывание плиты, можно принять, что температура в этих узлах одинакова.

Для выяснения, в каких случаях температурная кривая представляется в виде параболы, а в каких случаях в виде прямой, введём два обозначения: DT – разность температур в узлах 13 и 2; VT – скорость изменения температуры.

Ниже на рис. 9 построен график изменения DT и VT в заданный выше промежуток времени. Данный график служит иллюстрацией факта, что чем быстрее изменяется температура окружающей среды, тем больше будет перепад температуры внутри плиты. На рис. 10 приведена точечная диаграмма DT в зависимости от VT. При этом были взяты абсолютные значения DT и VT. В этой диаграмме можно увидеть некоторую зависимость между этими двумя величинами. С помощью функции линейной регрессии (linfit) в программном комплексе MathCAD 14.0 был получен коэффициент регрессии, в представлении данной зависимости в виде наклонной линии, проходящей через начало координат.

В результате зависимость имеет следующий вид:

$$DT = 0{,}34VT. \qquad (1)$$

В качестве критерия оценки соответствия линии, полученной в результате регрессии, первоначальным данным использовался коэффициент корреляции Пирсона. В данном случае он составил $corr = 0{,}872$.

Ниже на рис. 12 приведён график изменения температуры окружающей среды (обозначим T), температуры плиты в узле 2 (T2) и скорости изменения температуры.

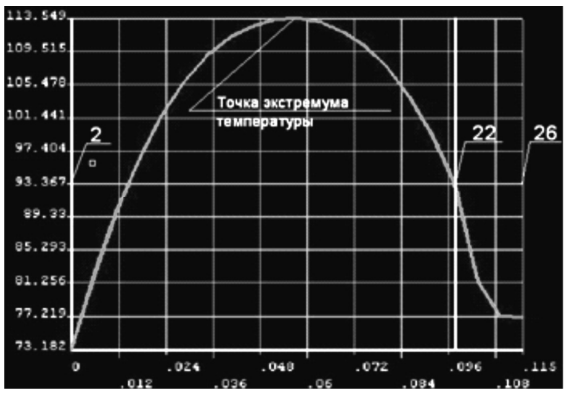


Рис. 7. T=1800 с

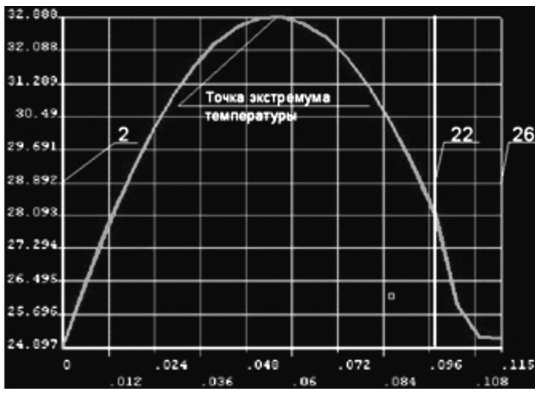


Рис. 8. T=21600 с

Этот график также является иллюстрацией того, что температура поверхности плиты (T2) не сразу принимает значения, равные температуре окружающей среды (T). И чем больше скорость изменения температуры VT, тем сильнее отставание T2 от T. Отставание же температуры в узле 13 очевидно будет ещё больше.

Это отражается на том, что при высоких скоростях VT перепады температур внутри плиты будут меньше перепадов температуры воздуха. Когда же скорость VT мала, то перепады температур будут примерно равны, и согласно (1) температура в плите будет распределена равномерно. На рис. 13 приведены графики величины RT (равной разности температуры в узле 2 и температуры воздуха) и величины VT.

Из схожести графиков величин VT и RT можно предположить, что между ними имеется зависимость. На рис. 11 в виде кружков показаны величины RT (откладывается по оси ординат), в зависимости от величин VT (откладывается по оси абсцисс). Коэффициент регрессии был также получен с помощью программного комплекса MathCAD 14.0, в результате зависимость можно представить в следующем виде:

$$RT = 0{,}5VT. \qquad (2)$$

Коэффициент корреляции Пирсона в этом случае имеет значение $corr = 0{,}85$. Основываясь на вышеописанные данные, можно описать температурную кривую внутри слоя асфальтобетона в виде функции вида $ax^2 + bx + c$, принимающей в узлах 2, 13, 22 значения, равные температуре в этих точках, т.е. задать параболу так, чтобы она проходила через заданные три точки.

При этом вершина параболы будет на уровне узла 13. А температурную кривую в защитно-сцепляющем слое и металлическом настиле можно описать в виде прямой линии вида $dx + m$. Коэффициенты a, b, c, d, m – определяются через функцию линейной регрессии MathCAD и зависят от величины DT, определяемой уравнением (1).

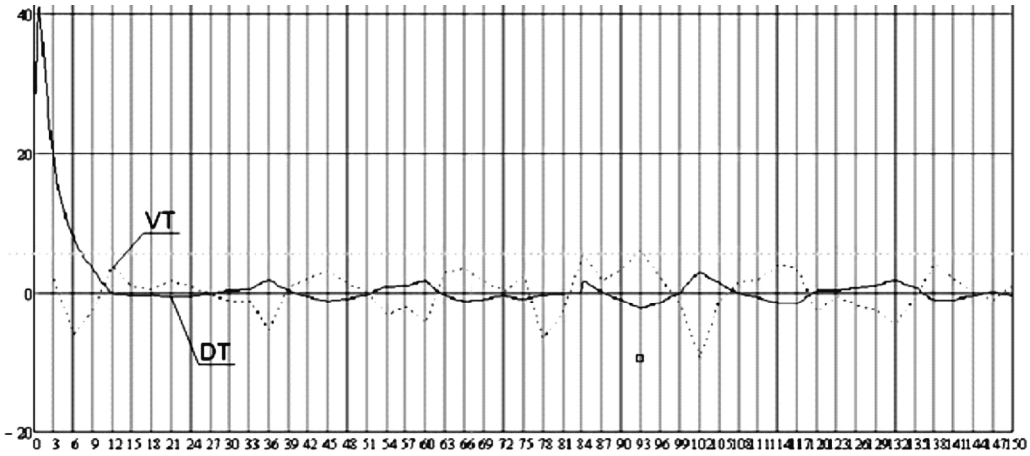


Рис. 9. График изменения DT и VT по времени

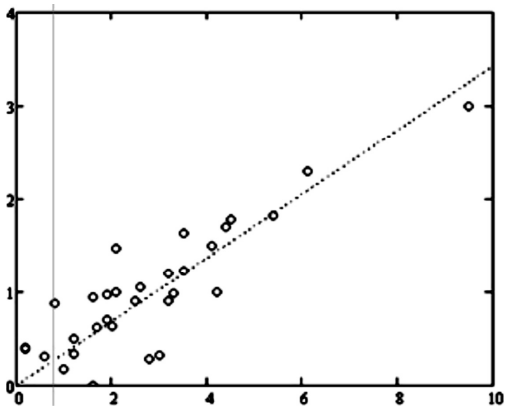


Рис. 10

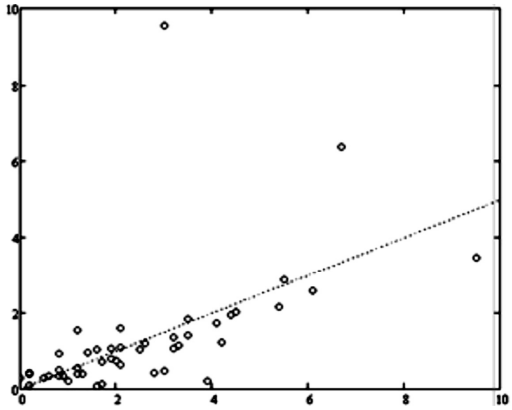


Рис. 11

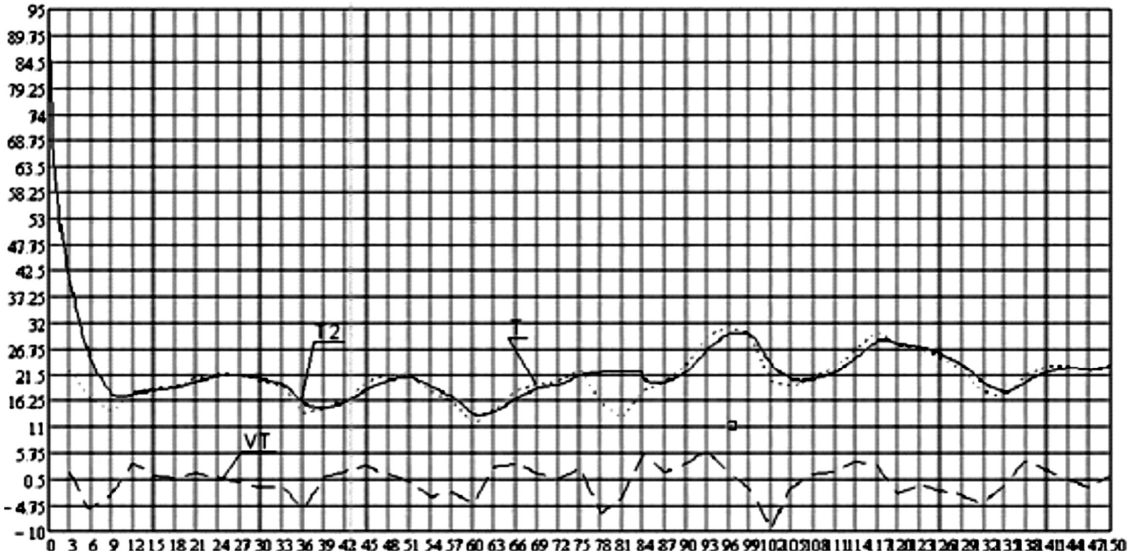


Рис. 12

При выполнении регрессии температурных данных были сделаны следующие предположения: начало осей координат расположено в центре слоя асфальтобетона; выбираются оси x и T, как показано на рис. 14; температуры в узле 26 равна температуре в узле 2 (рис. 1).

В результате были получены следующие функции:

- Функция, описывающая температуру в слое асфальтобетона:

$$T(x) = (TO - RT) + y, \quad (3)$$

где

$y = 320{,}34DT \cdot x^2 - 3{,}77DT \cdot x - DT$

TO – температура окружающей среды.

При скорости изменения температуры, стремящейся к нулю, значения DT и RT также будут стремиться к нулю и $T(x)$ будет стремиться к прямой линии.

- Функция, описывающая температурное поле в защитно-сцепляющем слое и металлическом настиле:

$$T_1(x) = T(-0{,}05) + k(0{,}065 - x), \quad (4)$$

где

$$k = \frac{T(0{,}05) - T(-0{,}05)}{0{,}015}.$$

$T(0{,}05)$ и $T(-0{,}05)$ – значения функции $T(x)$ в узлах 22 и 2;

Таким образом, для данной конструкции мостового полотна, с данными толщинами слоёв и теплофизическими характеристиками, можно определить вид температурной кривой внутри любого слоя в виде (3) и (4).

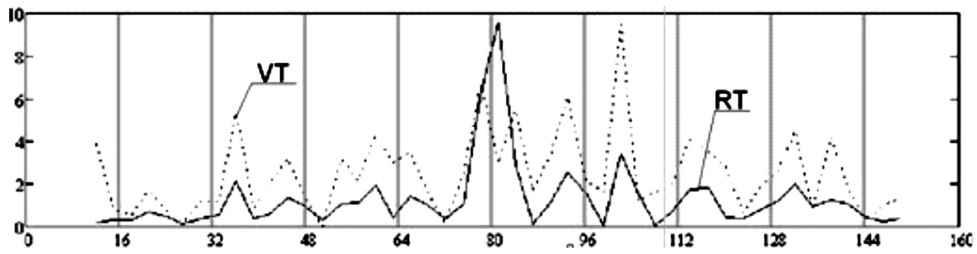


Рис. 13

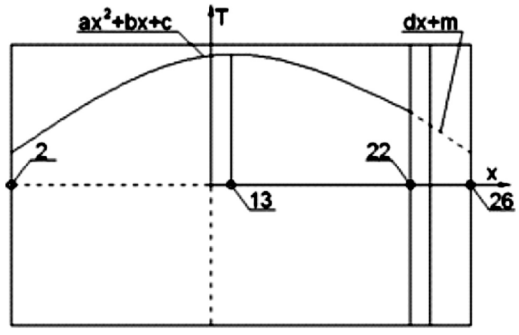


Рис. 14

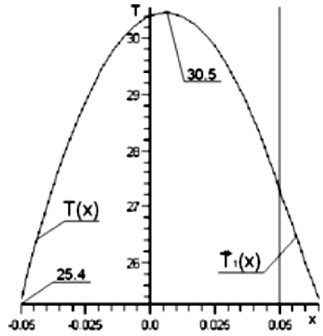


Рис. 15

При этом необходимо опираться на данные изменения температуры окружающей среды, из которых можно увидеть скорость изменения температуры. Это может служить некоторой альтернативой решения системы уравнений теплопроводности. А полученное решение применимо только к одному типу конструкции с неизменными параметрами. На рис. 15 пример температурного поля, построенного по формулам (3) и (4) при $TO = 17{,}8$ ℃ и скорости изменения температуры $VT = -15$ ℃, в 3 часа. Наибольший перепад температур в плите составляет 5,1 °С. Исходя из того, что максимальная скорость изменения температуры, которая имеется в наблюдениях, составляет 15,9 °С за 3 часа (рис. 10), можно заключить, что наибольший возможный перепад температур в плите данной конструкции будет около 5 °С, и влияние внутренней стеснённости деформаций следует учитывать исходя из этого.

Выводы:

1. По результатам анализа изменения температуры окружающей среды было выяснено, что скорость изменения температуры каждый год достигает значений 3-5 °С в час, даже при экстремальных значениях температуры около -30 °С, что создаёт большую опасность появления трещин в покрытии.

2. По результатам численного моделирования было выяснено, что в выбранном типе покрытия максимальный возможный перепад температуры по толщине плиты составляет 5 °С и температурное поле может быть описано параболой.

3. Возможно, в дальнейшем удастся выяснить влияние внутренней стеснённости деформаций на напряжения и, как следствие, необходимость описания температуры в виде функции. В случае, если внутренняя стеснённость деформаций оказывает серьёзное влияние на НДС, возможно, путём регрессии получить функцию, описывающую температурное поле при любой толщине слоя асфальтобетона. В случае же, если внутренняя стеснённость деформаций не оказывает такого влияния, необходимость в определении такой функции отпадает.

Список литературы

1. Лившиц Я.Д. и др. Автодорожные мосты (проезжая часть). – Киев: Будивельник, 1980. – 160 с.
2. Судомоин А.С. Некоторые аспекты совместной работы стальной ортотропной плиты и покрытия на разводных пролётах мостов // Вопросы надёжности мостовых конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1984. – 166 с.
3. Судомоин А.С. О напряжённо-деформированном состоянии слоя полимебетонного покрытия, уложенного по ортотропной плите проезжей части // Совершенствование конструкций и методов расчёта автодорожных мостов: Межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1986. – 104 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. школа, 1966. – 600 с.
5. Горелышева Л.А. Нежёсткие дорожные покрытия на металлических мостах//Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информ. / ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 4. – М., 2004. – 80 с.
6. Гезенцвей А.Б. Асфальтовый бетон. – М.: Стройиздат, 1964. – 448 с.
7. Некрасов В.К. Строительство автомобильных дорог. Т. 2. – М.: Транспорт, 1980. – 421 с.

Grishyn I.V. – post-graduate student
E-mail: il6357@yandex.ru
Kayumov R.A. – doctor of physico-mathematical sciences, professor
E-mail: kayumov@rambler.ru
Ivanov G.P – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ivanovGPI@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

About definition of temperature field in pavement of steel bridge with orthotropic slab

Resume

This paper represents an analysis of shape and variation of temperature field in selected pavement type of steel bridge with orthotropic slab conducted by using of numerical model. An effort to reveal the relation between pavement temperature variation and circumambient conditions variation and to obtain function describing the temperature curve was made for opportunity of use it in stressed-strain state definition. It was found out that maximum difference between temperatures of asphaltic layer center and free edge is about 5°C when

velocity of circumambient temperature changing is about 3-5 °C per 1 hour. Such conditions may lead to occurrence of big temperature stresses and make some contribution to pavement cracks appearance. Whole the temperature curve can be presented as the parabola of the second order. Further if influence of temperature field nonlinearity will not show the great contribution to stresses in asphalt layer then temperature curve may be considered as a straight line.

Keywords: temperature conditions, asphaltic pavements, numerical model, temperature curve.

References

1. Livshic I.D. Road bridges. – Kiev: Budivelnik, 1980. – 104 p.
2. Sudomoin A.S. Some aspects of pavement and orthotropic slab jointly work on flap bridges // Bridge reliability: H. school trans. collect. – L.: LISI, 1984. – 166 p.
3. Sudomoin A.S. About stressed-strained state of polimer-concrete orthotropic slab pavement on traffic area // Perfection road bridges construction and calculation methodologies: H. school trans. collect. – L.: LISI, 1986. – 104 p.
4. Lykov A.V. Heat-transfer theory. – M.: Vish. shkola, 1966. – 600 p.
5. Gorelysheva L.A. Flexible road surfacing on steel bridges // Roads and bridges: review inform. / FGUP «NFORMAUTODOR»; Vol. 4. – M., 2004. – 80 p.
6. Gezencvey L.B. Asphaltic concrete. – M.: Stroyizdat, 1964. – 448 p.
7. Necrasov V.K. Road building. Vol. 2. – M.: Transport, 1980. – 421 p.

УДК 539.3
Павлов В.П. – доктор технических наук, профессор
E-mail: victor.pavlov.1951@gmail.com
Нусратуллин Э.М. – старший преподаватель
E-mail: nusratullinem@rambler.ru
Филиппов А.А. – младший научный сотрудник
E-mail: sigur_ros@list.ru
Уфимский государственный авиационный технический университет
Адрес организации: 450000, Россия, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12
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

Методика определения упругих характеристик гибридного композиционного материала и оценка ее точности*

Аннотация

Предлагается методика расчета эффективных характеристик жесткости гибридного композиционного материала (ГКМ) с двумя видами армирующих волокон, базирующаяся на конечно-элементном анализе напряженно-деформированного состояния представительного элемента ГКМ в пакете ANSYS. Рассматривается ГКМ на основе магниевой матрицы, армированной углеродными и борными армирующими волокнами. При заданной структуре ГКМ вычислены эффективные характеристики его жесткости.

Ключевые слова: гибридный композиционный материал, эффективные коэффициенты жесткости.

Постановка задачи и этапы её решения

В изделиях современной техники широко применяют гибридные композиционные материалы (ГКМ), армированные одновременно двумя видами волокон (например, борными и углеродными).

При расчетах конструкций на прочность и жесткость обычно неоднородный гибридный композиционный материал заменяют эквивалентным ему однородным анизотропным материалом, для которого необходимо знать характеристики упругости.

При этом возникают две проблемы:

- что понимать под эквивалентностью неоднородного композиционного материала и однородного анизотропного материала;
- как определить эффективные упругие характеристики эквивалентного анизотропного материала.

В связи с этим существует актуальная задача механики композиционных материалов – вычисление эффективных характеристик упругости композитов на основе информации о физико-механических свойствах их компонент и законах распределения армирующих элементов по объему композиционного материала.

Следует отметить, что нет однозначного решения данной задачи, и каждый исследователь может реализовать свой путь.

В данном исследовании математически моделируются характеристики упругости гибридного композиционного материала на основе метода конечного элемента с применением программного комплекса ANSYS. При этом сначала создается идеализированная физическая модель представительного элемента ГКМ на основе магниевой матрицы, армированной углеродными и борными волокнами; затем формируется конечно-элементная модель данного элемента ГКМ; далее в пакете ANSYS рассчитываются напряжения на боковых поверхностях представительного элемента ГКМ

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект 2012-1.4-12-000-1004-006).

при шести основных видах его деформации (растяжениях и сдвигах) и вычисляются эффективные коэффициенты жесткости анизотропного однородного материала, эквивалентного рассматриваемому гибридному композиционному материалу.

Оценка точности предлагаемой методики выполняется на примере рассмотрения изотропного и ортотропного материалов, для которых известны точные соотношения закона Гука между напряжениями и деформациями.

Представительный элемент гибридного композиционного материала

В работе формируется представительный элемент трехкомпонентного гибридного композиционного материала на основе магниевой матрицы, содержащий углеродные и борные армирующие волокна (рис. 1).

Представительный элемент ГКМ имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами сторон a_x, a_y, a_z, измеряемыми соответственно вдоль координатных осей X, Y, Z (рис. 1). В нем одно прямое борное волокно диаметра $d_B = 100$ мкм и четырнадцать прямых углеродных волокон цилиндрической формы диаметра $d_C = 10$ мкм (рис. 1). Борное волокно направлено вдоль оси Y, а углеродные волокна направлены вдоль оси X (рис. 1). Расстояние между соседними углеродными волокнами вдоль оси Z и минимальное расстояние между борным и углеродным волокнами равным $\Delta_C = 2$ мкм (рис. 1). Минимальные расстояния от углеродных волокон до боковых граней представительного элемента, перпендикулярных осям Y и Z, равны соответственно $\Delta_{CY} = 1$ мкм и $\Delta_{CZ} = 1$ мкм (рис. 1).

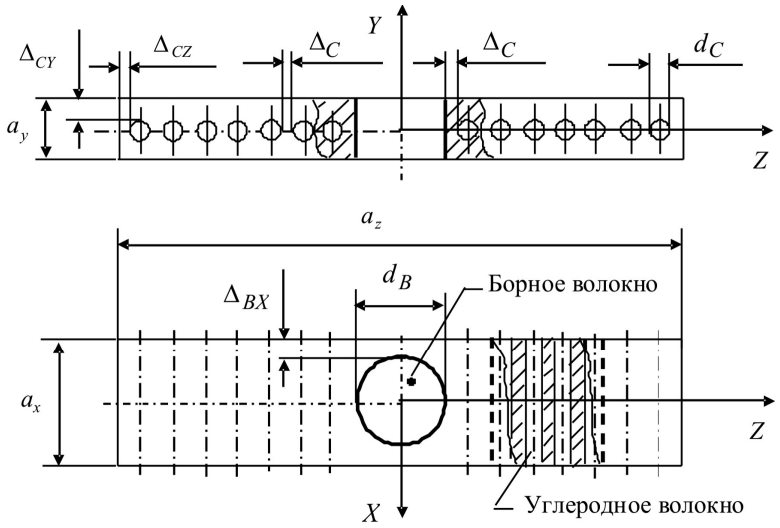


Рис. 1. Слоистая структура гибридного композиционного материала

Расстояние от борного волокна до боковых граней представительного элемента, перпендикулярных оси X равно $\Delta_{BX} = 5$ мкм (рис. 1). На основе указанных размеров определяются размеры представительного элемента вдоль координатных осей:

$$\begin{cases} a_x = d_B + 2\Delta_{BX}, & a_y = d_C + 2\Delta_{CY}. \\ a_z = 14d_C + 14\Delta_C + 2\Delta_{CZ}, \end{cases} \quad (1)$$

При указанных размерах:

- общий объем представительного элемента ГКМ равен $V = a_x a_y a_z$;
- объем углеродной компоненты равен $V_C = 14\pi d_C^2 a_x / 4$;
- объем борной компоненты равен $V_B = \pi d_B^2 a_z / 4$.

На основе данных выражений коэффициенты армирования ГКМ по углеродным (Ψ_C) и борным (Ψ_B) волокнам определяются по формулам:

$$\Psi_C = V_C / V = 0{,}34; \quad \Psi_B = V_B / V = 0{,}26. \tag{2}$$

Компоненты ГКМ имеют следующие характеристики:

- матрица из магниевого сплава МЛ-10: $E_{\text{Mg}} = 0{,}44 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu_{\text{Mg}} = 0{,}28$;
- углеродные армирующие волокна: $E_{\text{C}} = 3 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu_{\text{C}} = 0{,}2$;
- борные армирующие волокна: $E_{\text{B}} = 4 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu_{\text{B}} = 0{,}25$.

Анизотропный однородный материал, эквивалентный гибридному композиционному материалу

Существующие пакеты программ не позволяют рассчитывать напряженно-деформированное состояние конструкций из композиционных материалов с полным учетом его структуры. Поэтому при расчетах неоднородный композиционный материал заменяется эквивалентным ему однородным анизотропным материалом.

В качестве эквивалентного в работе рассматривается ортотропный материал, для которого связь между напряжениями $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ и деформациями $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ определяется шестью соотношениями закона Гука:

$$\begin{cases} \sigma_x = E_{1,1}\varepsilon_x + E_{1,2}\varepsilon_y + E_{1,3}\varepsilon_z, \\ \sigma_y = E_{2,1}\varepsilon_x + E_{2,2}\varepsilon_y + E_{2,3}\varepsilon_z, \\ \sigma_z = E_{3,1}\varepsilon_x + E_{3,2}\varepsilon_y + E_{3,3}\varepsilon_z, \\ \tau_{xy} = E_{4,4}\gamma_{xy}, \quad \tau_{yz} = E_{5,5}\gamma_{yz}, \quad \tau_{xz} = E_{6,6}\gamma_{xz}. \end{cases} \tag{3}$$

Необходимые для практического применения соотношений системы (3) значения коэффициентов жесткости $E_{i,j}$, $i, j = 1, 2, 3$, $E_{4,4}, E_{5,5}, E_{6,6}$ эквивалентного материала получаются на основе математического моделирования деформирования представительного элемента из ГКМ.

В соответствии с соотношениями (3) реализуется шесть экспериментов, в каждом из которых только одна из компонент деформации отличается от нуля.

Моделирование упругих характеристик гибридного композиционного материала в пакете ANSYS

Для определения эффективных коэффициентов жесткости ГКМ реализуется шесть экспериментов.

В *первом* эксперименте реализуется деформация представительного элемента при которой: $\varepsilon_x \neq 0,\ \varepsilon_y = \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0$. Изменение формы и размеров представительного элемента в этом случае показаны на рис. 2, *а*.

При линейной деформации $\varepsilon_x \neq 0$ перемещения точек на поверхностях представительного объема определяются следующим алгоритмом:

- перемещения точек на всех гранях представительного объема вдоль направлений осей Y, Z равны нулю $v_{\Gamma} = w_{\Gamma} = 0$,
- на всех гранях представительного элемента перемещения точек вдоль оси X определяются выражением $u_{\Gamma} = \varepsilon_x x$.

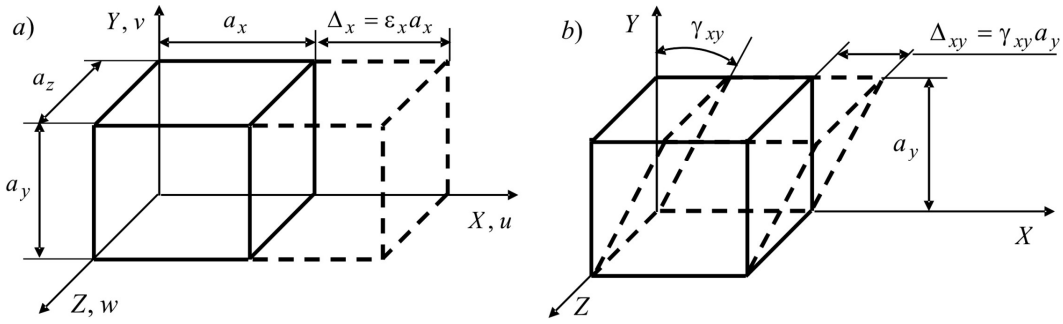


Рис. 2. Деформации представительного элемента ГКМ: а – линейная деформация при $\varepsilon_x \neq 0$, *b* – сдвиговая деформация при $\gamma_{xy} \neq 0$

Далее средствами ANSYS строится конечно-элементная модель представительного элемента ГКМ рассматриваемого представительного элемента и определяется его напряженное состояние. Затем на всех трех гранях представительного элемента ГКМ определяются осредненные напряжения $\overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_x)}, \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_x)}, \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_x)}$, при подстановке которых в первые три уравнения системы (3) получаются выражения для определения коэффициентов жесткости:

$$E_{1,1} = \overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_x)} / \varepsilon_x, \quad E_{2,1} = \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_x)} / \varepsilon_x, \quad E_{3,1} = \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_x)} / \varepsilon_x \tag{4}$$

Второй и третий эксперименты во многом схожи с первым экспериментом.

Так, во *втором* эксперименте задается отличная от нуля деформация эквивалентного материала $\varepsilon_y \neq 0$, а остальные деформации приравниваются нулю:

$$\varepsilon_y \neq 0, \ \varepsilon_x = \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0 \tag{5}$$

При заданной деформации ε_y средствами пакета ANSYS определяются осредненные напряжения: $\overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_y)}, \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_y)}, \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_y)}$, при подстановке которых в первые три уравнения системы (3) получаются выражения для определения коэффициентов жесткости:

$$E_{1,2} = \overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_y)} / \varepsilon_y, \quad E_{2,2} = \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_y)} / \varepsilon_y, \quad E_{3,2} = \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_y)} / \varepsilon_y . \tag{6}$$

В *третьем* эксперименте задается отличная от нуля деформация эквивалентного материала $\varepsilon_z \neq 0$, остальные деформации считаются равными нулю:

$$\varepsilon_z \neq 0, \quad \varepsilon_x = \varepsilon_y = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 . \tag{7}$$

При заданной деформации ε_z рассчитываются осредненные напряжения $\overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_z)}, \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_z)}, \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_z)}$, при подстановке которых в первые три уравнения системы (3) получаются выражения для определения коэффициентов жесткости:

$$E_{1,3} = \overline{\sigma}_x^{(\varepsilon_z)} / \varepsilon_z, \quad E_{2,3} = \overline{\sigma}_y^{(\varepsilon_z)} / \varepsilon_z, \quad E_{3,3} = \overline{\sigma}_z^{(\varepsilon_z)} / \varepsilon_z . \tag{8}$$

Для определения характеристик жесткости при сдвиге рассматривается деформирование представительного элемента при деформациях сдвига $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$.

Так, в *четвертом* эксперименте задается отличной от нуля только сдвиговая деформация γ_{xy}: $\gamma_{xy} \neq 0, \ \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0$ (рис. 2, *b*). При этом перемещения точек на поверхностях представительного объема определяются по алгоритму:

- перемещения всех точек на всех гранях представительного объема вдоль направлений осей Y, Z равны нулю $v_\Gamma = w_\Gamma = 0$;
- перемещение точек вдоль оси X определяются формулой $u_\Gamma = \gamma_{xy} y$.

Далее средствами ANSYS определяется осредненное напряжение $\bar{\tau}_{xy}^{(\gamma_{xy})}$, при подстановке которого в четвертое уравнение системы (3) получается выражение для определения коэффициентов жесткости $E_{4,4} = \bar{\tau}_{xy}^{(\gamma_{xy})} / \gamma_{xy}$.

В *пятом* эксперименте рассматривается представительный элемент при отличной от нуля деформации сдвига γ_{yz}: $\gamma_{yz} \neq 0,\ \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{xz} = 0$. Затем определяется осредненное напряжение $\bar{\tau}_{yz}^{(\gamma_{yz})}$, при подстановке которого в пятое уравнение системы (3) получается выражение для определения коэффициента жесткости $E_{5,5} = \bar{\tau}_{yz}^{(\gamma_{yz})} / \gamma_{yz}$.

В *шестом* эксперименте рассматривается представительный элемент при отличной от нуля деформации сдвига γ_{xz}: $\gamma_{xz} \neq 0,\ \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = 0$. На основе ANSYS определяется осредненное напряжение $\bar{\tau}_{yz}^{(\gamma_{yz})}$, при подстановке которого в шестое уравнение системы (3) получается выражение для определения коэффициента жесткости $E_{6,6} = \bar{\tau}_{xz}^{(\gamma_{xz})} / \gamma_{xz}$.

Таким образом, шесть математических экспериментов позволяют определить все входящие в закон Гука (3) характеристики жесткости однородного ортотропного материала, эквивалентного неоднородному ГКМ.

В результате расчетов при числе узлов конечно-элементной сетки $N \approx 1 \cdot 10^6$ были получены следующие значения эффективных коэффициентов жесткости ГКМ в (Па):

$$\begin{cases} E_{1,1} = 1{,}4 \cdot 10^{11}, & E_{1,2} = 3{,}9 \cdot 10^{10}, & E_{1,3} = 3{,}1 \cdot 10^{10}, \\ E_{2,1} = 3{,}9 \cdot 10^{10}, & E_{2,2} = 1{,}9 \cdot 10^{11}, & E_{2,3} = 4{,}3 \cdot 10^{10}, \\ E_{3,1} = 3{,}1 \cdot 10^{10}, & E_{3,2} = 4{,}3 \cdot 10^{10}, & E_{3,3} = 1{,}0 \cdot 10^{11}, \\ E_{4,4} = 4{,}2 \cdot 10^{10}, & E_{5,5} = 4{,}1 \cdot 10^{10}, & E_{6,6} = 3{,}3 \cdot 10^{10}. \end{cases} \quad (9)$$

Оценка погрешности по эталонной задаче для изотропного материала

При любом математическом моделировании некоторого процесса возникает вопрос о точности получаемых результатов. В связи с этим разработанная методика расчета коэффициентов жесткости гибридного композиционного материала проверялась при решении модельных задач, имеющих точное решение.

При *первой* проверке всем компонентам ГКМ присваивались значения характеристик упругости изотропного материала (выбрана матрица). В этом случае при верном алгоритме и качественной реализации в пакете ANSYS должны получаться эффективные характеристики жесткости равные характеристикам жесткости выбранного изотропного материала.

Следуя такому подходу, были выполнены расчеты коэффициентов жесткости при различном числе узлов конечно-элементной сетки N и на их основе рассчитаны погрешности расчетов по формуле:

$$\delta_{ij} = \lg \left| \frac{E_{ij}^T - E_{ij}}{E_{ij}^T} \right|, \quad i = 1,...,6, \quad j = 1,...,6, \quad (10)$$

где E_{ij}^T – точное значение коэффициента жесткости материала,

E_{ij} – расчетное значение коэффициента жесткости материала.

Зависимости погрешностей расчетов δ_{ij} от десятичного логарифма числа узлов конечно-элементной сетки $\lg N$ для изотропного материала представлены на рис. 3.

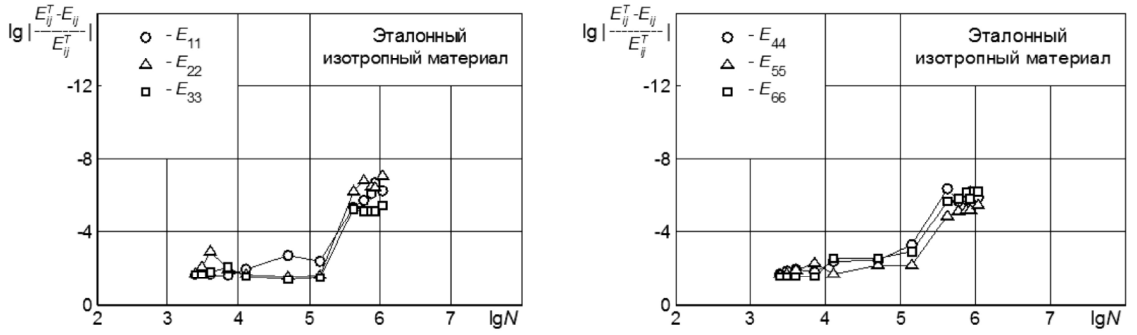


Рис. 3. Погрешности расчетов коэффициентов жесткости E_{ij} модельного изотропного материала в зависимости от числа узлов N конечно-элементной сетки

Из рис. 3 видно, что при максимальном числе узлов $N_{\max} \approx 1 \cdot 10^6$ погрешность расчетов $\delta_{ij} < 1 \cdot 10^{-5}$. Кроме этого, из рис. 3 видно, при числе узлов $N > 1 \cdot 10^6$ наблюдается тенденция увеличения погрешности, т.е. дальнейшее увеличение числа узлов не приведет к повышению точности расчетов, а, наоборот, приведет к увеличению погрешности расчетов из-за увеличения вычислительной ошибки, возникающей при выполнении арифметических операций в процессе математических вычислений.

При *второй* проверке всем компонентам ГКМ присваивались значения характеристик упругости ортотропного материала с характеристиками, близкими к характеристикам анализируемого ГКМ. В этом случае при верном алгоритме и качественной реализации в пакете ANSYS должны получаться эффективные характеристики жесткости, равные характеристикам жесткости модельного ортотропного материала.

Зависимости погрешностей расчетов δ_{ij} от десятичного логарифма числа узлов конечно-элементной сетки $\lg N$ для ортотропного материала представлены на рис. 4.

Рис. 4. Погрешности расчетов коэффициентов жесткости E_{ij} модельного ортотропного материала в зависимости от числа узлов N конечно-элементной сетки

Результаты расчетов для ортотропного материала во многом схожи с результатами расчетов для изотропного материала.

Видно (рис. 4), что минимальная погрешность, равная $\delta_{ij} \approx 1 \cdot 10^{-5}$, наблюдается при числе узлов $N_{\max} \approx 1 \cdot 10^6$. Из рис. 4 видно, при числе узлов $N > 1 \cdot 10^6$ наблюдается тенденция увеличения погрешности с ростом N.

Таким образом, исследования по оценке точности при решении эталонных задач показали, что оптимальной является конечно-элементная сетка при $N \approx 1 \cdot 10^6$ узлов, для которой погрешность расчетов не превышает величины $\delta_{ij} = 1 \cdot 10^{-5}$.

Ориентируясь на эту величину, можно ожидать, что и для ГКМ погрешность прогнозирования коэффициентов жесткости ГКМ, представленных в (9), при числе узлов $N = 1 \cdot 10^6$ не превысит величины $\delta_{ij} = 1 \cdot 10^{-3}$, необходимой для инженерных расчетов.

Выводы:

1. Предложена методика определения эффективных характеристик жесткости гибридного композиционного материала на основе магниевой матрицы, армированной борными и углеродными волокнами, базирующаяся на методе конечного элемента с применением программного комплекса ANSYS.
2. Сформирована модель представительного элемента гибридного композиционного материала, состоящая из одного борного и четырнадцати углеродных волокон, и на основе пакета ANSYS вычислены эффективные коэффициенты жесткости анизотропного однородного материала, эквивалентного рассматриваемому ГКМ.
3. На основе решения модельных задач, имеющих точное решение, проведен анализ зависимости погрешности расчетов от количества узлов конечно-элементной сетки и выяснено, что до числа узлов $N \approx 1 \cdot 10^6$ точность расчетов возрастает, а далее с ростом N в связи погрешностью арифметических вычислений точность расчетов убывает. Оптимальной является сетка с числом узлов $N \approx 1 \cdot 10^6$, при которой ожидаемая погрешность прогнозирования коэффициентов жесткости ГКМ не превысит достаточной для инженерных расчетов величины $\delta_{ij} = 1 \cdot 10^{-3}$.

Список литературы

1. Каюмов Р.А. Связанная задача расчета механических характеристик материалов и конструкций из них // Механика твердого тела, 1999, № 6. – С. 118-127.
2. Каюмов Р.А. Расширенная задача идентификации механических характеристик материалов по результатам испытаний конструкций // Механика твердого тела, 2004, № 2. – С. 94-105.
3. Каюмов Р.А, Мухамедова И.З., Шакирова А.М., Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В. Анализ влияния холодной плазмы на жесткостные характеристики полимерных материалов // Известия КГАСУ, 2010, № 1 (13). – С. 302-307.

Pavlov V.P. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: victor.pavlov.1951@gmail.com
Nusratullin E.M. – senior lecturer
E-mail: nusratullinem@rambler.ru
Filippov A.A. – junior researcher
E-mail: sigur_ros@list.ru
Ufa State Aviation Technical University
The organization address: 450000, Russia, Ufa, Karl Marx st., 12
Muhamedova I.Z. – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Enginieering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The methodology of determining the elastic characteristics of a hybrid composite material and estimation of its accuracy

Resume

A method is proposed to calculate the effective characteristics of rigidity of a hybrid composite material (HCM) with two types of reinforcing fibres, based on the finite-element analysis of stressed-deformed state of the representative element of the HCM on the package

ANSYS. Covers HCM on the basis of magnesium matrix, the reinforced carbon and boric reinforcing fibers. Several model problems are solved. When given the structure of the GCM calculated effective characteristics of its stiffness. On the example of reference objectives of the analysis of the accuracy of the developed method and it is shown that this method allows to obtain results with a permissible for practical calculations of the relative error not exceeding $1*10^{-5}$. Found the optimal number of grid nodes, where the expected error of prediction coefficients does not exceed the HCM stiffness sufficient for engineering calculations of value.

Keywords: hybrid composite material, effective coefficients of stiffness.

References

1. Kayumov R.A. Related problem of calculating of the mechanical characteristics of materials and its structures // Mekhanika tverdogo tela, 1999, № 6. – P. 118-127.
2. Kayumov R.A. Extended task of identifying the mechanical characteristics of materials based on the results of structures' tests // Mekhanika tverdogo tela 2004, № 2. – P. 94-105.
3. Kayumov R.A., Muhamedova I.Z., Shakirova A.M., Abdullin I.Sh., Hammatova V.V. Analysis of the influence of cold plasma to stiffness characteristics of polymeric materials // Izvestia KGASU, 2010, № 1(13). – P. 302-307.

УДК 69.003:336.22 (470.41)
Евстафьева А.Х. – кандидат экономических наук, доцент
E-mail: evalsu@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Выбор оптимальной системы налогообложения малыми предприятиями строительного комплекса региона (на примере Республики Татарстан)

Аннотация

В представленной статье рассмотрены особенности налогообложения малых предприятий строительного комплекса Республики Татарстан. В практике финансово-хозяйственной деятельности малые предприятия помимо традиционной системы налогообложения могут использовать и специальные налоговые режимы. При работе с юридическими лицами может быть использована упрощенная система налогообложения, а при работе с физическими лицами – система налогообложения в виде единого налога на вмененный доход.

Ключевые слова: строительство, малые предприятия, налог, налоговая нагрузка, традиционная система налогообложения, упрощенная система налогообложения, единый налог на вмененный доход.

Малое предпринимательство – один из ведущих секторов, во многом определяющий темпы экономического роста, состояния занятости населения, структуру и качество валового национального продукта.

Строительство является важнейшей отраслью экономики региона, осуществляющей воспроизводство основных фондов, развитие и улучшение социальной сферы, реконструкцию, модернизацию, техническое перевооружение и производство материальных благ.

Деятельность малого бизнеса в строительстве региона выполняет ряд важнейших функций по диверсификации и адаптации производства, смягчению социальных проблем, в том числе снижению уровня безработицы, и обеспечивает дальнейшее развитие инфраструктуры и сферы услуг. На сегодняшний день малый бизнес в строительной отрасли занимает все большее место в экономике Республике Татарстан.

В системе государственной поддержки малого бизнеса важное место занимает система налогообложения, регулируемая законодательством о налогах и сборах. От уровня налоговой нагрузки субъектов малого предпринимательства (малых предприятий и индивидуальных предпринимателей) зависит их место в экономической системе общества, перспективы развития этого сектора экономики, степень функционирования в «тени» и на «свету».

Налогообложение субъектов малого предпринимательства может быть двух видов: общий налоговый режим (традиционная система налогообложения) и специальные налоговые режимы (табл. 1).

Общий режим налогообложения предполагает уплату налогоплательщиками всех налогов (федеральных, региональных и местных).

Использование упрощенной системы налогообложения заменяет уплату нескольких основных налогов, таких как: налог на прибыль, налог на добавленную стоимость (НДС), налог на имущество организаций, при этом остальные налоги уплачиваются в общем порядке. Возможность применения упрощенной системы зависит от величины дохода и организационно-правовой формы бизнеса. Основные положения по упрощенной системе налогообложения представлены на рис. 1.

Строительные организации могут также использовать и систему налогообложения в виде единого налога на вмененный доход, в том случае, если будут оказывать населению бытовые услуги по строительству и ремонту построек. Основные положения по ЕНВД представлены на рис. 2.

Таблица 1

Режимы налогообложения для субъектов малого предпринимательства

Режим налогообложения	Налоги, уплачиваемые субъектами малого предпринимательства
Традиционная система налогообложения (общий режим)	- НДС; - налог на прибыль; - страховые взносы (до 1 января 2010 г. – ЕСН); - НДФЛ; - налог на имущество; - транспортный налог; - земельный налог.
Специальные налоговые режимы: - система налогообложения для сельскохозяйственных товаропроизводителей (единый сельскохозяйственный налог); - упрощенная система налогообложения; - система налогообложения в виде единого налога на вмененный доход для отдельных видов деятельности; - система налогообложения при выполнении соглашений о разделе продукции	Специальные налоговые режимы предусматривают замену нескольких налогов уплатой единого налога.

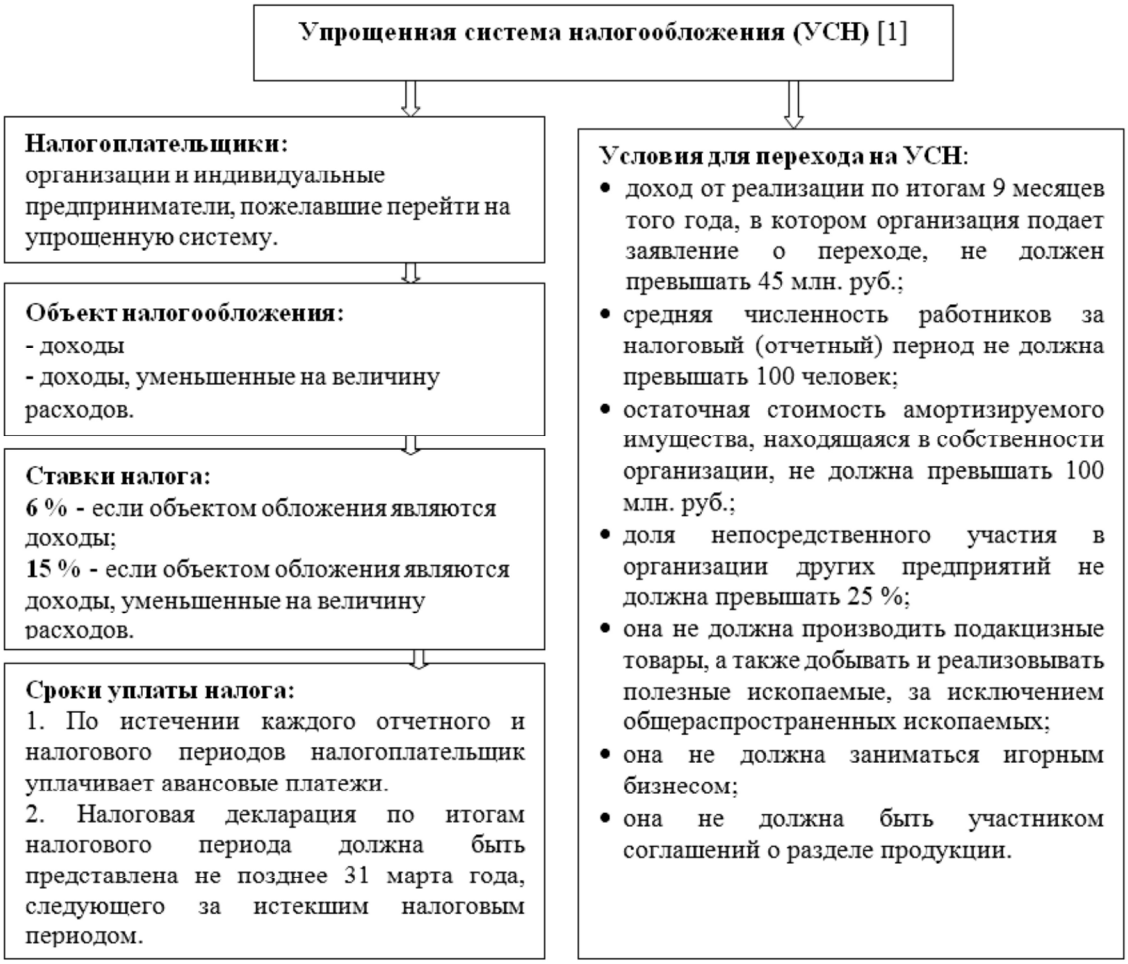


Рис. 1. Основные положения по упрощенной системе налогообложения

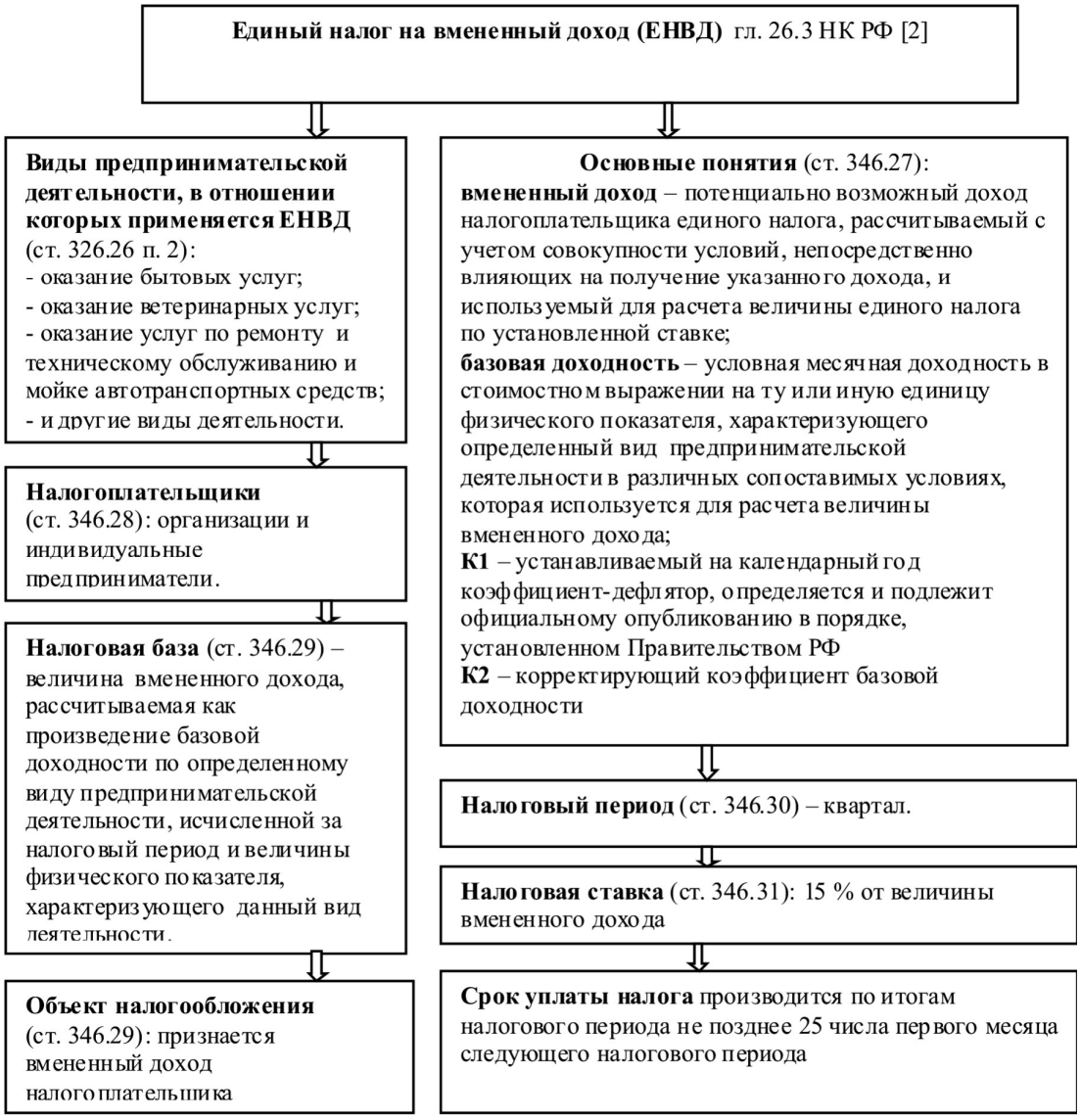


Рис. 2. Основные положения по единому налогу на вмененный доход

Рассмотрим особенности налогообложения субъектов малого предпринимательства строительной отрасли на примере предприятия «А», которое занимается общестроительными работами и применяет традиционную систему налогообложения.

Налоги, уплаченные строительным предприятием «А» за 2009-2011 гг., представлены в таблице 2.

Таблица 2

Налоги, уплаченные строительным предприятием «А» за 2009-2011 гг.

	2009 год		2010 год	2011 год		
	сумма, руб.	уд. вес, %	сумма, руб.	уд. вес, %	сумма, руб.	уд. вес, %
Страховые взносы (ЕСН)	578760	52	913120	49	1432794	54
Налог на прибыль	96200	9	112320	6	169402	6
НДС	424592	38	832647	44	1008372	38
Налог на имущество	7018	1	23881	1	22887	1
Налоговые издержки	1106570	100	1881968	100	2633455	100

Проведенный анализ структуры налоговых издержек показал, что наибольшую долю занимает НДС – 38 % в 2009 году, 44 % в 2010 году и 38 % в 2011 году, а также страховые взносы (ЕСН до 1 января 2010 г.) – 52 % в 2009 году, 49 % и 54 % соответственно. Доля налога на прибыль в 2009 году составляет 9 %, в 2010 году – 6 %, в 2011 году – 6 %. Доля налога на имущество в 2009-2011 годах – 1 %.

Как показывает практика, для каждого предприятия важен финансовый результат, поэтому должен быть определен характер влияния конкретных налогов на финансовое состояние предприятия и финансовый результат периода.

Федеральной налоговой службой РФ было установлено, что оптимальной нагрузкой для строительных предприятий в 2009 году является показатель 16,2 %, в 2010 году – 11,3 %, в 2011 – 12,2 % [3]. В связи с этим была рассчитана налоговая нагрузка по строительному предприятию «А». Для расчета использовалась методика определения налоговой нагрузки по Департаменту налоговой политики РФ.

Показатели для расчета и анализ налоговой нагрузки строительного предприятия «А» представлены в таблице 3, из которой видно, что в 2009 году налоговая нагрузка на выручку предприятия составила 14 %, в 2010 – 12 %, а в 2011 году – 23 %.

Таблица 3

Анализ налоговой нагрузки строительного предприятия «А»

Показатель	2009 год	2010 год	2011 год	Изменение к 2009 году	Изменение к 2010 году
1. Выручка (без НДС)	7950964	9688115	11261280	3310316	1573165
2. Налоговые издержки	1106570	1181968	2633455	1 526 885	1451487
3. Налоговая нагрузка по департаменту налоговой политики РФ (2/1)*100 %	14	12	23	9	11

Налоговая нагрузка строительного предприятия «А» в 2011 году возросла на 11 % по сравнению с 2010 годом и составила 23 %. Следовательно, величина налоговой нагрузки предприятия «А» находится выше нормы, в связи с этим необходимо искать резервы ее снижения.

Рассмотрим возможность применения строительным предприятием «А» упрощенной системы налогообложения (табл. 4).

Таблица 4

Показатели строительного предприятия «А» для анализа возможности применения упрощенной системы налогообложения

	2009 год	2010 год	2011 год
1. Численность, чел.	36	42	48
2. Выручка (без НДС), тыс. руб.	7951	9688	11261
3. Прочие доходы, тыс. руб.	0	0	265
4. Общая сумма доходов, тыс. руб.	7951	9688	11526
5. Удельный вес доходов от основной деятельности, %	100	100	97,70

С целью определения наиболее эффективной системы налогообложения произведем расчет суммы налогов, которую предприятие заплатило бы, если бы применяло УСН с объектом налогообложения доходы (6 %) и доходы минус расходы (15 %).

Необходимо отметить, что согласно Закону Республики Татарстан от 17.06.2009 № 19-ЗРТ (ред. от 17.06.2009 г.) налогоплательщики, применяющие УСН с объектом налогообложения доходы минус расходы, могут применять ставку 5 %, в случае если за отчетный (налоговый) период не менее 70 % дохода составляют доходы от осуществления следующих видов экономической деятельности: обрабатывающие производства; производство и распределение электроэнергии, газа и воды; строительство.

Согласно данным таблицы 4, доходы от производства строительных работ составляют более 85 %, соответственно строительное предприятие «А» может применять ставку 5 %.

Расчеты налоговой нагрузки при УСН будем проводить на 2012 год, предполагая, что все показатели деятельности останутся на прежнем уровне. Необходимо отметить, что в 2012 году произошло уменьшение ставки страховых взносов с 34 % до 30 %, что будет учтено при расчетах. Налоговая нагрузка будет пересчитана с учетом уменьшения ставки страховых взносов.

В 2011 году предприятие «А» получило выручку в сумме 13288310 руб. с НДС, прочие доходы – 312547 руб. с НДС. Соответственно, при применении специального налогового режима УСН предприятию в цену продукции не нужно будет включать НДС. В связи с этим цены могут быть снижены, однако не должны сильно отличаться от цен конкурентов, поэтому планируется, что цена будет ниже на 8 %. Соответственно, доходы от продажи составят 12512788 руб. ((13288310+312547) * 8 % = 1088069; 13600857 – 1088069 = 12512788 руб.).

Что касается закупки материалов, то при переходе на специальный налоговый режим предприятие должно будет пересмотреть свою закупочную деятельность и поменять основных поставщиков на поставщиков, не являющихся плательщиками НДС. Соответственно, цена на такие материалы будет ниже в среднем на 8 % и не будет включать НДС.

Расходы на закупку материалов и услуг с НДС за 2011 год составили 5362288 руб. Соответственно, при переходе на специальный налоговый режим расходы составят 4933305 руб. (5362288 руб. * 8 % = 428983 руб.; 5362288 – 428983 = 4933305 руб.).

Процент страховых взносов при применении УСН для определенных видов деятельности, в том числе для строительства, в 2012 году составляет 28 %, в том числе в ПФР-20 %, ФСС-2,9 %, ФФОМС-5,1 % [4].

Выполним расчет налоговых платежей по УСН (табл. 5).

Таблица 5

Сумма налогов строительного предприятия «А» к уплате в бюджет по УСН

Показатель	Упрощенная система			
	величина показателя	величина налога	величина показателя	величина налога
	6% (доходы)		5% (доходы минус расходы)	
1. Сумма доходов	12512788		12512788	
2. Расходы				
2.1. Заработная плата	4214100		4214100	
2.2. Страховые взносы (28 %)	1179948	1179948	1179948	1179948
2.3. Материалы и услуги	4933305		4 933 305	
2.4. Прочие расходы (стр. 3 - стр. 2.1. - стр. 2.2 - стр. 2.3)	807600		807600	
3. Сумма расходов	11134953		11134953	
4. Объект налогообложения	12512788		1377835	
5. Единый налог	750767		68892	
6. Единый налог к уплате	375384	375384	125128	125128
7. Итого налогов		1555332		1305076
8. Удельный вес налогов на 1 руб. доходов		12,43		10,43

Проведенное исследование показало, что если бы строительное предприятие «А» применяло упрощенную систему налогообложения с объектом налогообложения доходы, то заплатило бы 1555332 руб. налогов.

Если бы строительное предприятие «А» выбрало объектом налогообложения доходы, уменьшенные на величину расходов, то заплатило бы в бюджет за 2012 год налогов на сумму 1305076 руб. Для выбора наиболее эффективной системы налогообложения необходимо сравнить сумму уплачиваемых налогов при общей системе налогообложения (ОСНО), УСН по ставкам 6 % и 5% (табл. 6).

Таблица 6

Сравнение систем налогообложения строительного предприятия «А»

Показатель	Традиционная система	Упрощенная система	
		6 %	5 %
Налоги, подлежащие уплате			
1. Налог на прибыль (20 %)	169402	-	-
2. Страховые взносы (30 % при ОСН, 28 % при УСН)	1264230	1179948	1179948
3. Налог на имущество	22887	-	-
4. НДС к уплате	1008372	-	-
5. Единый налог	-	375384	125128
6. Итого налогов	2464891	1555332	1305076

Таким образом, в 2012 году строительное предприятие «А», применяя традиционную систему налогообложения, заплатило бы в бюджеты различных уровней налогов на сумму 2464891 руб. Если бы предприятие «А» подало заявление с начала 2011 года о переходе на УСН с объектом налогообложения доходы, то заплатило бы в бюджет налогов на сумму 1555332 руб., что гораздо меньше, чем при традиционной системе налогообложения.

Если бы строительное предприятие «А» приняло решение о переходе на УСН с объектом налогообложения доходы минус расходы, то заплатило бы в бюджет налогов на сумму 1305076 руб. Таким образом, для предприятия «А» целесообразно применение УСН 5 %.

Произведем сравнение налоговой нагрузки предприятия при различных налоговых режимах (табл. 7).

Таблица 7

Сравнение налоговой нагрузки строительного предприятия «А» при различных системах налогообложения

Показатель	Традиционная система	Упрощенная система	
		6 %	5 %
Налоги, подлежащие уплате			
1. Выручка, руб.	11261280	12512788	12512788
2. Сумма налогов, руб. (с учетом уменьшения страховых взносов)	2464891	1555332	1305076
3. Налоговая нагрузка в 2012 году, %	21,89	12,43	10,43

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что строительному предприятию «А» необходимо перейти на УСН (5 %), что существенно снизит налоговую нагрузку (более чем в 2 раза). Несмотря на то, что с 2012 года при применении специальных налоговых режимов необходимо будет уплачивать страховые взносы в полном объеме, применение УСН с объектом налогообложения доходы минус расходы также целесообразно, так как нагрузка будет многократно меньше налоговой нагрузки при ОСНО за счет того, что предприятию не надо будет уплачивать НДС, налог на прибыль и налог на имущество.

Подводя итог, можно утверждать, что при отсутствии дальнейших изменений и дополнений к УСН, данный налоговый режим действительно предоставляет значительные выгоды субъектам малого бизнеса.

Рассмотрим особенности применения малым предприятием и другого специального налогового режима – единого налога на вмененный доход. Строительное предприятие «В» оказывает услуги по строительству и ремонту построек. На предприятии работают 15 человек. Рассмотрим начисление ЕНВД за 1 квартал 2010-2012 гг. Исходные данные для начисления налога представлены в табл. 8.

Таблица 8

Исходные данные строительного предприятия «В» для расчета ЕНВД за 1 квартал 2010-2012 гг.

	1 квартал 2010 г.	1 квартал 2011 г.	1 квартал 2012 г.
Базовая доходность	7500	7500	7500
Коэффициент К1	1,295	1,372	1,4942
Коэффициент К2	0,7	0,7	0,7
Страховые взносы	10 000	12 500	15 000
Физические показатели (чел.)	15	15	15

Произведем расчет ЕНВД по формулам:

НБ = (БД х К1 х К2) х ФП,

где

НБ – налоговая база;

БД – базовая доходность за налоговый период (квартал);

К1 – коэффициент-дефлятор;

К2 – корректирующий коэффициент;

ФП – физический показатель.

ЕНВД = НБ * 15 %

ЕНВД 1 кв. 2010г. = (7500 * 1,295*0,7)*15 *15 % = 15297 руб.

ЕНВД 1 кв. 2011г. = (7500 * 1,372*0,7)*15*15 % = 16207 руб.

ЕНВД 1 кв. 2012 г. = (7500 * 1,4942*0,7)*15*15 % = 17650 руб.

Результаты расчетов сведем в таблицу 9.

Таблица 9

ЕНВД строительного предприятия «В» за 1 квартал 2010-2012 годы

	1 кв. 2010 г.	1 кв. 2011 г.	1 кв. 2012 г.
Сумма ЕНВД начисленная	15297	16207	17650
Сумма страховых взносов	10000	12500	15000
Сумма ЕНВД к уплате	7648,5	8103,5	8825

Таким образом, расчеты по строительному предприятию «В» показали, что сумма налога ежеквартально увеличивается в связи с увеличением коэффициента К1, который учитывает изменение потребительских цен на товары (работы, услуги) в Российской Федерации.

Необходимо отметить, что ЕНВД относится к постоянным затратам: независимо от того, как идут дела, сумма данного налога неизменна. Это означает, что отрицательный эффект операционного рычага с помощью указанного налогового режима больно ударит по финансовому положению организаций и предпринимателей.

Полагаем, что налоговое планирование на уровне субъектов малого предпринимательства строительного комплекса региона – это выбор между разными вариантами налогообложения (традиционная система или специальные налоговые режимы) с целью снижения налоговой нагрузки, упрощения процедур налогообложения и представления отчетности.

Список литературы

1. Глава 26.2 Налогового кодекса РФ «Упрощенная система налогообложения»/ http://www.consultant.ru/popular/nalog2/3_11.html (дата обращения: 18.07.2012).
2. Глава 26.3 Налогового кодекса РФ «Единый налог на вмененный доход»/ http://www.consultant.ru/popular/nalog2/3_12.html (дата обращения: 18.07.2012).
3. Приказ ФНС России от 30.05.07 № ММ-3-06/333 «Об утверждении концепции системы планирования выездных налоговых проверок» (в редакции приказа ФНС России от 10.05.2012 № ММВ-7-2/297/ http://www.referent.ru/1/177172 (дата обращения: 18.07.2012).
4. Федеральный закон от 28 декабря 2010 г. № 432-ФЗ «О внесении изменений в статью 58 Федерального закона «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования и территориальные фонды обязательного медицинского страхования» и статью 33 Федерального закона «Об обязательном пенсионном страховании в Российской Федерации»/ http://www.garant.ru/hotlaw/federal/299869/ (дата обращения: 18.07.2012).

Evstafieva A.Kh. – candidate of economic sciences, associate professor
E-mail: evalsu@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Selection of the optimal tax system in small enterprises of a building complex of the region (The Republic of Tatarstan)

Resume

The optimal tax system for small construction firms in the region provides, on the one hand, stimulation of business activity; on the other hand the presence of a rather simple and efficient mechanism for collecting taxes. In this regard, of particular relevance and importance from the standpoint of promoting development and entrepreneurship, issues of reducing the tax burden, simplification of taxation procedures and reporting. Small businesses need to be able to take advantage of tax that the law gives. Construction companies in the region have the right to choose – to work in the traditional system of taxation, or to use a simplified system of taxation. The peculiarity of the single tax on imputed income of the enterprises of the construction complex of the region is that for this type of tax changes the enterprise does not venture, but one of its activities - the providing consumer services. The correct choice of tax system will reduce the tax burden on businesses and improve its financial condition.

Keywords: construction, small business, tax, tax burden, the traditional tax system, a simplified system of taxation, single tax on imputed income.

References

1. Chapter 26.2 of the Tax Code, «Simplified system of taxation» / http://www.consultant.ru/popular/nalog2/3_11.html (reference date: 18.07.2012)

2. Chapter 26.3 of the Tax Code, «Unified tax on imputed income» / http://www.consultant.ru/popular/nalog2/3_12.html (reference date: 18.07.2012)

3. Order of the Federal Tax Service of Russia from 30.05.07 № MM-3-06/333 «On approval of the concept of planning field tax audits» (in the wording of the order of the Federal Tax Service of Russia from 10.05.2012 № MMV-7-2/297 / http://www. referent.ru/1/177172 (reference date: 18.07.2012).

4. Federal Law of December 28, 2010 № 432-FZ «On Amendments to Article 58 of the Federal Law» On Insurance Contributions to the Pension Fund of the Russian Federation, the Social Insurance Fund of the Russian Federation, the Federal Fund of Obligatory Medical Insurance and territorial funds of compulsory medical insurance and article 33 of the Federal Law «On Mandatory Pension Insurance in the Russian Federation» / http://www.garant.ru/hotlaw/federal/299869/ (reference date: 18.07.2012).

УДК 338.24
Закиева Н.М. – аспирант
E-mail: znm88@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Реальные опционы как методическая основа управления инновационным проектом

Аннотация

Реальные опционы являются важным инструментом управления инновационными проектами. В практике управления реальные опционы позволяют менеджеру применять заранее спроектированную гибкость для управления инновационными проектами в условиях неопределенной и зачастую непрогнозируемой внешней среды.

В статье рассмотрено понятие реального опциона применительно к инновационному проекту, произведена классификация опционов, а также предложена декомпозиция инновационного проекта с точки зрения моментов возникновения реальных опционов.

Ключевые слова: инновация, инновационный проект, неопределенность, реальный опцион, управление инновационным проектом.

Инновационный проект абсолютно не линеен. Он может протекать по непредсказуемым сценариям и приводить к незапланированным результатам незапланированными путями. Следовательно, чем чаще в рамках реализации инновационного проекта будут переоцениваться получаемые результаты и сопоставляться с рыночной действительностью, тем выше вероятность благоприятного исхода. Кроме того, принять решение в пользу инновационного развития значит взять на себя огромный риск. Такой риск, как правило, оценивается менеджерами как выходящий за рамки допустимого. В результате инновационный проект становится менее привлекательным в сравнении со стандартными инвестициями в расширение производства. Поэтому необходимо обеспечить предварительную и промежуточную оценку эффективности инновационного проекта, которая позволяла бы делать обоснованные выводы о необходимости продолжения, прекращения или корректировки стратегии реализации проекта. При этом, с одной стороны, важно уделить внимание промежуточной оценке, которая позволит оперативно и своевременно вносить необходимые изменения, а с другой – решить проблему оценки проекта, как комплекса возможностей, то есть учесть тот факт, что инвестиции в инновации во многом есть приобретение информации (через исследования, покупки ноу-хау), распорядиться которой можно различными способами. Другими словами, необходимо учесть взаимосвязь высокого риска и больших возможностей не только качественно, но и количественно.

Концепция метода реальных опционов в значительной степени отвечает обозначенным задачам по управлению инновационными проектами. Предположение базируется на том, что данный метод в первую очередь призван учитывать будущую неопределенность как ценность. Чем выше неопределенность, тем выше ценность реального опциона. Включение реальных опционов в проект предоставляет возможность адаптации проекта к изменяющимся условиям внешней среды, тем самым уменьшая негативное воздействие неопределенности на результаты проекта.

Суть рассматриваемого подхода заключается в выявлении и использовании общих характеристик между управленческими решениями и финансовыми опционами. Если финансовый опцион – это ценная бумага, дающая своему владельцу в будущем право купить или продать актив по установленной цене, то многие управленческие решения в определенной части могут иметь форму права на те или иные действия в будущем.

На практике управления проектами достаточно распространенным заблуждением является то, что основная функция менеджера заключается в контроле за реализацией проекта по заранее определенному наиболее вероятному сценарию. На самом деле активный менеджер может сделать гораздо больше, в частности, в его власти:

- сократить, приостановить или нейтрализовать негативные процессы, которые могут начаться при осуществлении проекта;

• развить позитивные черты проекта, тиражировать его опыт на других объектах;

• отсрочить проект до получения новой информации, имеющей коммерческую ценность;

• изменить корпоративную, инвестиционную или финансовую стратегию в соответствии с новыми условиями;

• сократить в контрактах негативную сторону рисков, увеличив позитивную;

• воспользоваться новыми возможностями финансирования проектов и корпораций, оперативно изменять структуру и стоимость капитала [1].

Большинство инновационных проектов содержат реальные опционы, которые часто игнорируются и недооцениваются, если решения структурируются на основе традиционного финансового анализа. Без фундаментального изменения склада мышления будущие благоприятные возможности можно не распознать как реальные опционы, а опционами, которые невидимы, невозможно управлять и оценить.

Традиционный подход на основе дисконтированных денежных потоков на протяжении десятилетий составлял основу управленческой теории и практики. Однако в последние годы произошли значительные изменения, их суть представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение традиционного взгляда и перспективы реальных опционов в принятии управленческих решений [2]

Традиционный подход (дисконтированные денежные потоки)	Альтернативный подход (реальные опционы)
1. Рассматривает неопределенность как риск, который снижает ценность инвестиции	1. Рассматривает неопределенность как благоприятную возможность, которая увеличивает ценность
2. Придает будущей информации небольшое значение	2. Будущая информация ценится очень высоко
3. Признает только материальные доходы и затраты	3. Высоко ценится гибкость и другие нематериальные вещи
4. Предполагает строго определенную последовательность решений	4. Последовательность решений формируется на основе будущей информации и усмотрения менеджмента

Реальный опцион является правом или возможностью принятия некоторого управленческого решения в будущем. При этом обязательным предполагается наличие двух условий:

1) Реальный опцион должен быть «заготовлен» с самого начала, при этом он должен быть связан хотя бы частично с необратимыми затратами;

2) Реальный опцион предусматривает наличие у менеджера гибкости в принятии решений в связи с тем, что будущая ситуация является неопределенной. При этом к моменту исполнения опциона предполагается, что неопределенность снизится, то есть менеджер будет обладать большей информацией [3].

В связи с вышеизложенным реальный опцион можно рассмотреть как приобретение предприятием путем осуществления некоторых затрат права принятия определенного управленческого решения в будущем, которое сопровождается снижением неопределенности будущего в период между приобретением опциона и решением по исполнению права.

Приведем примеры привязки реальных опционов к управлению инновациями:

1) Инвестирование в знания. Например, обучение персонала или заказ на исследование. В результате предприятие получает некий нематериальный ресурс, позволяющий ему начать тот или иной вид деятельности, скорректировать свое текущее поведение;

2) Концессионные и патентные отношения. Здесь помимо очевидной аналогии с финансовыми опционами, как приобретение права на определенный вид деятельности имеется и скрытая, как, например, принятие решения на замораживание добычи на концессионной территории, как опцион ожидания лучшей конъюнктуры [4];

3) НИОКР могут рассматриваться как реальные опционы.

При использовании метода реальных опционов появляется возможность формирования диверсифицированного портфеля решений, что позволяет более гибко оценивать и корректировать менеджмент проекта.

Рассмотрим классификацию реальных опционов, представленную в табл. 2.

Таблица 2

Классификация реальных опционов

Классификационный признак	Вид реального опциона	
Вид управленческого решения	Опцион прекращения	
	Опцион ожидания	
	Опцион изменения объема выпуска	Опцион расширения
		Опцион сокращения
	Опцион корректировки стратегии сбыта	
	Опцион тиражирования опыта	
	Опцион корректировки стоимости капитала	
Тип комбинации	Комбинация последовательных опционов	
	Комбинация параллельных опционов	Комплексный опцион
		Радужный опцион
Тип неопределенности	Опцион, связанный с внутренней неопределенностью	
	Опцион, связанный с внешней неопределенностью	

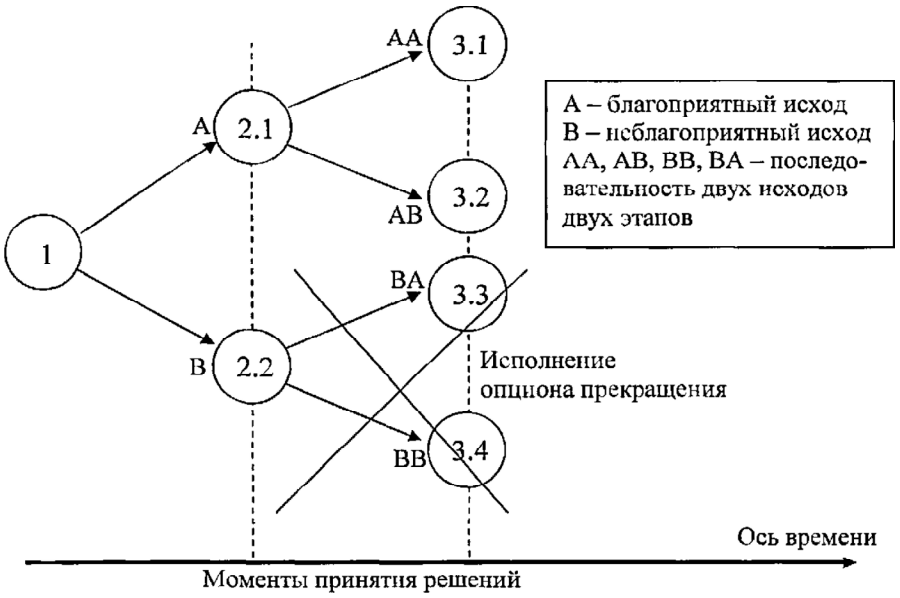


Рис. 1. Реальный опцион прекращения [5]

Проанализируем реальные опционы по виду управленческого решения:

1) Опцион прекращения (рис. 1). Так как по мере реализации проекта инвестиции осуществляются, на разных этапах и в разных объемах, в ряде случаев есть возможность отказаться от продолжения реализации проекта в силу неблагоприятной рыночной ситуации или получения новой информации внутреннего характера о проекте. В то же время опцион прекращения является опционом начала нового вида деятельности, требующего подготовительных шагов. Решение о запуске этих шагов будет в свою очередь исполнением опциона начала нового вида деятельности. При неблагоприятном исходе потери предприятия ограничатся только инвестициями на начальном этапе;

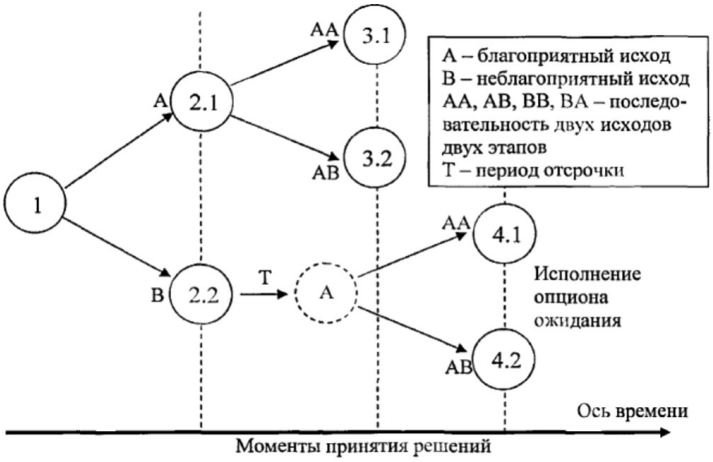


Рис. 2. Реальный опцион ожидания [5]

2) Опцион ожидания (рис. 2). При осуществлении концессионных и патентных отношений целесообразно воспользоваться своим монопольным правом в период наиболее выгодных значений рыночных показателей. Так, например, сначала может быть приобретено право, осуществлена подготовка производства или добычи, а по состоянию рынка в момент времени 2, будет принято решение о времени запуска. При этом горизонт планирования должен быть расширен, так как требуется оценка вероятностей благоприятного и неблагоприятного исхода по окончании периода ожидания. В частности, ситуации 4.1 и 4.2 могут отражать благоприятный и неблагоприятный периоды ожидания, то есть короткий и продолжительный;

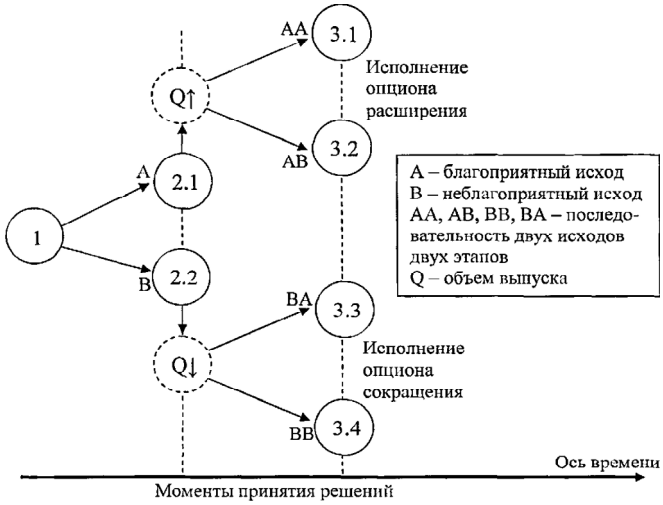


Рис. 3. Реальный опцион изменения объема выпуска [5]

3) Опцион изменения объемов выпуска (опцион расширения, опцион сокращения) (рис. 3). Например, по итогам проведения НИОКР, когда определяются конкурентные преимущества нового продукта, или по результатам начала продаж становится понятен реальный потенциал рынка, от которого будет зависеть производственная программа. Для того, чтобы иметь возможность применить опцион расширения или сокращения, необходимо понести дополнительные затраты, например, приобретение резервных мощностей или поиск покупателей избыточных активов. Все это полностью не снимает неопределенность в отношении дальнейших событий, поэтому второй уровень древа не исчезает. Возможна как комбинация из опционов на расширение и сокращение, так и их существование по отдельности;

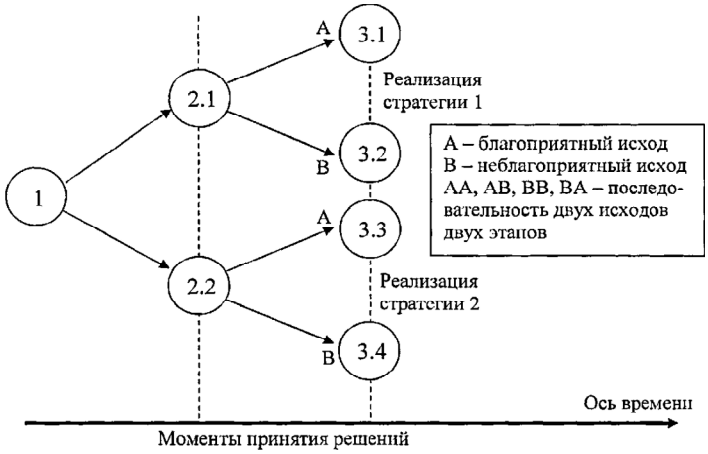


Рис. 4. Реальный опцион корректировки стратегии сбыта [5]

4) Опцион корректировки стратегии сбыта (рис. 4). После проведения пробного маркетинга или начала продаж поступает информация по эффективности выбранной политики дистрибуции. Корректировка стратегии сбыта приведет к получению различных денежных потоков. В таком случае не всегда можно сказать о том, что один из прогнозируемых исходов, давших информацию о продажах, благоприятный, а другой – нет. При этом не всегда речь идет о выборе из двух заранее составленных стратегий. Ситуация может предполагать выбор между разработанной заранее стратегией и формированием новой на основе новой информации;

5) Опцион тиражирования опыта. Подразумевает возможность применения полученного при реализации проекта опыта на другие области интересов предприятия. Речь идет о возможности «отрепетировать» ту или иную рыночную ситуацию, методику, технологию и применить полученные результаты в новых проектах;

6) Опцион корректировки стоимости капитала. Рассматривается как возможность принять оперативное решение по изменению стратегии финансирования проекта (например, получение кредита под более выгодную ставку, изменение структуры финансирования за счет высвобождения дополнительных собственных средств).

По типу комбинации реальные опционы можно разделить на группы:

1) Комбинация последовательных опционов, когда приобретенный опцион дает право на покупку другого опциона в будущем, при этом приобрести опцион в будущем без покупки предшествующего невозможно;

2) Комбинация параллельных опционов (опционы переключения). Довольно часто это опционы прекращения. Эта ситуация характерна для научных исследований, когда предприятие одновременно ведет множество разработок, из которых лишь немногие дойдут до воплощения и коммерциализации. По мере продвижения в исследовании и поступления рыночной информации часть исследований будет закрыта, часть приостановлена, а часть результатов найдет применение в другом параллельном исследовании [6].

Параллельные опционы можно подразделить на комплексные и радужные. Комплексный опцион имеет место, когда входящие в него опционы зависят от одного и того же источника неопределенности. Например, рассмотрим два сценария поведения рынка: оптимистичный и пессимистичный. В одном случае будет исполнен опцион расширения, а в другом опцион сокращения или прекращения. В обоих случаях основанием для принятия решения будет служить реакция рынка на пробный маркетинг. Радужный опцион подразумевает привязку к нескольким источникам неопределенности. Например, на решение об исполнении того или иного опциона будут влиять не только результаты пробного маркетинга, но и решение собрания акционеров о приоритетных направлениях инвестирования [1].

По типу неопределенности реальные опционы могут подразделяться на опционы, которые связаны с внутренней и внешней неопределенностью. В табл. 3 представлены возможные группы неопределенности инновационного проекта и формирующие их факторы.

Таблица 3

Группы неопределенности инновационного проекта и формирующие их факторы

Группа неопределенности проекта	Вид неопределенности проекта	Формирующие факторы
Внутренняя	Проектная	Сроки
		Сложность работы
	Нематериальная	Человеческие ресурсы
		Патент
		Брэнд
	Финансовая	
	Продуктовая	Качество
		Технические характеристики
Внешняя	Рыночная	Спрос
		Цена
		Конкуренция
	Социально-экономическая	Налогообложение
		Законодательство
		Политическая обстановка
		Социальная обстановка
		Природные катаклизмы

Для применения идеи метода реальных опционов к управлению инновационным проектом необходимо проанализировать инновационный проект, дифференцированный на соответствующие стадии, с точки зрения моментов появления и приобретения реальных опционов, их стоимости и премии.

В процессе планирования этапов проекта имеют место определенные «контрольные точки»: решение о разработке полного комплекта рабочей документации, решение о производстве опытного образца, решение о создании производственной базы.

В случае положительного решения в каждой «контрольной точке» выделяются соответствующие финансовые ресурсы. Поэтому до перехода к следующей стадии проекта должна осуществляться его переоценка. Одной из сторон такого уточнения является снижение технической неопределенности, другой – уменьшение экономической неопределенности проекта [7].

Под реальным опционом в инновационном проекте будем понимать приобретение предприятием путем осуществления некоторых затрат права принятия определенного, связанного с реализацией проекта управленческого решения в будущем, которое сопровождается снижением неопределенности будущего в период между приобретением опциона и решением по исполнению права.

На основе уменьшения неопределенности будет приниматься промежуточное решение о продолжении, отсрочке, отказе от инвестиций или изменении направления проекта.

Стоимость реального опциона представляет собой современную приведенную стоимость денежных потоков, полученных в результате учета возможности исполнения или неисполнения опциона. В самом простом виде, при неисполнении опциона денежный поток отрицателен и равняется премии по опциону, а при исполнении денежный поток равен выплате по опциону.

Под премией реального опциона будем понимать затраты на приобретение соответствующего права. В ряде случаев право совершить действие или, точнее, возможность его совершить состоит в приобретении информации, поступающей в распоряжение компании через осуществление аналитических работ. Результаты этих работ будут основанием для принятия соответствующего решения при реализации инновационного проекта, а стоимость этих работ будет составлять премию реального опциона.

Рассмотрим стадии реализации инновационного проекта с выделением моментов приобретения реальных опционов, их стоимости и величины премии (табл. 4).

Таблица 4

Реальные опционы в инновационном проекте

Содержание стадии (этапы)	Реальный опцион	Стоимость реального опциона	Инвестиции / величина премии по опциону
1. Предпроектная стадия			
Выявление проблем в хозяйственной деятельности предприятия, требующих научно-технического решения. Выявление потребностей предприятия в новой технике, технологиях, иных результатах инновационных проектов. Мониторинг перспективных научно-технических разработок. Анализ инновационных предложений научных, учебных и иных организаций.	Отсрочка инвестиций на стадии 2	Увеличение NPV за счет более удачного выбора времени осуществления базовых инвестиций за вычетом потерь денежных потоков в периоды отсрочки	Затраты на сбор информации и аналитические операции
	Отказ от инвестиций на стадии 2	Величина потенциальных убытков от несвоевременных инвестиций	
2. Стадия инициирования			
2.1. Назначение исполнителей	-	-	Инвестиции в кадры, знания, оборудование, создание инфраструктуры, оплата труда исполнителей, накладные расходы
2.2. Определение целей и задач инновационного проекта	-	-	
2.3. Описание совершенствуемых производственных и управленческих процессов	-	-	
2.4. Генерация идей	-	-	
2.5. Отбор идеи	Повторная генерация идей	Увеличение NPV за счет развития более перспективной идеи	Повторное финансирование этапа 2.4 «Генерация идей»
	Отказ от инвестиций на этапе 2.6	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	Оплата труда исполнителей, накладные расходы
2.6. Разработка программы внедрения: - определение комплекса технических, экономических и организационных мероприятий, приводящих к созданию и использованию инновационного продукта; - формирование технического задания на выполнение НИОКР; - составление плана НИОКР; - определение размера финансирования по проекту и каждому этапу плана работ.	-	-	Оплата труда исполнителей, накладные расходы
2.7. Технико-экономическое обоснование	Отсрочка инвестиций на стадии 3	Увеличение NPV за счет более удачного выбора времени проведения НИОКР за вычетом потерь денежных потоков в периоды отсрочки	Стоимость аналитических работ, затраты на сбор и обработку данных
	Отказ от инвестиций на стадии 3	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	

Продолжение табл. 4

3. Стадия НИОКР			
3.1. Научно-исследовательские работы	Отказ от инвестиций на этапе 3.2	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах несостоятельного проекта	Оплата труда исполнителей, износ оборудования, затраты на проведения эксперимента
3.2. Опытно-конструкторские работы: - изготовление опытных образцов; - разработка технологической, конструкторской, проектной документации; - разработка нормативно-методических документов; - проведение патентных исследований; - проведение испытаний; - осуществление авторского надзора.	Отказ от инвестиций на этапе 3.3	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	Стоимость работ и материалов, износ оборудования
3.3. Экономический анализ результатов НИОКР	Отсрочка инвестиций на стадии 4	Увеличение NPV за счет более удачного выбора времени за вычетом потерь денежных потоков в периоды отсрочки	Стоимость аналитических работ, накладные расходы
	Отказ от инвестиций на стадии 4	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	
4. Стадия внедрения и использования инновационного продукта			
4.1 Освоение и пробное производство	Изменение в конструкции продукта	Увеличение NPV за счет приобретения продуктом дополнительных конкурентных преимуществ	Затраты на поставку и наладку оборудования, приобретение материалов, сырья, энергии, оплата труда, накладные расходы
	Отказ от инвестиций на этапе 4.2	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	
4.2. Пробный маркетинг	Корректировка стратегии сбыта	Увеличение NPV за счет реализации более эффективной стратегии сбыта	Затраты на продвижение продукции, логистические расходы, сбор и обработка аналитической информации
	Изменение объемов выпуска	Увеличение NPV за счет больших объемов продаж или избежание потерь от перепроизводства	
	Отсрочка инвестиций на этапе 4.3	Увеличение NPV за счет более удачного выбора времени начала промышленного выпуска за вычетом потерь денежных потоков в периоды отсрочки	
	Отказ от инвестиций на этапе 4.3	Величина потенциальных убытков от инвестиций на следующих этапах	

Продолжение табл. 4

4.3. Промышленное производство	-	-	Затраты на наладку оборудования, согласование производственных процессов, приобретение материалов, сырья, энергии, оплата труда, накладные расходы
4.4. Сбыт	Корректировка стратегии сбыта	Увеличение NPV за счет реализации более эффективной стратегии сбыта	Затраты на продвижение продукции, логистические расходы
	Изменение объема выпуска	Увеличение NPV за счет больших объемов продаж или избежание потерь от перепроизводства	
	Консервация	Величина потенциальных убытков от перепроизводства невостребованной продукции, увеличение NPV за счет повторного запуска производства в более удачное для этого время	
5. Стадия завершения			
5.1. Ликвидация, прекращение использования инновационных продуктов	-	-	Затраты на ликвидацию, прекращение использования инновационных продуктов
5.2. Подведение итогов в части получения ожидаемой эффективности проекта	-	-	Стоимость аналитических работ, накладные расходы

Затраты на проведение стадии 1, этапов 2.1-2.4 инновационного проекта составляют базовые инвестиции, которые осуществляет почти любое предприятие. На стадии 1 мы имеем только два опциона, дающих возможность инициировать проект раньше или позже или отказаться от его реализации. На этапе 2.5 осуществляется выбор из всех предложенных идей на этапе 2.4 наиболее работоспособных. Затраты на проведение работ этого этапа относительно невелики. На этапе 2.7 проводится технико-экономическое обоснование, на котором определяется приведенная стоимость инновационного проекта. Стадию НИОКР можно определить как разработку идеи. Окончание данной стадии дает нам комплексное видение проекта со всей сопутствующей технико-экономической документацией и сопоставлением с рыночными реалиями. Все это позволяет принять решение об осуществлении первых значительных капиталовложений. Речь идет о приобретении необходимых основных средств, формировании кадрового состава, освоении, опытном производстве и пробном маркетинге.

Прежде чем перейти к промышленному производству и осуществить вторые значительные капиталовложения на стадии 4.2, обрабатываются результаты пробного маркетинга. На этом этапе может быть произведена вторая существенная корректировка стратегии управления проектом. Пробный маркетинг представляет собой совокупность опционов (корректировка стратегии сбыта, изменение объемов выпуска, отсрочка инвестиций на этапе 4.3, отказ от инвестиций на этапе 4.3).

Этап 4.4 представлен совокупностью опционов: корректировка стратегии сбыта, изменение объемов выпуска, консервация.

На стадии завершения инновационного проекта списывается (ликвидируется) новая техника, прекращается использование технологий, других инновационных продуктов, подводятся итоги инновационного проекта в части достижения поставленной цели, получения ожидаемой эффективности проекта, поэтому рассмотрение реальных опционов на данной стадии представляется нецелесообразным.

В заключение хочется отметить, что реальные опционы являются важным инструментом управления инновационным проектом на всех его стадиях. Научившись находить скрытые возможности проекта, руководитель проекта получает несомненные преимущества, так как может интуитивно оценить выгоду тех или иных возможностей.

Тем не менее, следует заметить, что ряд ученых в области менеджмента подвергают критике метод реальных опционов и призывают осторожно применять идеи «гибкости управления» в силу опасности снизить мотивацию на результат [8]. Речь идет о том, что бывает гораздо эффективнее не допускать вероятности прекращения реализации проекта, чтобы сосредоточить на достижении результата максимум возможных усилий. Необходимо принимать во внимание этот момент при управлении на основе метода реальных опционов и компенсировать падение мотивации соответствующими управленческими воздействиями.

Таким образом, нами было дано определение реальных опционов применительно к инновационному проекту, произведена классификация опционов, а также предложена декомпозиция инновационного проекта с точки зрения моментов возникновения реальных опционов.

Список литературы

1. Лимитовский М.А. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках. – М.: Юрайт, 2008. – 464 с.
2. Черных Е.А. Инновации как реальные опционы, или планирование непредсказуемого // Менеджмент качества, 2008, № 3. – С. 192-201.
3. Бухвалов А.В. Реальны ли реальные опционы // Российский журнал менеджмента, 2006, № 3 – С. 77-84.
4. Перепелица Д. Г. Оценка офсетных проектов с использованием метода реальных опционов // Экон. науки, 2008, № 7. – С. 254-257.
5. Алябушев Д.Б., Баев И.А. Метод реальных опционов: от ценных бумаг к инновациям // Вестник УГТУ–УПИ. Серия «Экономика и управление», 2010, № 3. – С. 52-62.
6. Ковалыдин Е.А., Поманский А.Б. Реальные опционы: оптимальный момент инвестирования // Экономика и математические методы, 1999, № 2 (35). – С. 50-60.
7. Гольдштейн Г.Я. Инновационный менеджмент. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 154 с.
8. Трифоненкова Т.Ю. Оценка эффективности венчурных инвестиций на основе опционного подхода // Инновации, 2008, № 7. – С. 113-116.

Zakieva N.M. – post-graduate student
E-mail: znm88@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Real options as a methodological framework of innovation project management

Resume

An innovation project is absolutely non-linear. It can proceed at unpredictable scenarios and lead to unplanned results of unplanned ways. Therefore it's necessary to provide preliminary and interim evaluation of the effectiveness of the innovation project, that would lead to valid conclusions about the need for continuation, completion or correction for the strategy of project realization. The concept of real options method is largely answers for designated tasks of innovation project management. The assumption is based on the fact that this method firstly considers the future uncertainty as the value. The inclusion of real options in the project provides an opportunity to adaptation of project to changing environmental conditions, thereby reducing the negative impact of uncertainty on the results of the project.

The real option is the right or the possibility of management decision in the future. By using the method of real options, there is the possibility of forming a diversified portfolio, which allows more flexibility to evaluate and correct project management.

In this article the concept of real option with respect to an innovation project is considered, a classification of options is given, also decomposition of an innovative project in terms of appearance moments of real options is proposed.

Keywords: an innovation, an innovation project, uncertainty, real option, innovation project management.

References

1. Limitovsky M.A. Investment projects and real options in emerging markets. – M.: Yurait, 2008. – 464 p.
2. Chernykh E.A. Innovation as real options, and planning for the unpredictable. // Quality Management, 2008, № 3. – P. 192-201.
3. Bukhvalov A.V. Is it realistic to real options // Russian Management Journal, 2006, № 3. – P. 77-84.
4. Perepelitsa D.G. Evaluation of offset projects using the real options // Econ. science, 2008, № 7. – P. 254-257.
5. Alyabushev D.B., Baev I.A. The method of real option: from securities to innovation // Journal of USTU. A series of «Economics and Management», 2010, № 3. – P. 52-62.
6. Kovalydin E.A., Pomansky A.B. Real options: optimal time of investment // Economics and Mathematical Methods, 1999, № 2 (35). – P. 50-60.
7. Goldstein G.Y. Innovation management. – Taganrog: Publisher TSURE, 1998. – 154 p.
8. Trifonenkova T.U. Evaluating the effectiveness of venture capital investments based on the option approach // Innovation, 2008, № 7. – P. 113-116.

УДК 332.834.13
Пермичев Н.Ф. – доктор экономических наук, профессор
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65
Миронова Е.А. – бухгалтер
E-mail: terra_52@mail.ru
Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов
Адрес организации: 607680, Россия, Нижегородская область, Кстовский район, д. Афонино, ул. Первомайская, д. 211А

Стимулирование застройщика при аукционном распределении земельных участков

Аннотация
Стимулирование строительных предприятий, участвующих в аукционных процессах, возможно уже на этапе аукционного распределения земельных участков под застройку объектами недвижимости. Для этого организаторам земельных аукционов рекомендуется использовать принципы коммерческого кредитования строительных организаций, обеспечивая им тем самым равномерность в использовании своих оборотных средств без существенного одноразового изъятия денежных средств из своего и так ограниченного бюджета.

Предложена и рассмотрена схема использования механизма коммерческого кредитования организаторами земельных аукционов застройщиков земельно-имущественных комплексов.

Ключевые слова: кредитование, риск, застройщик, оборотные средства, заемные средства, собственные средства, рентабельность.

В соответствии с действующим Земельным кодексом участки под застройку объектами недвижимости распределяются на земельных аукционах, проводимых в отношении только тех участков, которые прошли кадастровый учет. Особенность современного аукционного распределения земельных участков заключается в его фискальном характере. Участок достается тому, кто заплатит организатору аукциона за земельный участок большую цену. Это приводит к тому, что застройщики для приобретения земельного участка одноразово вынуждены изымать значительные суммы из своих оборотных средств, существенно ухудшая тем самым свое финансовое положение.

Продолжающийся финансовый кризис и так приводит к снижению объемов строительного производства, снижению инвестиционной активности инвесторов и самих предприятий строительного комплекса. В сложившихся условиях целесообразно принимать самые активные меры для стимулирования предприятий строительного комплекса на каждом этапе строительства объектов недвижимости, включая его первый этап – приобретение под застройку земельного участка.

По нашему мнению, стимулирование строительных предприятий, участвующих в аукционных процессах, возможно уже на этапе аукционного распределения земельных участков под застройку объектами недвижимости. Для этого организаторами земельных аукционов рекомендуется использовать принципы коммерческого кредитования строительных организаций, обеспечивая им тем самым равномерность в использовании своих оборотных средств без существенного одноразового изъятия денежных средств из своего и так ограниченного бюджета. С другой стороны, и организатор аукциона получает свою выгоду за счет существенного снижения риска несвоевременного возврата будущих заемных средств.

Модель кредитования здесь довольно простая, а ее суть заключается в следующем. При проведении земельного аукциона выигравший по условиям аукциона земельный участок застройщик получает от организатора аукциона дополнительно коммерческий кредит под заранее оговоренные проценты. Застройщик получает возможность выплатить всю сумму за земельный участок только частично и за счет заемных средств (ЗС)

организатора аукциона. Другая часть выплачивается постепенно за счет собственных средств (СС) заемщика. Тем самым проявляются два положительных момента:

- организатор аукциона существенно снижает свои риски от возможно длительной процедуры получения от застройщика денег за оплату проданного земельного участка;

- застройщик, участник аукциона, получает возможность не изымать значительные ресурсы из своих оборотных средств, а направляет высвобождаемые денежные средства в свою основную деятельность.

Кредитование застройщика при приобретении земельных участков под застройку является одним из возможных механизмов эффективного управления денежными потоками строительных предприятий в части сроков и направлений их использования, снижения уровня риска и роста эффективности оборотного капитала. Отметим попутно, что в общей структуре активов строительных организаций оборотные активы занимают от 12 до 75 и более процентов. Понятно, что рост оборотного капитала существенно повышает конкурентоспособность и коммерческую устойчивость строительного предприятия. Отсрочка и/или рассрочка платежа за землю предоставляется строительному предприятию на время периода полной застройки земельного участка объектами недвижимости. После ввода в эксплуатацию, когда земельно-имущественный комплекс начинает генерировать доход, в рассрочку (по частям) организатору аукциона выплачивается основной долг и проценты за коммерческий кредит.

Обязательными условиями кредитования участника аукциона от строительства являются следующие:

– наличие у застройщика экономически обоснованного и эффективного проекта застройки объектами недвижимости земельно-имущественного комплекса, располагаемого на выделенном земельном участке;

– предоставление организатору аукциона имущественного залога в виде земельного участка, выделенного под застройку объектами недвижимости.

Следует отметить, коммерческое кредитование организаторами аукционов застройщиков земельно-имущественных комплексов является не до конца изученным направлением развития регионального строительного комплекса. Это связано с тем, что к проектам по застройке городских и муниципальных территорий земельно-имущественными комплексами, рассматриваемыми сегодня как единый объект недвижимости, активный интерес проявляют [1]:

– районные и городские власти, решающие вопросы по развитию своих городов и муниципальных образований в современном стиле за счет роста бюджетной составляющей;

– строительный комплекс, получающий многомиллионные заказы на застройку земельно-имущественных комплексов на территории крупных городов и муниципальных образований;

– инвесторы, ищущие варианты безопасного и выгодного вложения своих средств на длительную перспективу и ожидающие от их эксплуатации активную генерацию денежных потоков в течение длительного периода времени.

Однако известно и другое. Освоение таких крупных проектов, как земельно-имущественные комплексы, требует привлечения значительных инвестиций с длительным сроком окупаемости, в которых и сегодня, по-прежнему, ощущается острая нехватка как у инвесторов, так и предприятий строительного комплекса. Комплексное решение этой проблемы, лежащей на стыке проблем инвестирования, управления проектами и развития городских и муниципальных территорий, возможно на основе инновационных подходов к стратегическому планированию, инвестированию, кредитованию и управлению процессами застройки земельно-имущественных комплексов и их эксплуатации.

Кредитование организаторами аукционов застройщиков, выигравших конкурсы по продаже подходящих земельных участков, позволяет застройщикам в полной мере реализовать так называемый *«эффект рычага»*, когда эффективное использование заемных средств (ЗС) позволяет существенно повысить не только рентабельность собственных средств заемщика, но и увеличить прибыль держателей обыкновенных акций.

Известно, что экономическая эффективность производственной деятельности застройщика определяется как отношение *эффект/затраты* [2].

Если достигнутый эффект – прибыль, то показателем экономической эффективности является экономическая рентабельность ($R_э$):

$$(R_э) = \frac{\text{прибыль (П)}}{\text{активы (А)}} \times 100. \quad (1)$$

Если для финансирования застройки того или иного земельно-имущественного комплекса суммарно привлекаются заемные средства (ЗС) и собственные средства (СС), то получим:

$$А = СС + ЗС \quad (2)$$

Заемные средства берутся под ставку процента ($С_{\%}$) и далее, если ($R_э$) > $С_{\%}$, то образуется *дифференциал рычага*, равный ($R_э – С_{\%}$), означающий превышение экономической рентабельности над ставкой процента. К примеру, пусть $R_э = 20$; $С_{\%} = 10$; *дифференциал рычага* до оплаты налога на прибыль будет равным: 20 – 10 = 10. После оплаты налога на прибыль, по ставке 1/5 прибыли, *дифференциал рычага* составит (4/5) х 10 = 8.

Отношение ЗС/СС именуется *плечом рычага*.

Экономический рычаг – выгода застройщика от использования заемных средств по отношению к собственным средствам – определяется *эффектом рычага* по формуле:

$$\text{Эффект рычага (\%)} = \left(\frac{100 - Н}{100}\right) \times (R_э - С_{\%}) \times ЗС/СС, \quad (3)$$

где Н – ставка налога на прибыль, %;

100 – Н /100 – доля чистой прибыли, остающаяся у застройщика после уплаты налога на прибыль.

При этом рентабельность собственных средств $R_{сс}$ будет равна:

$$R_{сс} = R_э + (R_э – С_{\%}) \times ЗС/СС = R_э + \text{эффект рычага}. \quad (4)$$

Пример 1. Пусть застройщик в первом варианте финансирует проект застройки земельно-имущественного комплекса *за счет собственных средств*: СС = 6000 тыс. руб.; ЗС = 0, следовательно, ЗС\СС = 0, он рассчитывает получить экономическую рентабельность проекта $R_э = 20$.

Во втором варианте застройщик финансирует тот же проект застройки земельно-имущественного комплекса *за счет собственных средств (СС = 3000 тыс. руб.) и заемных средств (ЗС = 3000 тыс. руб.),* т.е. имеем ЗС\СС = 1,0.

У обоих вариантов прибыль П = $R_э$ х (СС + ЗС) = 0,2 х 6000 = 1200 тыс. руб.

Если налог на прибыль не взимается, то застройщик имеет $R_{СС} = R_э = 20$. Экономический рычаг заемных средств отсутствует. Это в первом варианте.

Во втором варианте при ставке процента 15 рентабельность собственных средств будет равна: $R_{СС} = 20 + (20 – 15) \times 1 = 25$. Эффект рычага в этом случае составляет 5.

Пример 2. Исходные данные те, же что и в примере 1, но застройщик платит налог на прибыль в размере 1\5 П. В данном случае имеет место следующая картина для застройщика земельно-имущественного комплекса:

Таблица

Показатели	варианты	
	первый	Второй
1. Прибыль, тыс. руб.	1200,0	1200,0
2. Финансовые издержки $С_{\%}$ х ЗС / 100, тыс. руб.	-	450
3. Налоги, тыс.руб.	240,0	150
4. Прибыль после уплаты процентов и налога, тыс. руб.	960,0	600
5. $R_{СС}$, %	960,0/6000 х 100 = 16,0	600/3000 х 100 = 20
6. Эффект рычага, %	0	4

Как следует из данных таблицы, второй вариант обеспечивает эффект рычага в 4 процента, которые можно использовать для пополнения оборотных средств застройщика. Это говорит о том, что коммерческое кредитование организаторами земельных аукционов застройщиков существенно повышает уровень их конкурентоспособности, экономической рентабельности и эффективности использования оборотных средств.

Риск в привлечении заемных средств у организаторов земельных аукционов застройщиками (девелоперами) зависит от надежности достижения плановой рентабельности ($R_э$), так как:

– при ($R_э$) > С $_{\%}$ – рентабельность собственных средств повышается;

– при ($R_э$) = С $_{\%}$ – использование заемных средств не приводит к повышению рентабельности собственных средств (точка безразличия);

– при ($R_э$) < С $_{\%}$ – рентабельность собственных средств понижается.

Таким образом, использование механизма коммерческого кредитования организаторами земельных аукционов застройщиков земельно-имущественных комплексов в масштабах всего регионального строительного комплекса может дать значительный эффект.

Список литературы

1. Мокеев А.В. Стратегическое управление объектами земельно-имущественного комплекса. Моногр. – Н.Новгород: Волго-Вятская академия гос. службы, 2010. – 130 с.
2. Круглов М.Н. Стратегическое управление компанией. Учебник для вузов. – М.: Русская Деловая Литература, 1998. – 768 с.

Permichev N.F. – doctor of economic sciences, professor
Nizhny Novgorod State Architecture and Civil Engineering
The organization address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Elias, 65
Mironova E.A. – accountant
E-mail: terra_52@mail.ru
Institute of improvement of qualification managerial staff and specialists
The organization address: 607680, Nizhny Novgorod region, Kstovo area d. Afonino, Pervomayskaya, 211A

Stimulation of the builder with the auction of land allocation

Resume

The stimulation of the construction companies involved in the auction process, it is possible already at the stage of the auction of land plot allocation for construction of objects of the real estate. To do this, the organizers of land auctions is recommended to use the principles of commercial crediting of construction organizations, ensuring the uniformity in the use of their current assets without a significant one-time withdrawal of cash from his, and so the limited budget.

Is proposed and considered the scheme of the mechanism of commercial crediting of the organizers of the land auctions of builders of land and property complexes.

Model of credit is fairly simple, but its essence is in the following. In carrying out a land auction winner according to the terms of the auction of a land plot developer, receives from the organizer of the auction additionally commercial loan at a pre-specified interest. The developer gets the opportunity to pay the whole amount for the land plot only partially and at the expense of borrowed funds the organizer of the auction. The other part is paid gradually at the expense of own funds (SS) of the borrower.

Thus the organizer of the auction of substantially reduce the risks from a possibly lengthy procedure of obtaining from the developer of money for the payment of the sold land plot, but the developer, the participant of the auction, gets an opportunity not to withdraw considerable resources from its own floating assets, and directs the released funds in their core activities.

Keywords: lending to the risk, the developer, working capital borrowings. equity, return on investment.

References

1. Mokeev A. Strategic management of land and property sector. Monograph. – Nizhny Novgorod, the Volga-Vyatka Academy of State. Service, 2010. – 130 p.
2. Kruglov M.N. Strategic management of the company. Textbook for High Schools. – M.: Russian Business Literature, 1998. – 768 p.

УДК 658.012.12
Романова А.И. – доктор экономических наук, профессор
E-mail: aisofi@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Метод диагностики результатов производственно-хозяйственной деятельности предприятий сферы жилищно-коммунальных услуг

Аннотация

В связи с нестабильностью сферы жилищно-коммунальных услуг проблема создания эффективной системы поиска причин несостоятельности (банкротства) отраслевых предприятий приобретает все большую актуальность. По результатам многочисленных исследований в области анализа производственно-хозяйственной деятельности и с учетом отраслевых особенностей сферы жилищно-коммунальных услуг приводятся результаты прикладного использования эконометрической модели дискриминантного анализа для ранней диагностики проблемы банкротства предприятий отрасли ЖКХ.

Ключевые слова: анализ финансово-хозяйственной деятельности, сфера жилищно-коммунальных услуг, банкротство, дискриминантный анализ.

Анализируя экономический механизм возникновения кризисного состояния предприятий ЖКХ и экономические аспекты их неплатежеспособности, можно отметить, что они существенно отличаются от механизма возникновения кризиса основной массы коммерческих предприятий.

Начало возникновению кризиса рассматриваемой отрасли (а не отдельных предприятий) положил процесс либерализации цен на все производимое в России при сохраняющемся их государственном регулировании (сдерживании) на услуги ЖКХ. Это привело к тому, что темпы роста тарифов на жилищные и коммунальные услуги в значительной степени отставали от роста иных цен.

Таким образом, с одной стороны – искусственное сдерживание цен, с другой – реформа ЖКХ, которая предусматривала его перевод на бездотационное функционирование с 1992 года, то есть действуют два взаимоисключающих фактора. При этом исходили из представления о ЖКХ не как о сфере жизнеобеспечения, а как обычной предпринимательской деятельности, которая должна быть рентабельной и регулироваться рыночными отношениями. Замысел реформы сводился к тому, чтобы провести разгосударствление ЖКХ без учета специфики коммунального производства, снять с государства обязанность содержать, развивать и модернизировать главные технические системы ЖКХ. При этом совершенно не учитывалось техническое состояние объектов коммунальной инфраструктуры, по которым долгие годы шло недофинансирование.

Позднее государство, меняя принципы финансирования, сокращая долю бюджетов разных уровней в расходах на содержание жилищно-коммунального комплекса и перекладывая их на население, способствовало быстрому повышению цен и тарифов при одновременном значительном снижении, по сравнению с другими отраслями, заработной платы работников ЖКХ, что привело к ухудшению кадрового потенциала. Расчленение и частичная приватизация отрасли вызвали быструю деградацию ее материально-технической базы. Поэтому основной причиной кризиса ЖКХ является внешний фактор, а именно – за период реализации реформы ЖКХ опережение роста цен и тарифов на первичном рынке услуг (электроэнергия, централизованное тепло – водоснабжение, ГСМ, топливо и др.) увеличилось в разы по сравнению с ростом тарифов на коммунальные услуги, оказываемые предприятиями ЖКХ. Так, в ходе контрольных мероприятий министерствами и ведомствами по Республике Татарстан установлено, что на сегодняшний день практически не применяются процедуры, направленные на восстановление платежеспособности организаций-должников, основной процедурой банкротства является конкурсное производство. В среднем требования кредиторов погашены на 12 %, а большая

часть денежных средств, полученных в ходе процедуры конкурсного производства, направляется на проведение самой процедуры, а не на погашение требований кредиторов. Зачастую эти затраты завышаются искусственно, в основном, это касается расходов на проведение оценки имущества, консалтинговых услуг, организации и проведения торгов, юридического сопровождения, а также услуг по охране имущества.

В связи с этим в установленный законом срок конкурсное производство не завершается. Средний срок конкурсного производства составил 2 года и 9 месяцев. Затягивание процедур банкротства приводит к значительному удорожанию процедуры конкурсного производства. Не способствует обеспечению эффективности конкурсного производства ситуация, когда арбитражный управляющий одновременно ведет ряд дел. Так, некоторые управляющие одновременно работают в более чем 30-и организациях-банкротах. Имущество организаций в ходе процедур конкурсного производства в большинстве случаев реализуется ниже рыночной стоимости, определенной в соответствии с законодательством об оценочной деятельности.

Необходимо отметить также тенденцию вывода активов организаций непосредственно перед введением в отношении них процедур банкротства, что значительно сокращает конкурсную массу, ущемляет интересы кредиторов, а также собственника организаций. В отдельных случаях имущество организаций из-за невозможности оформить права на объекты недвижимости и земельные участки продается на слом.

В таких условиях значительно усложняется процесс диагностики финансово-хозяйственной деятельности предприятий отрасли жилищно-коммунальных услуг. Обобщение имеющихся исследований по теме диагностики банкротства в сфере коммунальных услуг в числе симптомов предкатастрофического состояния организаций ЖКХ позволяет выделить следующие:

1. На протяжении длительного времени происходит вложение в производство финансовых средств, от которого нет отдачи (неверно определен объект инвестиций, которые отягчают финансовое положение организации).

2. Наличие нескольких вариантов устойчивого состояния организации, в которые она может быть переведена небольшими усилиями (например, пассивный сбыт, сдача в аренду площадей, сокращенный вариант производства, сокращение персонала, переход под управление другой организации).

3. Необратимость отклонений в деятельности организации и возможных перемен (утрата способности к восполнению потерь, возвращению кредитов, поставкам продукции по авансовым платежам, перемены в структуре и системе организации).

4. Неуклонное нарастание задолженности по налогам и платежам в темпе не менее 10 % в квартал с учётом инфляции, рост задолженности по зарплате не менее чем 10 % в месяц. Нарастание задолженности перед организациями деловой среды (поставщиками ресурсов и получателями продукции, работ и услуг).

5. Неспособность организации остановить массовые увольнения кадров базовых профессий при низкой зарплате. Групповые увольнения руководителей среднего звена.

6. Нехватка оборотных средств для расширения номенклатуры услуг.

Эти и другие симптомы могут сигнализировать о приближении организации к кризисной ситуации и требуют от менеджмента срочной разработки и осуществления предупредительных мероприятий.

Однако в качестве оценки кризисного положения предприятия целесообразно использовать как количественные, так и качественные показатели. Существует множество (в основном, западных) моделей прогнозирования кризисной ситуации на предприятиях, но они не могут использоваться в качестве универсальных: модель Альтмана, Бивера, Таффлера и Тишоу, credit-men. Однако однозначный вывод по подобным моделям делать нельзя, и свидетельством этому являются серьезные объективные недостатки у всех западных моделей банкротства. Отечественные коэффициенты платежеспособности и финансовой устойчивости, применяемые для определения несостоятельности предприятия, также обнаруживают свое несовершенство: получается явный перекос в сторону гипертрофии неплатежеспособности: три четверти от общего числа предприятий оказываются несостоятельными. Никак не учитывают имеющиеся модели и отраслевых

особенностей. Полагаем, что при выявлении кризисной ситуации отечественной отраслевой организации необходимо анализировать не только показатели ликвидности и финансовой устойчивости, но и уделять особое внимание таким показателям, как фондоотдача, показатель рентабельности, коэффициент капитализации, оборачиваемость активов. Только полное всестороннее обследование деятельности организации позволит дать точный результат о характеристике деятельности, а также позволит выявить скрытые процессы, которые в дальнейшем могут привести к кризису.

В силу вышеприведенных причин возникает необходимость в построении новой количественной модели прогнозирования банкротства с учетом современных реалий.

При построении модели мы частично воспользуемся методикой Э.Альтмана, для чего условимся в первом приближении разделить хозяйствующие субъекты на условно благополучные и условно неблагополучные с финансовой точки зрения. В процессе построения нами многофакторного регрессионного уравнения было обследовано 118 предприятий отрасли жилищно-коммунальных услуг в динамике за пять лет.

Для формализации проблемы классификации удобно интерпретировать многомерное наблюдение (p-мерный объект) как точку в p-мерном пространстве признаков X. Совокупность объектов, относящихся к одному классу (группе) D_i, образует «облако» в этом же пространстве. Для успешной классификации необходимо, чтобы [2, 3, 4]:

а) облако из D_i в основном было сконцентрировано в некоторой области R_i пространства X;

б) в область R_i попала незначительная часть «облаков» объектов, соответствующих остальным классам.

Построение решающего правила можно рассматривать как задачу поиска k непересекающихся областей R_i $(i=\overline{1,k})$, удовлетворяющих условиям а) и б). Дискриминантные функции дают определение этих областей путем задания их границ в многомерном пространстве.

Для нахождения неизвестных коэффициентов регрессионного уравнения воспользуемся линейным дискриминантным анализом, то есть наша цель состоит в построении линейной дискриминантной функции (ЛДФ).

Для случая двух классов D_1 и D_2 использование ЛДФ основывается на двух основных предположениях.

Первое предположение состоит в том, что области R_1 и R_2, где сконцентрирована основная часть объектов, соответствующих классам D_1 и D_2, могут быть разделены (p-1)-мерной гиперплоскостью. Уравнение гиперплоскости записывается в виде:

$$a_1x_1+a_2x_2+...+a_px_p-b=0, \quad (1)$$

где a_1, ….., a_p – коэффициенты, характеризующие наклон гиперплоскости к координатным осям;

b – параметр, характеризующий расстояние гиперплоскости до начала координат.

Гиперплоскость разбивает p-мерное пространство на два полупространства R_1 и R_2, которые определяются неравенствами:

$$R_1: z(X)<b \text{ и } R_2: z(X)>b, \quad (2)$$

где $z(X)=\sum_{i=1}^{p} a_i x_i$.

Условимся относить наблюдение к D_1, если $z(X)<b$, и к D_2 – в противном случае. Соотношение (2) позволяет перейти от p-мерных случайных величин к классификации одномерных величин $z(X)$, когда $X \in Di$.

Второе предположение дает метод определения коэффициентов разделяющей гиперплоскости таким образом, чтобы разделение было наилучшим.

Первоначально при анализе мы воспользовались 14-ю наиболее информативными коэффициентами, характеризующими финансово-хозяйственную деятельность предприятия: коэффициент обеспеченности собственными средствами, коэффициент покрытия, коэффициент покрытия активов чистым оборотным капиталом, коэффициент автономии, коэффициент финансовой устойчивости, общая рентабельность активов, отношение выручки к итогу актива, чистая рентабельность актива, отношение прибыли от реализации к краткосрочным обязательствам, степень общей платежеспособности, финансовый леверидж, рентабельность продаж, коэффициент обеспеченности оборотными средствами, отношение оборотных активов к сумме обязательств.

Приведенные показатели были использованы нами по среднему значению для 118 предприятий за последние 5 лет. Далее мы разделили хозяйствующие субъекты на условно благополучные и условно неблагополучные с финансовой точки зрения, т.е. определим два класса предприятий D_1 (условно благополучные – 1) и D_2 (условно неблагополучные – 0). Для этого воспользовались шестью коэффициентами из 14 указанных, согласно значениям которых определили суммарное количество баллов по каждому предприятию. После детально проведенного анализа было решено отобрать в качестве переменных уравнения следующие коэффициенты: коэффициент покрытия (x_1), коэффициент автономии (x_2), коэффициент фондоотдачи (x_3), отношение прибыли от реализации к выручке от реализации (x_4). С использованием программного продукта SPSS были определены коэффициенты, характеризующие наклон гиперплоскости:

$$IPS= 2{,}326\ x_1 + 2{,}202\ x_2 + 0{,}069\ x_3 + 0{,}103\ x_4 – 1{,}381. \quad (3)$$

Подставив в данное уравнение соответствующие значения переменных каждого предприятия, получим искомую информацию для ранжирования организаций по их финансовой устойчивости: так называемый IPS-критерий (IPS – identification of plant situation).

Итак, нами была получена дискриминантная функция, которая учитывает специфику отрасли жилищно-коммунальных услуг. В дальнейшем эту функцию желательно время от времени тестировать на новых выборках с целью уточнения ее дискриминантной силы. После определения IPS-значения каждого предприятия можно ранжировать по этому показателю, то есть определить, какие предприятия условно более благополучные, а какие менее благополучные по отношению друг к другу.

Выполнив подобные расчеты для массы предприятий сферы жилищно-коммунальных услуг, можно получить факторную модель прогнозирования вероятности банкротства в коммунальном комплексе с граничными критериями для ранжирования предприятий по их финансовому состоянию на конкретный период времени.

Данный подход не заменяет собой подробного анализа производственно-хозяйственной деятельности коммунального предприятия, но позволяет аналитику и руководителю проводить сравнительную оценку результатов экономической деятельности своего предприятия с конкурентами и имеет перспективы развития, так как может быть качественно преобразован изменением входящих показателей.

Список литературы

1. Романова А.И., Мухаррамова Э.Р., Ахметов Ш.Р. Выявление кризисной ситуации на предприятиях рынка строительных услуг // Вестник ИНЖЭКОНа, 2010. – СПб., № 6. – С. 58-63.
2. Романова А.И., Юнусов И.И. Методический прием экспресс-анализа финансового состояния строительных предприятий // Известия вузов. Строительство, 2003, № 12.
3. Каримов М.А. Совершенствование методических подходов к оценке приоритетных направлений развития инвестиционной деятельности (на примере строительного комплекса Республики Татарстан). – Дис. к.э.н. 08.00.05. – Казань: КГТУ, 2009.
4. Енюков И.С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1986.
5. Ким Дж.-О., Мьюглер Г.У., Клекка У.Р. и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989.

Romanova A.I. – doctor of economical sciences, professor
E-mail: aisofi@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The diagnostic method is a result of industrial and business enterprises of housing and communal services

Resume

Deepening of market relations and the development of modern economic analysis and forecasting sharply aggravated the problem of instability of enterprises and organizations of the housing and construction sector. However, in a complex, deformed by recent events, the economy, it would be wrong to go only by strengthening the stability of the financial pressure on the organization. Today is valuable analysis of other factors amenable to adjustments in the process of securing and controlling the stability of construction and utility companies and organizations.

Based on the monitoring of statistics, tendencies of changes in purchasing state, identified the main causes of insolvent enterprises of housing and communal services. Since all the development in the field of evaluation and analysis should take into account the random nature of the modern construction industry, subjected to numerous destabilizing, as mathematical tools used in the article mathematical statistics, factor modeling, discriminate analysis. The successful application of economic and mathematical modeling due to the author of many problems, including determining said account actual production capacity of the organization in the short term future.

Thus, this article presents a methodology to avoid bankruptcy and rank companies according to the degree of stability. Identified results of discriminate analysis and constructed a mathematical model, the variables that influence the efficiency of investment business activities of industrial enterprises, clarify certain model sustainability assessment, which contributes methodological support and makes it possible to perform a comparative evaluation of priority investment sector enterprises.

Keywords: the analysis of financial and economic activity, sphere of housing-and-municipal services, bankruptcy, the discriminate analysis.

References

1. Romanova A.I, Muharramova E.R., Ahmetov Sh.R. Revealing of a crisis situation at the enterprises of the market of building services // Bulletin InZhEKONa, 2010. – SPb., № 6. – P. 58-63.
2. Romanova A.I., Junusov I.I. Methodical reception of the express analysis of a financial condition of the building enterprises // News of high schools. Building, 2003, № 12.
3. Karimov M.A. Perfection of methodical approaches to an estimation a priority thy of directions of development of investment activity (on an example of a building complex of Republic Tatarstan). Diss … 08.00.05. – Kazan: KSTU, 2009.
4. Enukov I.S. Method, algorithms, programs of the multidimensional statistical analysis. – M.: the Finance and statistics, 1986.
5. Kim G.-O., Mjugler G.U, Klekka U.R., etc. Factorial, discriminate and cluster analysis. – M.: the Finance and statistics, 1989.

УДК 339.747
Сахапов Р.Л. – доктор технических наук, профессор
E-mail: rustem@sakhapov.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Абсалямова С.Г. – кандидат экономических наук, доцент
E-mail: s.absalyamova@yandex.ru
Институт экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 4

Инновационная пауза как шанс на технологическую модернизацию российской экономики

Аннотация
В данной статье авторы анализируют состояние и перспективы развития мировой экономики в рамках концепции цикличности экономического развития и гипотезы об инновационной паузе.
Исследуют причины глобального экономического кризиса. Показывают изменения в современной структуре мировой экономики. Обосновывают эффективность использования стратегии догоняющего развития на примере развивающихся стран.
Сделаны рекомендации для укрепления позиций России в мировом хозяйстве.
Ключевые слова: глобальный кризис, мировая экономика, инновационная пауза, стратегия догоняющего развития, модернизация.

Мировая экономика до сих пор ощущает на себе последствия глобального экономического кризиса 2008-2010 гг. Ведущие индикаторы состояния национальных экономик никак не могут выйти на докризисный уровень. Спад производства наблюдается не только в США и странах ЕС, но и в более успешном Китае. Для объяснения процессов, происходящих сегодня в мировом хозяйстве, как зарубежные, так и российские ученые-экономисты используют различные теории (например, гипотезу случайной синхронизации ожиданий), обращают внимание на негативную роль системы производных ценных бумаг и внебиржевых финансовых инструментов.

Однако, на наш взгляд, наиболее логичным является исследование состояния мировой экономики на основе теории цикличности экономического развития, берущей свое начало от Йозефа Шумпетера, Николая Кондратьева и Саймона Кузнеца. Данная теория представляет процесс развития мировой экономики в виде последовательного замещения крупных комплексов технологически сопряженных производств – технологических укладов (ТУ). Двигателем экономического роста являются базисные инновации («basic innovations» или «general purpose technologies»), которые отличаются от обычных нововведений, прежде всего, тем, что, имеют очень широкую область применения и при соответствующей модификации порождают целое дерево новых технологий, оказывая влияние на многие отрасли народного хозяйства. Ядро технологического уклада образует комплекс технологически сопряженных производств, технологические нововведения, участвующие в его формировании, получили название «ключевой фактор». На сегодняшний день в мировом экономическом развитии выделяют жизненные циклы пяти технологических укладов, включая доминирующий в структуре современной экономики информационный ТУ.

Однако сегодня информационный технологический уклад близок к пределам своего роста и находится в завершающей фазе жизненного цикла. В этот период сокращение вложений в производства доминирующего ТУ приводит к значительному избыточному капиталу, ищущему сферу применения, что вызывает вызревание финансовых пузырей на фондовом, сырьевом рынках и рынке недвижимости. И только неизбежный финансовый кризис способствует переориентации спекулятивных инвестиций на

реальные активы. Начинается преодоление кризисных явлений, и, прежде всего, за счет формирования ядра нового технологического уклада.

Таким образом, характер изменения производства подчиняется закономерностям больших циклов, при этом на динамику влияют революции, войны и другие потрясения, корректирующие течение рассматриваемой кривой производства (как указывал Н.Д. Кондратьев).

В период спада производства, особенно в интервалах стагнации после падения, идет накопление научно-технических разработок (НТР) с большей интенсивностью, чем в периоды стационарного изменения производства; можно утверждать, что плотность научно-технических разработок в этих интервалах значительно повышается. Длительность периодов накопления результатов НТР составляет до 20-25 лет (по Кондратьеву) с переходом на возрастающую ветвь.

Если f(t) и $f_1(t)$ – плотности НТР в периоды стагнации после спада и монотонного развития производства соответственно; $\hat{\Phi}_{НТР}$ и $\hat{F}_{НТР}$ – средние значения процесса накопления НТР при f(t) и $f_1(t)$ соответственно; $T_ц$ и T – длительности цикла и периода накопления НТР соответственно, то

$$\hat{\Phi}_{НТР} = \frac{\int_T f(t)dt}{T}; \quad \hat{F}_{НТР} = \frac{\int_{T_ц - T} f_1(t)dt}{T_ц - T}; \quad \hat{\Phi}_{НТР} \geq (2{,}0 \ldots 2{,}5)\hat{F}_{НТР}.$$

Схематично эти соотношения представлены на рис.

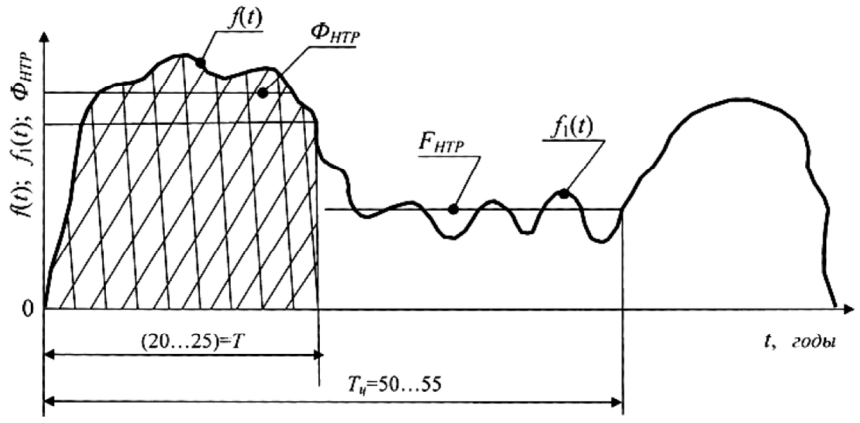


Схема изменения плотности НТР в течение цикла

Подготовке к возрастанию объемов производства способствует благоприятная внешняя конъюнктура или благоприятная ситуация во внешней среде, определяемая, в основном, общественными потребностями соответствующего продукта или прогнозируемой динамикой рынка в целом.

Уровень благоприятствования внешних условий $C_{вост}$ (уровень востребованности) можно оценить соотношением:

$$C_{вост} = \frac{общественная\ \ потребность\ \ (прогноз)}{объем\ \ производства\ \ (прогноз)} > 1.$$

При этом для использования приведенного соотношения на перспективу величины и числителя и знаменателя следует прогнозировать.

В периоды наибольшего понижения обычно готовятся коренные организационно-экономические мероприятия регулирующего характера, которые обеспечат переход к дальнейшему росту производства, т.е. готовится система властных решений, вызывающая к жизни восходящую ветвь цикла. Система мероприятий состоит обычно из большого количества различных блоков организационного, распорядительного и экономического характера. Если $\overline{\Omega}_i$ – многомерный вектор, моделирующий систему этих

мероприятий в i-ом состоянии, т.е. в период подготовки к нарастанию производства, $\overline{\Omega}_{i-1}$ – моделирующий вектор в предшествующем цикле, $Э_{ор.}$ – уровень эффективности организационно-экономического решения, то:

$$Э_{ор} = \frac{\overline{\Omega}_i}{\overline{\Omega}_{i-1}} > 1{,}35 - 1{,}45 \ (прогнозные \ значения).$$

Это значит, что новая система регулирующих организационно-экономических мероприятий должна обеспечить эффективность (или рост производства), по сравнению с системой мер в предшествующем цикле не менее чем на 35 % с учетом вероятности реализации хотя бы на 75-80 %.

Таким образом, взаимодействие трех групп факторов с их динамикой: интенсивное нарастание плотности научно-технических разработок, благоприятная конъюнктура рынка (или условий внешней среды), система регулирующих организационно-экономических мероприятий – приводит к началу нового полуцикла, отражающегося возрастающей ветвью на графиках производства продукции.

Изложенная выше концепция подтверждается и гипотезой об имеющей место в настоящее время инновационной паузе. Инновационная пауза возникает вследствие того, что интенсивность потока вторичных инноваций, порожденных текущими базисными инновациями (информационными технологиями, компьютером и Интернетом), существенно снизилась, а новые базисные инновации еще не появились. Если сформулированная гипотеза верна, то, вероятно, мировой экономике предстоит длительный период стагнации до тех пор, пока новые базисные инновации (биотехнологии? нанотехнологии? солнечная энергетика?) не создадут предпосылки для подъема экономики [4].

Как правило, базисные инновации создаются государством в сотрудничестве с крупными компаниями. Поэтому «сворачивание» фондовых рынков и частичную национализацию крупнейших корпораций можно рассматривать как этап подготовки западных экономик к новому инновационному прорыву.

Предшествующий кризису скачок цен на энергоносители и сырье привел к резкому падению прибыльности производства в технологических совокупностях доминирующего ТУ. Это послужило сигналом к массовому внедрению принципиально новых, менее энерго- и материалоемких технологий. Так, член Римского клуба, почетный профессор шести европейских университетов, автор книги «Фактор 5» Эрнст фон Вайцзеккер считает, что новый экономический цикл будет «зеленым», так как его базисные инновации будут основаны на ресурсосберегающих технологиях [2].

В условиях инновационной паузы для развивающихся стран открывается возможность ускоренного развития за счет быстрого формирования технологических совокупностей ядра нового ТУ, а также модернизации его несущих отраслей. Именно сейчас, когда его траектория еще не сформировалась и идет конкуренция альтернативных технологий, развивающиеся страны стремятся захватить лидерство на перспективных направлениях нового ТУ и тем самым укрепить позиции в мировой экономике.

Сегодня наверху мировой технологической пирамиды находится небольшая группа развитых стран – США, Япония, ведущие страны ЕС. Второй уровень занимают страны-кандидаты на повышение технологического статуса (Китай, азиатские драконы, Индия, Бразилия, ряд стран ЕС). Третий слой – 2-3 десятка не определившихся стран, четвертый – страны, не имеющие реальных шансов на технологический апгрейд, или чистые акцепторы второстепенных технологий. Россию эксперты с большим авансом относят ко 2-й группе.

Проблему преодоления технологической отсталости развивающиеся страны решают концентрацией ресурсов на прорывных направлениях нового технологического уклада, многократным повышением инновационной и инвестиционной активности, что обеспечивает новое качество экономического роста.

Сегодня самой динамично развивающейся экономикой мира является Китай. По прогнозу МВФ, даже замедление роста ВВП на душу населения Китая (до 8,8 %) на грядущую пятилетку не лишит его статуса самой динамично развивающейся экономики мира. Следом за Китаем идет Индия – прирост ВВП на душу населения 6,7 % в 2011 году и по прогнозам МВФ – 6,6 % в течение ближайших 5 лет. Прогрессирующий экономический рост Индии позволит ей увеличить вес в глобальной экономике с 2 % в

2009 году до 13 % в 2050 году. Именно Индия сегодня активно инвестирует в нанотехнологии, что дает ей шанс захватить лидерство во многих ключевых областях нового технологического уклада. Доля развивающихся азиатских экономик к 2050 году, по их мнению, составит почти 50 % от мирового ВВП, тогда как доля стран ЕС сократится с 19 % (в 2010 году) до 7 % [1].

По данным доклада Национального научного фонда США, общий объем глобального экспорта продукции хайтека (средства коммуникации, полупроводники, компьютеры и офисное оборудование, фармацевтика, аэрокосмические отрасли) в 2009 году превысил 3 трлн. долл. (в 3 раза выше 1995 г.) Основной объем продукции – 2/3 пришелся на телекоммуникационную, полупроводниковую и компьютерную продукцию. При этом доля недавнего лидера – США – упала с 21 % в 1995 году до 14 %. Доля Японии снизилась с 18 до 8 %. Новым же мировым лидером в мировой хайтек-торговле стал Китай, увеличив свою долю с 6 до 20 %. Из пяти основных категорий высокотехнологичной продукции США лидирует лишь в аэрокосмической отрасли (50 %), страны ЕС в фармацевтике (40 %) и производстве научных инструментов и оборудования (23,5 %). Китай же захватил 40 % рынка компьютеров и офисного оборудования и 22 % экспорта телекоммуникационного оборудования и полупроводников.

Из вышесказанного ясно, что мировая экономика вступила в новый этап своего развития, в котором тон будут задавать страны, относившиеся на протяжении 20 века к периферии мирового хозяйства и сумевшие эффективно воспользоваться шансом, появившимся у них в период замещения технологических укладов.

К сожалению, сегодняшнее экономическое положение России не позволяет ее рассматривать в качестве претендента на роль лидера в мировом хозяйстве. ВВП России сегодня составляет 31-32 % от уровня США, что в 2,5 раза ниже соответствующих показателей Англии, Франции, Германии. По прогнозам рейтинговых агентств, российская экономика будет расти примерно на 4 % в год, что позволит ей к 2050 году занять 15 место, однако разрыв между лидерами и Россией за эти годы только увеличится [3].

Последние годы Россия существовала за счет роста сырьевых доходов. Внутренние механизмы роста так и не были созданы. Ранжирование стран по индексам, характеризующим эффективность инновационной деятельности, подтвердило низкий уровень инновационной активности России. Сегодня Россия занимает 46 место по эффективности инноваций, в то время как Китай занимает 3 место, Индия – 9, Германия – 13, США – 26.Общий же инновационный индекс у России имеет, вообще, 56 ранг. И это несмотря на то, что до 90-х годов прошлого века Россия входила в элитарный технологический клуб.

У нас сохраняется существенный разрыв по ряду индикаторов, характеризующих внедрение инновационных технологий и развитие интеграционных процессов между наукой, образованием и производством. Так, индекс сотрудничества университетов (науки и образования) с промышленностью в России почти в 2 раза ниже, чем в США и Германии и в 1,4 раза ниже, чем в Китае (таблица) [5].

Индекс состояния кластерного развития в России также почти в 2 раза ниже, чем в странах-лидерах мировой экономики, и находится в тесной корреляции с индексом качества российских исследовательских институтов.

Таблица

Состояние инновационной сферы ряда стран

Страны	Индекс сотрудничества университетов и промышленности	Индекс состояния кластерного развития	Индекс исследователей	Валовый расход на исследования и развитие	Индекс качества исследовательских институтов
Россия	44,48	35,76	21,11	20,84	48,93
США	79,82	63,40	-	57,84	82,53
Германия	70,61	64,28	40,29	51,91	81,13
Украина	41,14	30,22	12,86	17,09	43,55
Китай	59,78	64,62	-	29,26	55,37
Индия	45,63	51,78	-	15,99	61,60
Албания	20,31	30,29	-	-	24,45

Как подтверждают исследования, российские высокие технологии еще существуют. Можно выделить группу жизнеспособных отраслей, которые не подверглись необратимому уничтожению в процессе реформирования экономики. Речь идет главным образом об отраслях ОПК. Сегодня надо успеть на базе этих отраслей, для которых фактор времени является критичным, создать потенциал для будущего развития страны. Инновационная пауза открывает новые возможности перед Россией для сокращения ее отставания. Для этого надо построить эффективный механизм кредитования производства, увеличить абсорбционную способность страны и создать эффективную национальную инновационную систему.

Национальная инновационная система России сегодня разбалансирована; ее основные элементы: научно-техническая сфера, промышленные предприятия, инновационная инфраструктура – существуют изолированно друг от друга, между ними отсутствует механизм взаимодействия. Для России в условиях слабого развития транспортной инфраструктуры проект ее создания и обновления может стать мощнейшим локомотивом развития инноваций и одним из «центров кристаллизации» инновационной активности. Именно в области дорожного строительства можно эффективно внедрять передовой зарубежный опыт создания технологических платформ, основанных на соединении трех факторов: внутреннего спроса, интеллектуального капитала и новейших зарубежных технологий.

Вышесказанное уже несколько лет пытается реализовать на практике кафедра «Дорожно-строительные машины» КГАСУ, создав на своей базе международный образовательный центр трансферта современных технологий в области дорожного строительства совместно с германской компанией Wirtgen, эксклюзивным дилером шведской компанией Volvo ООО «Ferronordic Machines», китайской компанией Guilin Huali Heavy Industries Co. Ltd.

Кроме этого, обсуждаются планы создания в ближайшей перспективе дорожного технопарка «Каток», главной целью деятельности которого станет повышение инновационной активности в дорожно-строительной отрасли, создание новых каналов трансферта передовых технологий, повышение эффективности использования инструментов для поддержки инновационного бизнеса.

Определяющим фактором успешной реализации задуманных проектов является наличие научно-исследовательских подразделений КГАСУ, высокий уровень интеллектуального потенциала его сотрудников и выпускников.

В качестве якорного нерезидента возможно привлечение к сотрудничеству международных корпораций, призванных мировых лидеров в данной области (в частности, фирмы Wirtgen, Ferronordic Machines), что будет способствовать диффузии инноваций в дорожно-строительную отрасль Республики Татарстан.

Следующим определяющим моментом в развитии дорожной технопарковой инфраструктуры, должно стать привлечение якорных резидентов, каковыми в Республике Татарстан являются ОАО «Татавтодор», ПСО «Казань», ОАО «Каздорстрой» и другие.

Сегодня Россия получила уникальный шанс на технологическую модернизацию за счет широкомасштабного внедрения эффективных технологий, уже созданных лидерами. Исходя из мирового опыта, стратегия модернизации российской экономики должна сочетать: стратегию лидерства в тех направлениях, где Россия имеет технологическое превосходство; стратегию догоняющего развития и заимствования в отраслях, где наблюдается значительное отставание. При этом необходимо использовать технологическую политику, комбинирующую как рыночные, так и не рыночные каналы трансферта технологий. Реальная оценка своих возможностей, понимание необходимости осваивать западные технологии, прежде чем делать ставку на инновации, постепенное совершенствование институтов, признание приоритета экономических интересов над геополитикой – необходимые предпосылки успешной модернизации российской экономики.

Реализация вышеперечисленных мер позволит России существенно улучшить свое положение в мировом хозяйстве, добившись опережающего становления нового технологического уклада. Если возможности подъема будут упущены, то, как показывает опыт мирового развития, через несколько лет свободные сейчас ниши могут быть заняты

другими странами, и в дальнейшем экономическое развитие России будет идти по инерционному сценарию, ограничиваясь сырьевой периферией мирового хозяйства.

Список литературы

1. Доклад HSBC «The World in 2050» // Global Economics, January, 2011. – 46 с.
2. Костина Г. Экономике придется зеленеть // Эксперт, 2012, № 21. – С. 86-94.
3. Погорелова Ю. Кто будет править миром в 2050 году? // РБК, 2012, № 3. – С. 36-40.
4. Полтерович В.М. Механизм глобального экономического кризиса и проблемы технологической модернизации. //Новая экономическая ассоциация, 2009, № 1-2. – С. 262-266.
5. «The Global Innovation Index 2011» Электронный ресурс: http://www.globalinnovationindex.org. (дата обращения: 15.06.2012).

Sakhapov R.L. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: rustem@sakhapov.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Absalyamova S.G. – candidate of economic sciences, associate professor
E-mail: s.absalyamova@yandex.ru
Institute of Economics and Finance, Kazan (Volga region) Federal University
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Butlerov st., 4

Innovation pause as a chance to the technological modernization of the Russian economy

Resume

World economy is experiencing a global economic crisis. During such periods, the world economic structure and leader-countries are changing, new economic centers are appearing. Authors explore the causes of the global economic crisis and show changes in the present structure of world economy. Also substantiated the efficiency of using the strategy of catching up on the example of developing countries.

Unfortunately, recent years Russia has existed due to an increase of commodity revenues. The internal growth mechanisms have not been established. Today Russia has a unique chance for technological upgrading by large-scale deployment of efficient technologies already developed by the leaders. Based on global experience, the strategy to modernize the Russian economy should be combined: a strategy of leadership in the areas where Russia has the technological superiority, the strategy of catching up and borrowing in industries where there is a considerable lag. If the possibility of lifting will be missed, the economic development of Russia will go on inertial scenario, limited resource periphery of the world economy.

Keywords: global crisis, global economy, innovation pause, strategy of catching up, modernization.

References

1. HSBC «The World in 2050» //Global Economics, January, 2011. – 46 p.
2. Kostina G. The economy will turn green // Expert, 2012, № 21. – P. 86-94.
3. Pogorelova Y. Who will rule the world in 2050? // RBC, 2012, № 3. – P. 36-40.
4. Polterovich V.M. Mechanism of the global economic crisis and the problems of technological modernization. // The New Economic Association, 2009, № 1-2. – P. 262-266.
5. «The Global Innovation Index 2011». http:// www.globalinnovationindex.org. (15.06.2012).

УДК 539.173
Прудников П.В. – доктор физико-математических наук
E-mail: prudnikp@univer.omsk.su
Медведева М.А. – аспирант
E-mail: mmed@mail.ru
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
Адрес организации: 644077, Россия, г. Омск, ул. Мира проспект, д. 55-А
Шакирзянов Ф.Р. – ассистент
E-mail: faritbox@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Численное исследование неравновесной критической динамики структурно неупорядоченных систем с протяженными дефектами структуры вблизи температуры фазового перехода второго рода*

Аннотация

Проведено численное исследование методами Монте-Карло поведения характеристик сильно неупорядоченной модели Гейзенберга с линейными дефектами структуры. Определены статистические и динамические критические индексы для систем при моделировании из полностью упорядоченного состояния.

Были исследованы эффекты старения, проявляющиеся в двухвременной зависимости корреляционной функции и функции отклика от времени приготовления образца t_w и времени наблюдения t-t_w, а также в нарушении флуктуационно-диссипативного отношения.

Ключевые слова: методы Монте-Карло, неупорядоченные системы, коротко-временная динамика, модель Гейзенберга, протяженные дефекты структуры.

Исследование критического поведения неупорядоченных систем остается одной из главных проблем в физике конденсированных сред и вызывает большой интерес, потому что все реальные твердые тела содержат дефекты. Структурный беспорядок нарушает трансляционную симметрию кристалла и тем самым существенно усложняет теоретическое описание материала. Учет влияния дефектов особенно важен вблизи критической точки, где поведение системы характеризуется аномально большим откликом на любое даже слабое возмущение.

При теоретическом описании поведения сильно неупорядоченных систем с концентрацией спинов $p \leq 0{,}60$ уже нельзя считать концентрацию дефектов малой величиной, что сильно затрудняет или даже делает невозможным их теоретическое описание. Для описания таких систем разрабатываются специальные численные методы, целью которых является нахождение критических индексов данных систем в зависимости от концентрации дефектов структуры. Впоследствии это позволит выяснить вопрос о существовании нового класса универсальности для сильно неупорядоченных систем.

Наличие дефектов структуры приводит к смене динамики изотропного магнетика, описываемой моделью *J*, на релаксационную динамику модели А по классификации Гальперина-Хоенберга [1]. Однако, согласно критерию Харриса, критическое поведение модели Гейзенберга устойчиво относительно влияния точечного некоррелированного структурного беспорядка. В этом плане, становится очень важным исследование влияния протяженных примесных структур на критическое поведение характеристик модели Гейзенберга.

Для описания сложных протяженных дефектов вводятся различные модели структурного беспорядка. В данной работе исследуется модель Вейнриба-Гальперина с так называемой дальнодействующей изотропной корреляцией дефектов [2], когда парная корреляционная функция $g(x\text{-}y)$ спадает с расстоянием по степенному закону с

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект 2012-1.4-12-000-1004-006).

$g(x\text{-}y)\sim|x\text{-}y|^{-a}$, где a – параметр корреляции дефектов структуры. При наличии в системе протяженных дефектов – дислокаций или плоскостей, ориентированных случайным образом, ее критическое поведение может быть также описано в рамках модели Вейнриба-Гальперина при значениях параметра корреляции $a=d$-1 или $a=d$-2, соответственно, где d − размерность системы. В проведенном в работе [3] теоретико-полевом исследовании трехмерных систем с дальнодействующей корреляцией дефектов в двухпетлевом приближении было показано, что дефекты, обладающие свойством дальней пространственной корреляции, изменяют критическое поведение не только систем с однокомпонентным параметром порядка, как в случае точечных дефектов, но и систем с многокомпонентными параметрами порядка.

Наиболее распространенными в нашей стране вычислительными системами являются кластерные. Для подобных систем задача о критическом поведении неупорядоченных систем допускает крупноблочную декомпозицию. Наиболее эффективная параллелизация методов Монте-Карло возникает при расчете примесной конфигурации со статистическими прогонками на отдельном процессорном элементе. При этом подходе отсутствуют межсетевые обмены между процессорными элементами. Уникальной особенностью методов Монте-Карло является высокая эффективность вычислений на очень большом числе процессорных элементов.

В данной работе впервые исследуется критическое поведение трехмерной сильно неупорядоченной спиновой системы с линейными дефектами структуры, описываемой моделью Гейзенберга, с гамильтонианом:

$$H = -J\sum_{i,j} p_i p_j \vec{S}_i \vec{S}_j, \qquad (1)$$

где $\vec{S}_i = (S_i^x, S_i^y, S_i^z)$ – это трехмерный единичный вектор в узле i, $J>0$ характеризует обменное взаимодействие ближайших спинов, носящее ферромагнитный характер, p_i − случайные переменные, характеризующие замороженный структурный беспорядок в системе (p_i=1, когда узел i занят спином, и p_i=0, когда узел пуст). Общая спиновая концентрация в системе была выбрана равной p=0,60. Полагается, что дальнодействующие эффекты корреляции между точечными дефектами реализуются в виде случайно ориентированных линий с корреляционными характеристиками, спадающими по степенному закону с показателем a=2. Для этого был использован следующий способ создания примесных конфигураций: из заполненной спинами трехмерной решетки случайным образом удалялись линии, параллельные осям координат, до достижения заданной концентрации примесей. Для обеспечения изотропности распределения дефектов в кристалле число удаляемых линий в каждом из трех направлений поддерживалось одинаковым.

В работе [4] для получения критической температуры для слабо неупорядоченной трехмерной модели Гейзенберга с линейными дефектами с концентрацией спинов p=0,80 мы применяли метод кумулянтов Биндера и методику пересечения кривых x / L.

Выражение для кумулянта Биндера можно представить в виде:

$$U_4 = \frac{1}{2}\left(3 - \frac{\left[\left\langle m^4\right\rangle\right]}{\left[\left\langle m^2\right\rangle\right]^2}\right), \qquad (2)$$

где скобки $\langle\mathbf{K}\rangle$ обозначают статистическое усреднение, а скобки $[\mathbf{K}]$ − усреднение по различным примесным конфигурациям. Для неупорядоченных систем вычисление k-го момента намагниченности $m^{(k)}(t)$ осуществляется в виде:

$$m^{(k)}(t) = \left[\left\langle\left(\frac{1}{pL^3}\left|\sum_{i=1}^{N_s}\vec{S}_i p_i\right|\right)^k\right\rangle\right]. \qquad (3)$$

Кумулянт $U_4(L,T)$ имеет важную для описания поведения конечных систем скейлинговую форму:

$$U_4(L,T) = u\left(L^{1/n}\left(T - T_c\right)\right), \qquad (4)$$

не содержащую мультипликативной зависимости от L. Данная скейлинговая зависимость кумулянта позволяет определять критическую температуру $T_c(L=\infty)$ через координату точки пересечения кривых, задающих температурную зависимость $U_4(L,T)$ для различных L. Более того, легко показать, что в критической области при $T \to T_c$:

$$\frac{dU_4}{dT} \sim L^{1/n}, \qquad (5)$$

и следовательно, по максимальному наклону кумулянтов, соответствующих различным L в пределе $L \to \infty$, вблизи точки их пересечения можно определить критический индекс корреляционной длины n.

Для уменьшения эффектов критического замедления обычно используют кластерные алгоритмы Вольфа [5] или Свендсена-Ванга [6]. Отличие этих алгоритмов заключается в том, что в случае однокластерного алгоритма Вольфа строится один кластер, который переворачивается с вероятностью, равной 1, а в случае многокластерного алгоритма Свендсена-Ванга система разбивается на множество кластеров, каждый из которых переворачивается с вероятностью ½. В ходе дальнейших численных исследований было установлено, что в низкотемпературной области для сильно неупорядоченной модели Гейзенберга с линейными дефектами кластерный алгоритм моделирования должен обязательно модифицироваться многокластерным алгоритмом Свендсена-Ванга.

На первом этапе для оценки значения критической температуры была рассчитана температурная зависимость восприимчивости $c = \left[\left\langle m^2 \right\rangle\right] - \left[\left\langle m \right\rangle\right]^2$ для различных линейных размеров решетки L = 32, 48, 64. По положению максимума температурной зависимости восприимчивости на была оценена область значений критической температуры T_c=0.90 J/$k_Б$. Для уточнения значения критической температуры были рассчитаны температурные зависимости кумулянта Биндера и отношения x/L для различных линейных размеров решетки L = 32, 48, 64, изображенные на рисунке 1.

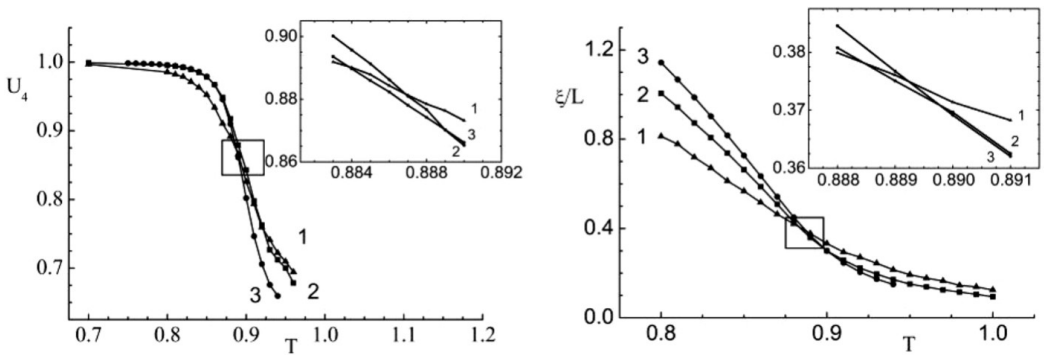


Рис. 1. Зависимость кумулянта Биндера U_4 и отношения x/L от температуры для разных линейных размеров решетки $L=32$ (1), $L=48$ (2) и $L=64$ (3)

Эти кривые были получены усреднением по 1500 конфигурациям примеси для L=32, по 1100 для L=48 и по 300 для L=64, для каждой из которых усреднение проводилось по 25 прогонкам. Для расчета одной конфигурации для системы с линейным размером L=64 на суперкомпьютерной вычислительной системе семейства СКИФ с использованием методов параллельного программирования требуется около 100 часов.

Через координату точки пересечения кривых $U_4(L,T)$ и $x/L(L,T)$, представленных на рис. 1, были определены значения критической температуры T_c=0,8867(50) и T_c=0,8891(13), соответственно. В качестве итогового значения критической температуры было взято среднее значение T_c=0,8879(50). Используя выражение (5), были получены значения критического индекса n для различных линейных размеров L=32, 48, 64 и для различных значений температуры выше критической. Известно, что фазовый переход второго рода может проявиться лишь в термодинамическом пределе, когда объем

системы и количество частиц в ней стремится к бесконечности. Таким образом, эффективное значение критического показателя может быть найдено при взятии предела $T \to T_c$ и $L \to \infty$. Реализация данной процедуры для представленной на рис. 2 зависимости $n(T,L)$ позволяет рассчитать асимптотическое значение индекса n =0,821.

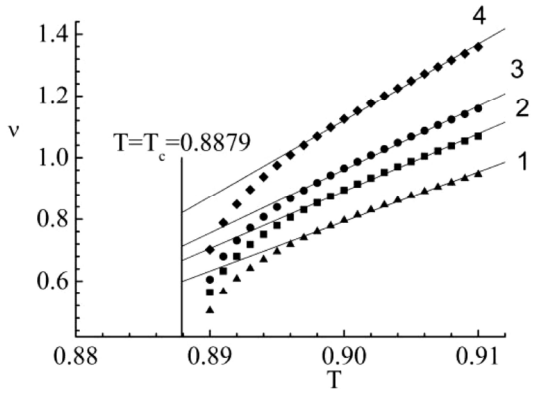


Рис. 2. Температурная зависимость показателя $n(T,L)$ *L=32* (1), *L=48* (2), *L=64* (3) и *L*=∞ (4)

В работе [7] для однородной трехмерной модели Гейзенберга было получено значение n =0,7048(30) и в работе [4] для трехмерной слабо неупорядоченной модели Гейзенберга с линейными дефектами было получено значение n =0,770(74). Сравнивая полученное нами в этой работе значение n со значениями, полученными в выше указанных работах, можно сделать вывод, что данные системы принадлежат к разным классам универсальности, то есть критические индексы, описывающие поведение данных систем в критической точке, меняются с изменением концентрации спинов.

В данной работе исследовалась релаксация намагниченности, которая при критической температуре характеризуется степенным законом $m(t) \sim t^{-b/nz}$. Для независимого определения динамического критического индекса *z* используется кумулянт второго порядка $U_2 = m^{(2)} / m^2 - 1$ со скейлинговой зависимостью $U_2(t) \sim t^{d/z}$, где *d* – размерность системы, *z* – динамический критический индекс, характеризующий асимптотическую зависимость времени релаксации системы и времени корреляции состояний от приведенной температуры по мере приближения к критической температуре $t_{rel}, t_{corr} \sim |T_c - T|^{-zn}$.

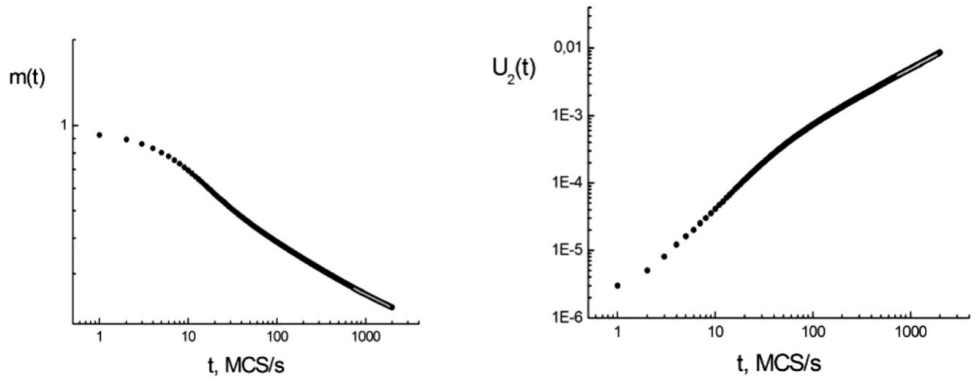


Рис. 3. Временная зависимость намагниченности *m*(*t*) и кумулянта U_2 для системы с линейным размером решетки *L=64* при $T = T_c$ = 0,8879

На рис. 3 представлены временные зависимости намагниченности *m*(*t*) и кумулянта U_2. С помощью линейной аппроксимации на интервале [800; 1720] MCS/s были получены следующие значения показателей b/nz =0,157(3), d/z = 0,769(13) и соответствующие

значения критических индексов z = 3,903(66), b / n = 0,611(16). Интервал, на котором были получены данные индексы, выбирался из минимума среднеквадратичной погрешности аппроксимации исследуемых величин, изображенных на рис. 4.

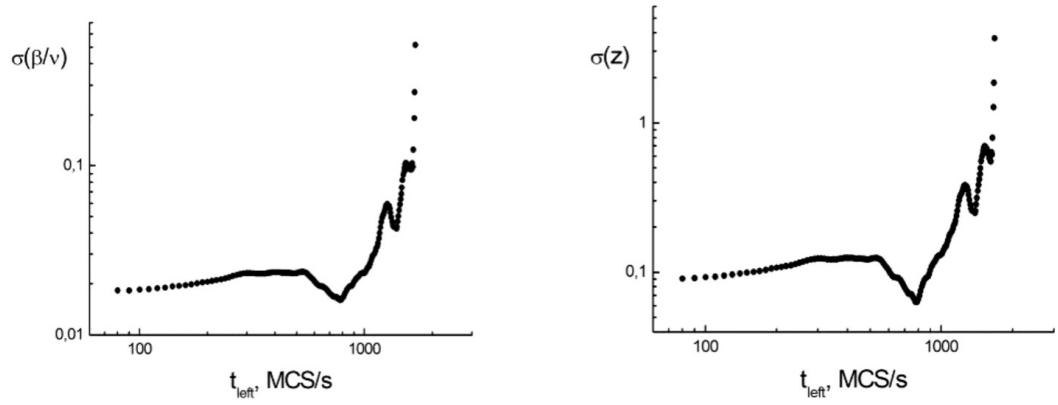


Рис. 4. Зависимость среднеквадратичной погрешности линейной аппроксимации для намагниченности $m(t)$ и кумулянта U_2 от выбора временного интервала [t_{left}; 1720]

Были исследованы эффекты старения, проявляющиеся в двухвременной зависимости корреляционной функции и функции отклика от времени приготовления образца t_w и времени наблюдения t-t_w, а также в нарушении флуктуационно-диссипативного отношения, которое связывает динамическую функцию отклика $R(t, t_w)$ и корреляционную функцию $C(t, t_w)$:

$$R(t,t_w) = \frac{X(t,t_w)}{kT}\frac{\partial C(t,t_w)}{\partial t_w}, \qquad (6)$$

где $X(t, t_w)$ – флуктуационно-диссипативное отношение. В состоянии равновесия $X(t, t_w)$=1. Характеристика неравновесного поведения систем с медленной динамикой $X_{\text{inf}} = \lim_{t_w\to\infty}\lim_{t\to\infty} X(t,t_w)$.

Главной особенностью неравновесного поведения систем с медленной динамикой является нарушение трансляционной инвариантности во времени за счет долговременного влияния неравновесных начальных состояний таких систем. Это находит проявление прежде всего в двухвременных характеристиках системы, таких как: корреляционные функции и функции отклика.

В таких системах наблюдаются свойства старения и нарушения флуктуационно-диссипативной теоремы [8].

Под процессом старения материалов понимают явление роста времени релаксации системы к состоянию равновесия с увеличением «возраста» материала, т.е. времени, прошедшего после приготовления образца [9]. Явление старения проявляется математически прежде всего в двухвременных характеристиках системы, таких как: корреляционные функции и функции отклика. При неравновесных процессах эти функции зависят от двух переменных временной природы: t и t_w, при $t > t_w$, и не только от их разницы, но и от каждой в отдельности. Причем эта зависимость сохраняется и при достаточно больших временах наблюдения t. Временная переменная t_w характеризует возраст образца, т.е. время, прошедшее после его приготовления, и называется временем ожидания. При явлении старения процесс релаксации системы как функции времени наблюдения t замедляется тем больше, чем больше возраст образца, т.е. с увеличением времени ожидания t_w.

В работе осуществлялся расчет автокорреляционной функции $A(t, t_w)$:

$$A(t,t_w) = \left[\left\langle \frac{1}{pL^3}\sum_{i=1}^{pL^3} \mathbf{S}_i(t)\mathbf{S}_i(t_w)\right\rangle\right] - \left[\langle m(t_w)\rangle\right]\cdot\left[\langle m(t)\rangle\right], \qquad (7)$$

представленной на рис. 5, и магнитной восприимчивости $c(t,t_w)$

$$c(t,t_w)=\left[\overline{\left\langle \frac{1}{h^2 pL^3}\sum_{i=1}^{pL^3}\vec{h}_i(t)\vec{S}_i(t)\right\rangle}\right], \qquad (8)$$

черта означает усреднение по реализациям магнитного поля на решётке. Для вычисления $c(t,t_w)$ в момент времени t_w к гамильтониану добавлялось возмущение $\sum_i \vec{h}_i(t)\vec{S}_i(t)$, где магнитное поле случайно задавалось в узлах решётки с бимодальным распределением $\pm h$ для каждой оси.

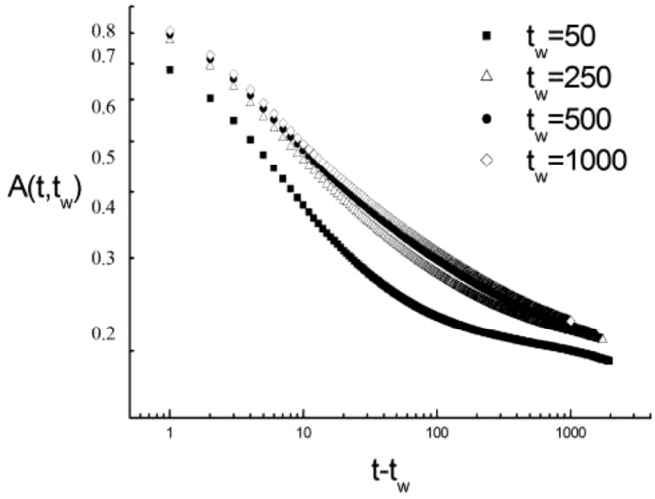


Рис. 5. Поведение автокорреляционной функции $A(t,t_w)$ для различных времен ожидания t_w

Был осуществлен расчет флуктуационно-диссипативного отношения для различных времен ожидания t_w для сильно неупорядоченной системы (рис. 6).

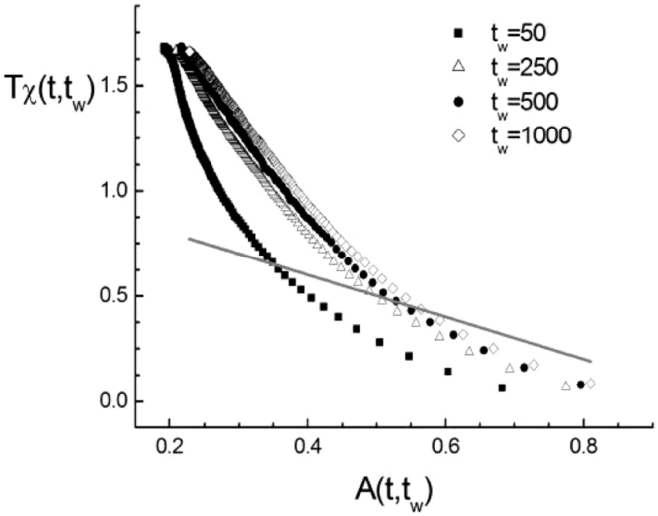


Рис. 6. Расчет флуктуационно-диссипативного отношения для различных времен ожидания t_w для сильно неупорядоченной системы

Показано, что в неравновесном поведении модели Гейзенберга с линейными дефектами наблюдаются эффекты старения. Проведен расчет флуктуационно-диссипативного отношения X_{inf}=3,38(30). Полученное значение X_{inf} в неравновесном режиме для неупорядоченной модели Гейзенберга с линейными дефектами носит универсальный характер.

Список литературы

1. Hohenberg P.C., Halperin B.I. // Rev. Mod. Phys., 1977, V. 49. − P. 435.
2. Weinrib A., Halperin B.I. // Phys. Rev. B., 1983, V. 27. − P. 413.
3. Prudnikov V.V., Prudnikov P.V., Fedorenko A.A. // Phys. Rev. B., 2000, V. 62. − P. 8777.
4. Prudnikov P.V., Medvedeva M.A. // Progr. Theor. Phys., 2012, V. 127, №. 3. – P. 369-382.
5. Wolf U. // Phys. Rev. Lett., 1989, V. 62. − P. 361.
6. Swendsen R.H., Wang J.S. // Phys. Rev. Lett., 1987, V. 58. − P. 86.
7. Chen K., Ferrenberg A.M., Landau D.P. // Phys. Rev. B., 1993, V. 48. − P. 3249.
8. Calabrese P., Gambassi A. Ageing properties of critical systems // J. Phys. A., 2005, V. 38. − P. R133.
9. Struik L.C.E. Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Materials. − Amsterdam: Elsevier, 1978.

Prudnikov P.V. – doctor of physical-mathematical sciences
E-mail: prudnikp@univer.omsk.su
Medvedeva M.A. – post-graduate student
E-mail: mmed@mail.ru
Omsk State University
The organization address: 644077, Russia, Omsk, st. Prospect Mira, 55-A
Shakirzyanov F.R. – assistant
E-mail: faritbox@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, st. Zelenaya, 1

Monte-Carlo simulation of the non-equilibrium critical dynamics of the disordered systems with long-range correlated disorder

Resume

Monte Carlo simulation of the critical behavior of the strong disordered Heisenberg model was carried out. Statical and dynamical exponents were calculated when system started from ordered initial non-equilibrium state.

Ageing phenomena and fluctuation-dissipation deviation were investigated. Ageing phenomena developed in two-time dependence of correlation and response functions of «age» of the system tw and observe time t-tw.

Research showed that these systems belong to different universality classes, that is, the critical exponents describing the behavior of these systems at a critical point, vary with the concentration of spins.

In this paper was implemented the calculation of the autocorrelation function. Found that, in a non-equilibrium behavior of the Heisenberg model with linear defects observed effects of aging. The value obtained in the nonequilibrium regime for a disordered Heisenberg model with linear defects is universal.

Keywords: Monte-Carlo methods, disordered systems, short-time dynamics, Heisenberg models, long-range correlated defects.

References

1. Hohenberg P.C., Halperin B.I. // Rev. Mod. Phys., 1977, V. 49. − P. 435.
2. Weinrib A., Halperin B.I. // Phys. Rev. B., 1983, V. 27. − P. 413.
3. Prudnikov V.V., Prudnikov P.V., Fedorenko A.A. // Phys. Rev. B., 2000, V. 62. − P. 8777.
4. Prudnikov P.V., Medvedeva M.A. // Progr. Theor. Phys., 2012, V. 127, №. 3. – P. 369-382.
5. Wolf U. // Phys. Rev. Lett., 1989, V. 62. − P. 361.
6. Swendsen R.H., Wang J.S. // Phys. Rev. Lett., 1987, V. 58. − P. 86.
7. Chen K., Ferrenberg A.M., Landau D.P. // Phys. Rev. B., 1993, V. 48. − P. 3249.
8. Calabrese P., Gambassi A. Ageing properties of critical systems // J. Phys. A., 2005, V. 38. − P. R133.
9. Struik L.C.E. Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Materials. − Amsterdam: Elsevier, 1978.

УДК 539.3
Христич Д.В. – кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: dmitrykhristich@rambler.ru
Тульский государственный университет
Адрес организации: 300012, Россия, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор
E-mail: kayumov@mail.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

Программа экспериментов по определению главных осей анизотропии материала*

Аннотация

Предложена программа экспериментов, необходимых для определения главных осей анизотропии кристаллических материалов. Рассмотрены материалы, не чувствительные к виду напряжённого состояния, и предположим, что соотношения, связывающие тензоры напряжений и деформаций, при стремлении деформаций к нулю асимптотически приближаются к закону Гука. Разработанная программа состоит из трёх экспериментов на одноосное сжатие. Предложена модификация указанной программы экспериментов, которая позволяет выполнить все необходимые опыты.

Ключевые слова: упругие свойства, анизотропные материалы, эксперимент.

Будем рассматривать материалы, не чувствительные к виду напряжённого состояния, и предположим, что соотношения, связывающие тензоры напряжений и деформаций, при стремлении деформаций к нулю асимптотически приближаются к закону Гука.

Деформируемые твёрдые тела при малых деформациях проявляют свойство упругости. При этом напряжения зависят от деформаций линейно, и эта зависимость описывается законом Гука:

$$S = N \cdot e \,, \qquad (1)$$

где S – тензор истинных напряжений Коши, N – постоянный тензор упругих свойств (тензор упругости) четвёртого ранга, ε – тензор деформаций Коши-Грина.

Анализу структуры и свойств тензора N посвящены многочисленные работы [1-11 и др.]. Этот анализ показывает, что тензор N обладает симметрией: $N_{ijkl} = N_{jikl} = N_{ijlk} = N_{klij}$ – и поэтому имеет 21 независимую компоненту. Такое количество независимых компонент характерно для кристаллов, относящихся к триклинной сингонии [1]. Другие кристаллографические системы имеют некоторое количество элементов симметрии, поэтому тензор N имеет меньшее число независимых компонент: от 2 для изотропного и гиротропного материалов до 13 для моноклинного [12].

Актуальной является задача разработки программы минимального числа экспериментов по определению компонент тензора N. В работе Я.К. Рыхлевского [2] доказано, что для нахождения 21 компоненты тензора упругости в общем случае требуется провести 15 экспериментов на одномерное нагружение и 6 экспериментов на двумерное нагружение.

Однако если известны тип и ориентация главных осей анизотропии материала, то число экспериментов, необходимых для определения констант упругости, сокращается. В монографии [12] предложена программа экспериментов, с помощью которой можно провести классификацию материалов по кристаллографическим системам. Эта программа предполагает проведение от двух до четырёх экспериментов с макрообразцами: 1) нагружение гидростатическим давлением (всестороннее сжатие); 2) растяжение и сжатие одинаковыми усилиями в двух взаимно перпендикулярных

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект 2012-1.4-12-000-1004-006).

направлениях, задаваемых главными осями анизотропии; 3) сдвиги в плоскостях, определяемых главными осями анизотропии. В результате эксперимента по всестороннему сжатию определяют главные значения e_1, e_2, e_3 и главные векторы $\mathbf{r}_{a_1}$, $\mathbf{r}_{a_2}$, $\mathbf{r}_{a_3}$ тензора деформаций e. Знание типа анизотропии материала и ориентации главных осей анизотропии позволяет сократить число одномерных и двумерных экспериментов, необходимых для нахождения компонент тензора упругости для материалов всех сингоний кроме триклинной.

Существенная трудность реализации указанной программы экспериментов состоит в необходимости проведения трёхосного эксперимента – первого в программе. При выполнении такого опыта не представляется возможным измерить изменение размеров образца для определения по ним шести компонент тензора деформаций.

Целью настоящей работы является разработка такой модификации указанной программы экспериментов, которая позволяет выполнить все необходимые опыты.

При всестороннем сжатии образца тензор напряжений имеет вид $S = -s \cdot E$, где $E = d_{ij}\mathbf{r}_i\mathbf{r}_j$ – единичный тензор в декартовой системе координат $Oxyz$ (далее будем работать в этой системе). Этот тензор напряжений можно представить в виде суммы трёх тензоров:

$$S = S_I + S_{II} + S_{III}, \qquad (2)$$

где $S_I = -s\ \mathbf{r}_1\mathbf{r}_1$, $S_{II} = -s\ \mathbf{r}_2\mathbf{r}_2$, $S_{III} = -s\ \mathbf{r}_3\mathbf{r}_3$, каждый из которых описывает сжатие вдоль одной из осей координат. Каждому тензору напряжений S_I, S_{II}, S_{III} соответствует тензор деформаций ε_I, ε_{II}, ε_{III}, связанный с ним законом Гука (1):

$$\begin{aligned} S_I &= N \cdot e_I \\ S_{II} &= N \cdot e_{II} \\ S_{III} &= N \cdot e_{III}. \end{aligned} \qquad (3)$$

В силу линейности закона Гука с учётом формулы (2), складывая уравнения (3), получим:

$$S = S_I + S_{II} + S_{III} = N \cdot (e_I + e_{II} + e_{III}) \qquad (4)$$

Аддитивность представления (4) позволяет заменить опыт по всестороннему сжатию тремя экспериментами по одноосному сжатию, провести которые гораздо проще.

Если выполнить три таких одноосных эксперимента, то главные оси анизотропии материала можно будет определить как главные оси тензора деформаций $\varepsilon = \varepsilon_I + \varepsilon_{II} + \varepsilon_{III}$, который описывает отклик образца на всестороннее сжатие.

Рассмотрим эксперимент по одноосному сжатию вдоль произвольной оси Oz куба $OABCO_1A_1B_1C_1$, занимающего в недеформированном состоянии область $\{0 \le x \le a,\ 0 \le y \le a,\ 0 \le z \le a\}$ (рис. 1).

В деформированном состоянии куб станет косоугольным параллелепипедом $O'''A'''B'''C'''O'''_1A'''_1B'''_1C'''_1$ (рис. 2).

Положение нижней плоскости образца в таком эксперименте фиксировано, и его ориентация как твёрдого тела определяется одним параметром – углом поворота образца вокруг нормали к этой плоскости. Поэтому деформация и ориентация образца определяются семью параметрами, измеряемыми в эксперименте (рис. 3, 4): длины рёбер оснований c_1, c_2, углы g_1, g_2 между сторонами деформированных и исходных нижнего и верхнего оснований, компоненты Δx_{III}, Δy_{III}, Δz_{III} вектора перемещения верхнего основания относительно нижнего.

Координаты точек нижнего и верхнего оснований куба в деформированном состоянии выражаются через эти семь параметров:

$O'''(0;\ 0;\ 0)$,

$A'''(c_1 \cos g_1;\ c_1 \sin g_1;\ 0)$,

$B'''(c_1 \cos g_1 + c_2 \sin g_2;\ c_1 \sin g_1 + c_2 \cos g_2;\ 0)$,

$C'''(c_2 \sin g_2;\ c_2 \cos g_2;\ 0)$;

$O'''_1(\Delta x_{III};\ \Delta y_{III};\ a - \Delta z_{III})$,

$A'''_1(c_1 \cos g_1 + \Delta x_{III};\ c_1 \sin g_1 + \Delta y_{III};\ a - \Delta z_{III})$,

$B'''_1(c_1 \cos g_1 + c_2 \sin g_2 + \Delta x_{III};\ c_1 \sin g_1 + c_2 \cos g_2 + \Delta y_{III};\ a - \Delta z_{III})$,

$C'''_1(c_2 \sin g_2 + \Delta x_{III};\ c_2 \cos g_2 + \Delta y_{III};\ a - \Delta z_{III})$.

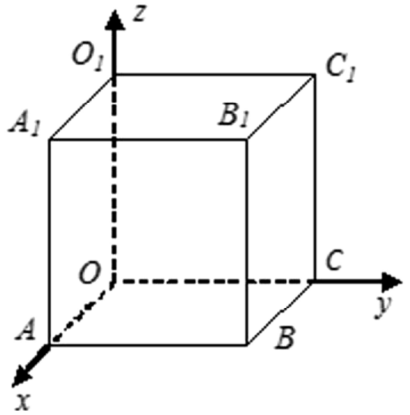


Рис. 1. Куб в недеформированном состоянии

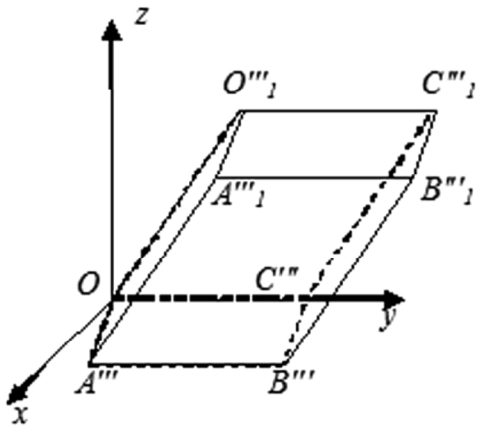


Рис. 2. Исходный куб в деформированном состоянии

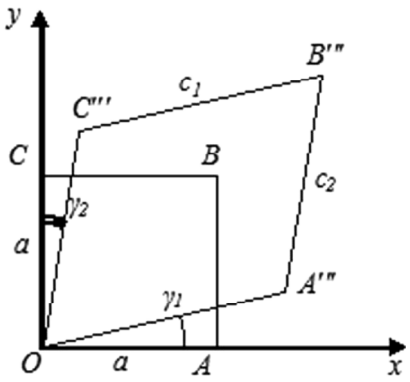


Рис. 3. Нижнее основание куба в исходном и деформированном состояниях при сжатии вдоль оси Oz

Считаем, что перемещения в силу однородности деформированного состояния линейно зависят от координат:

$$\mathbf{u}_{III} = \left[\left(\frac{c_1 \cos g_1}{a} - 1\right)x + \frac{c_2 \sin g_2}{a} y + \Delta x_{III} \frac{z}{a}\right]\mathbf{e}^1 + \\ + \left[\frac{c_1 \sin g_1}{a} x + \left(\frac{c_2 \cos g_2}{a} - 1\right)y + \Delta y_{III} \frac{z}{a}\right]\mathbf{e}^2 - \Delta z_{III} \frac{z}{a}\mathbf{e}^3 .$$

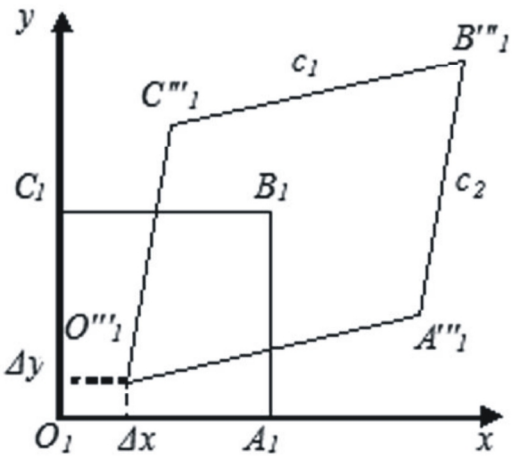


Рис. 4. Верхнее основание куба в исходном и деформированном состояниях при сжатии вдоль оси Oz

Тогда линеаризованный тензор деформаций $\varepsilon_{III} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i^{III}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{III}}{\partial x_i}\right)\mathbf{e}^i\mathbf{e}^j$ имеет следующие компоненты:

$$e_{ij}^{III} = \begin{pmatrix} \frac{c_1 \cos g_1}{a} - 1 & \frac{c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{\Delta x_{III}}{2a} \\ \frac{c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{c_2 \cos g_2}{a} - 1 & \frac{\Delta y_{III}}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III}}{2a} & \frac{\Delta y_{III}}{2a} & -\frac{\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} \qquad (5)$$

Если углы g_1, g_2 малы, то есть $g_1 \approx 0$, $g_2 \approx 0$, то компоненты тензора e_{ij}^{III} можно линеаризовать, считая $\cos g_k \approx 1$, $\sin g_k \approx g_k$, $k = 1, 2$. Получим:

$$\hat{e}_{ij}^{III} = \begin{pmatrix} \frac{c_1}{a} - 1 & \frac{c_1 g_1 + c_2 g_2}{2a} & \frac{\Delta x_{III}}{2a} \\ \frac{c_1 g_1 + c_2 g_2}{2a} & \frac{c_2}{a} - 1 & \frac{\Delta y_{III}}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III}}{2a} & \frac{\Delta y_{III}}{2a} & -\frac{\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} \qquad (6)$$

Если, кроме того, считать, что $c_1 \approx a$ и $c_2 \approx a$, то компоненты тензора e_{ij}^{III} примут вид:

$$\hat{e}_{ij}^{III} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{g_1+g_2}{2} & \frac{\Delta x_{III}}{2a} \\ \frac{g_1+g_2}{2} & 0 & \frac{\Delta y_{III}}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III}}{2a} & \frac{\Delta y_{III}}{2a} & -\frac{\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} \qquad (7)$$

Координаты точек задней и передней граней куба выражаются через измеряемые в опыте длины рёбер в деформированном состоянии a_1, a_2, углы a_1, a_2 между сторонами деформированных и исходных задней и передней граней и перемещения передней грани относительно задней Δx_I, Δy_I, Δz_I:

$O'(0;\ 0;\ 0)$,

$C'(0;\ a_1 \cos a_1;\ a_1 \sin a_1)$,

$C'_1(0;\ a_1 \cos a_1 + a_2 \sin a_2;\ a_1 \sin a_1 + a_2 \cos a_2)$,

$O'_1(0;\ a_2 \sin a_2;\ a_2 \cos a_2)$;

$A'(a - \Delta x_I;\ \Delta y_I;\ \Delta z_I)$,

$B'(a - \Delta x_I;\ a_1 \cos a_1 + \Delta y_I;\ a_1 \sin a_1 + \Delta z_I)$,

$B'_1(a - \Delta x_I;\ a_1 \cos a_1 + a_2 \sin a_2 + \Delta y_I;\ a_1 \sin a_1 + a_2 \cos a_2 + \Delta z_I)$,

$A'_1(a - \Delta x_I;\ a_2 \sin a_2 + \Delta y_I;\ a_2 \cos a_2 + \Delta z_I)$

Поле перемещений в этом случае определяется вектором:

$$\vec{u}_I = -\Delta x_I \frac{x}{a}\vec{e}^1 + \left[\Delta y_I \frac{x}{a} + \left(\frac{a_1 \cos a_1}{a} - 1\right)y + \frac{a_2 \sin a_2}{a} z\right]\vec{e}^2 + \\ + \left[\Delta z_I \frac{x}{a} + \frac{a_1 \sin a_1}{a} y + \left(\frac{a_2 \cos a_2}{a} - 1\right)z\right]\vec{e}^3$$

Компоненты тензора деформаций Коши-Грина при сжатии куба вдоль оси Ox имеют вид:

$$e_{ij}^{I} = \begin{pmatrix} -\frac{\Delta x_I}{a} & \frac{\Delta y_I}{2a} & \frac{\Delta z_I}{2a} \\ \frac{\Delta y_I}{2a} & \frac{a_1 \cos a_1}{a} - 1 & \frac{a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} \\ \frac{\Delta z_I}{2a} & \frac{a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} & \frac{a_2 \cos a_2}{a} - 1 \end{pmatrix} \qquad (8)$$

Проводя линеаризацию компонент e_{ij}^{I} (8), получим выражения, аналогичные формулам (6), (7):

$$\hat{e}_{ij}^{I} = \begin{pmatrix} -\frac{\Delta x_I}{a} & \frac{\Delta y_I}{2a} & \frac{\Delta z_I}{2a} \\ \frac{\Delta y_I}{2a} & \frac{a_1}{a} - 1 & \frac{a_1 a_1 + a_2 a_2}{2a} \\ \frac{\Delta z_I}{2a} & \frac{a_1 a_1 + a_2 a_2}{2a} & \frac{a_2}{a} - 1 \end{pmatrix} \qquad (9)$$

$$\hat{\hat{e}}_{ij}^{I} = \begin{pmatrix} -\dfrac{\Delta x_I}{a} & \dfrac{\Delta y_I}{2a} & \dfrac{\Delta z_I}{2a} \\ \dfrac{\Delta y_I}{2a} & 0 & \dfrac{a_1 + a_2}{2} \\ \dfrac{\Delta z_I}{2a} & \dfrac{a_1 + a_2}{2} & 0 \end{pmatrix} \qquad (10)$$

Координаты точек левой и правой граней куба выражаются через измеряемые в опыте длины рёбер в деформированном состоянии b_1, b_2, углы b_1, b_2 между сторонами деформированных и исходных левой и правой граней и перемещения правой грани относительно левой:

$O"(0;\ 0;\ 0)$,

$A"(b_1 \cos b_1;\ 0;\ b_1 \sin b_1)$,

$A"_1(b_1 \cos b_1 + b_2 \sin b_2;\ 0;\ b_1 \sin b_1 + b_2 \cos b_2)$,

$O"_1(b_2 \sin b_2;\ 0;\ b_2 \cos b_2)$;

$C"(\Delta x_{II};\ a - \Delta y_{II};\ \Delta z_{II})$,

$B"(b_1 \cos b_1 + \Delta x_{II};\ a - \Delta y_{II};\ b_1 \sin b_1 + \Delta z_{II})$,

$B"_1(b_1 \cos b_1 + b_2 \sin b_2 + \Delta x_{II};\ a - \Delta y_{II};\ b_1 \sin b_1 + b_2 \cos b_2 + \Delta z_{II})$,

$C"_1(b_2 \sin b_2 + \Delta x_{II};\ a - \Delta y_{II};\ b_2 \cos b_2 + \Delta z_{II})$.

Поле перемещений при сжатии куба вдоль оси Oy описывается вектором

$$\vec{u}_{II} = \left[\left(\frac{b_1 \cos b_1}{a} - 1\right)x + \Delta x_{II}\frac{y}{a} + \frac{b_2 \sin b_2}{a} z\right]\vec{e}^1 -$$
$$-\Delta y_{II}\frac{y}{a}\vec{e}^2 + \left[\frac{b_1 \sin b_1}{a} x + \Delta z_{II}\frac{y}{a} + \left(\frac{b_2 \cos b_2}{a} - 1\right)z\right]\vec{e}^3 .$$

а тензор деформаций Коши-Грина имеет следующие компоненты:

$$e_{ij}^{II} = \begin{pmatrix} \dfrac{b_1 \cos b_1}{a} - 1 & \dfrac{\Delta x_{II}}{2a} & \dfrac{b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} \\ \dfrac{\Delta x_{II}}{2a} & -\dfrac{\Delta y_{II}}{a} & \dfrac{\Delta z_{II}}{2a} \\ \dfrac{b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} & \dfrac{\Delta z_{II}}{2a} & \dfrac{b_2 \cos b_2}{a} - 1 \end{pmatrix} \qquad (11)$$

Проводя линеаризацию компонент e_{ij}^{II} (11), получим выражения, аналогичные формулам (6), (7):

$$\hat{e}_{ij}^{II} = \begin{pmatrix} \dfrac{b_1}{a} - 1 & \dfrac{\Delta x_{II}}{2a} & \dfrac{b_1 b_1 + b_2 b_2}{2a} \\ \dfrac{\Delta x_{II}}{2a} & -\dfrac{\Delta y_{II}}{a} & \dfrac{\Delta z_{II}}{2a} \\ \dfrac{b_1 b_1 + b_2 b_2}{2a} & \dfrac{\Delta z_{II}}{2a} & \dfrac{b_2}{a} - 1 \end{pmatrix} \qquad (12)$$

$$\hat{\hat{e}}_{ij}^{II} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{\Delta x_{II}}{2a} & \frac{b_1 + b_2}{2} \\ \frac{\Delta x_{II}}{2a} & -\frac{\Delta y_{II}}{a} & \frac{\Delta z_{II}}{2a} \\ \frac{b_1 + b_2}{2} & \frac{\Delta z_{II}}{2a} & 0 \end{pmatrix} \tag{13}$$

Тогда тензор деформаций ε имеет компоненты $e_{ij} = e_{ij}^{I} + e_{ij}^{II} + e_{ij}^{III}$:

$$e_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{-\Delta x_I + c_1 \cos g_1 + b_1 \cos b_1}{a} - 2 & \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I + c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I + b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} \\ \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I + c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{-\Delta y_{II} + c_2 \cos g_2 + a_1 \cos a_1}{a} - 2 & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II} + a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I + b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II} + a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} & \frac{-\Delta z_{III} + b_2 \cos b_2 + a_2 \cos a_2}{a} - 2 \end{pmatrix}. \tag{14}$$

Для выполнения предварительного анализа результатов эксперимента матрицу компонент тензора деформаций (14) удобно представить в виде:

$$e_{ij} = \begin{pmatrix} -\frac{\Delta x_I}{a} & \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} & \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} \\ \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} & -\frac{\Delta y_{II}}{a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} & -\frac{\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{c_1 \cos g_1 + b_1 \cos b_1}{a} - 2 & \frac{c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} \\ \frac{c_1 \sin g_1 + c_2 \sin g_2}{2a} & \frac{c_2 \cos g_2 + a_1 \cos a_1}{a} - 2 & \frac{a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} \\ \frac{b_1 \sin b_1 + b_2 \sin b_2}{2a} & \frac{a_1 \sin a_1 + a_2 \sin a_2}{2a} & \frac{b_2 \cos b_2 + a_2 \cos a_2}{a} - 2 \end{pmatrix} \tag{15}$$

Если параллелепипед после деформации остаётся прямоугольным, то во втором слагаемом ненулевыми будут только диагональные компоненты матрицы.

При линеаризации тензор деформаций ε имеет следующие компоненты:

$$\hat{\hat{e}}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{-\Delta x_I}{a} & \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} + \frac{g_1 + g_2}{2} & \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} + \frac{b_1 + b_2}{2} \\ \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} + \frac{g_1 + g_2}{2} & \frac{-\Delta y_{II}}{a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} + \frac{a_1 + a_2}{2} \\ \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} + \frac{b_1 + b_2}{2} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} + \frac{a_1 + a_2}{2} & \frac{-\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} \tag{16}$$

или:

$$\hat{\hat{e}}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{-\Delta x_I}{a} & \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} & \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} \\ \frac{\Delta x_{II} + \Delta y_I}{2a} & \frac{-\Delta y_{II}}{a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} \\ \frac{\Delta x_{III} + \Delta z_I}{2a} & \frac{\Delta y_{III} + \Delta z_{II}}{2a} & \frac{-\Delta z_{III}}{a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \frac{g_1 + g_2}{2} & \frac{b_1 + b_2}{2} \\ \frac{g_1 + g_2}{2} & 0 & \frac{a_1 + a_2}{2} \\ \frac{b_1 + b_2}{2} & \frac{a_1 + a_2}{2} & 0 \end{pmatrix}$$

Главные оси тензора (14) являются главными осями анизотропии материала. Направления главных осей задаются единичными собственными векторами $\mathbf{r}_i$, $i = 1, 2, 3$ тензора ε, которые определяются из условия $\varepsilon \cdot \mathbf{r}_i = e\,\mathbf{r}_i$, где e_i, $i = 1, 2, 3$ – собственные значения тензора ε. Для нахождения собственных значений тензора ε используется характеристическое уравнение:

$$e^3 - I_1(e)e^2 + I_2(e)e - I_3(e) = 0,$$

где $I_1(e)$, $I_2(e)$, $I_3(e)$, – алгебраические инварианты тензора e.

Список литературы

1. Рыхлевский Я.К. «CEIIINOSSSTTUV» Математическая структура упругих тел / Препринт № 217. – М.: ИПМ АН СССР, 1983. – 113 с.
2. Rychlewski Y.K. On the detectability of constitutive laws in solid mechanics and physics / Упругость и неупругость: Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых твёрдых тел, посвящённого девяностолетию со дня рождения А.А. Ильюшина (Москва, 22-23 января 2001 года) / Под ред. проф. И.А. Кийко, проф. М.Ш. Исраилова, проф. Г.Л. Бровко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – С. 67-73.
3. Рыхлевский Я.К. О законе Гука // Прикладная математика и механика, 1984, Т. 48. – Вып. 3. – С. 420-435.
4. Аннин Б.Д., Остросаблин Н.И. Анизотропия упругих свойств материалов // Прикладная механика и техническая физика, 2008, Т. 49, № 6. – С. 131-151.
5. Остросаблин Н.И. О структуре тензора модулей упругости. Собственные упругие состояния // Динамика сплошной среды: Сб. науч. тр. / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики, 1984, Вып. 66. – С. 113-125.
6. Остросаблин Н.И. О классификации анизотропных материалов // Динамика сплошной среды: Сб. науч. тр. / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики, 1985, Вып. 71. – С. 82-96.
7. Бехтерев П.В. Аналитическое исследование обобщённого закона Гука // Сообщ. о науч.-техн. работах в Респ. – Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1924, Вып. 12. – С. 20-23.
8. Бехтерев П.В. Аналитическое исследование обобщённого закона Гука // Сообщ. о науч.-техн. работах в Респ. – Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1925, Вып. 17. – С. 5-9.
9. Маркин А.А., Соколова М.Ю. Вариант определяющих соотношений нелинейной термоупругости для анизотропных тел // Прикладная механика и техническая физика, 2003, Т. 44, № 1. – С. 170-175.
10. Соколова М.Ю. Структурные тензоры анизотропии в пространстве А.А. Ильюшина // Известия ТулГУ. Серия Математика. Механика. Информатика, 2001, Т. 7, Вып. 2, Механика. – С. 173-178.
11. Маркин А.А., Соколова М.Ю., Христич Д.В. Постулат А.А. Ильюшина для анизотропных материалов и вариант определяющих соотношений // Известия РАН. Механика твердого тела, 2011, № 1. – С. 38-45.
12. Маркин А.А., Соколова М.Ю. Термомеханические модели обратимого конечного деформирования. – Тула, 2010. – 268 с.

Khristich D.V. – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: dmitrykhristich@rambler.ru
Tula State University
The organization address: 300012, Russia, Tula, Pr. Lenina, 92
Kayumov R.A. – doctor of physical-mathematical sciences, professor
E-mail: kayumov@rambler.ru
Muhamedova I.Z. – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Enginieering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

A program of experiments for material anisotropy main axes determination

Resume

Offered a program of experiments needed to determine the principal axes of anisotropy of crystalline materials. Considered materials are not sensitive to the stress state and relations between the stress and strain tensors approach to Hooke's law when strain tends to zero asymptotically. To reduce the number of experiments it is necessary to know the orientation of the principal axes of the anisotropic material. Principal axes of the anisotropic material are the principal axes of strain tensor, which describes the response of the sample to the hydrostatic compression. During the test the change in size of the sample is measured to determine the components of the strain tensor.

The developed program consists of three experiments uniaxial compression. In this paper is offered a modification of this experimental program, which allows you to perform all required tests. The experiment on the uniform compression define the main vectors of the strain tensor. Knowing the type of material anisotropy and orientation of the principal axes of anisotropy can reduce the number of one-and two-dimensional experiments required to find the components of the tensor of elasticity for all materials except the triclinic crystal systems.

Keywords: elastic properties, anisotropic materials, experiment.

References

1. Rychlewski Y.K. «CEIIINOSSSTTUV» Mathmatical structure of elastic bodies / Preprint № 217, 1983. – 113 p.
2. Rychlewski Y.K. On the detectability of constitutive laws in solid mechanics and physics / Elasticity and nonelasticity: Proceedings of the International scientific symposium on the mechanics of deformable solids, dedicated to A.A.Ilyushin ninetieth birthday (Moscow, 22-23 of January 2001) / Under the editorship of prof. I.A. Kiyko, prof. M.Sh. Israilova, prof. G.L. Brovko. – M.: Moscow University Publishers, 2001. – P. 67-73.
3. Rychlewski Y.K. About Hooke’s law // Applied mathematics and mechanics, 1984, V. 48, Issue 3. – P. 420-435.
4. Annin B.D., Ostrosablin N.I. Anisotropy of elastic properties of materials // Applied mechanics and technical physics, 2008, V. 49, № 6. – P. 131-151.
5. Ostrosablin N.I. About the structure of elastic moduli tensor. Eigen elastic states // Dynamics of continuum medium: Collection of scientific papers / USSR Academy of Sciences. Siberian Branch. Institute of hydrodynamics, 1984, Issue 66. – P. 113-125.
6. Ostrosablin N.I. About classification of anisotropic materials // Dynamics of continuum medium: Collection of scientific papers / USSR Academy of Sciences. Siberian Branch. Institute of hydrodynamics, 1985, Issue 71. – P. 82-96.
7. Bekhterev P.V. Analytic investigation of generalized Hooke’s law // Message of scientific and engineering works in Republic. L.: Scientific him.-techn. Publishers, 1924, Issue 12. – P. 20-23.
8. Bekhterev P.V. Analytic investigation of generalized Hooke’s law // Message of scientific and engineering works in Republic. L.: Scientific him.-techn. Publishers, 1925, Issue 17. – P. 5-9.
9. Markin A.A., Sokolova M.Yu. A variant of nonlinear thermoelasticity constitutive relations for anisotropic bodies // Applied mechanics and technical physics, 2003, V. 44, № 1. – P. 170-175.
10. Sokolova M.Yu. Structural tensors of anisotropy in A.A.Ilyushin space // News of TSU. Series Mathematics. Mechanics. Informatics, 2001, V. 7, Issue 2, Mechanics. – P. 173-178.
11. Markin A.A., Sokolova M.Yu., Khristich D.V. A.A. Ilyushin postulate for anisotropic materials and a variant of constitutive relations // News of Russian Academy of Sciences. Mechanics of solid body, 2011, № 1. – P. 38-45.
12. Markin A.A., Sokolova M.Yu. Thermomechanical models of reversible finite deforming, Tula: TSU Publishers, 2010. – 268 p.

УДК 681.324.1
Денисова А.Б. – кандидат философских наук, доцент
E-mail: den-alla@yandex.ru
Московский технический университет связи и информатики
Адрес организации: 111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8 а

Роль внеучебной деятельности в подготовке современного специалиста

Аннотация
Изменения в социально-экономической сфере трансформируют требования к выпускникам высшей школы, включая в понятие профессиональной компетентности социальные, коммуникативные, организаторские умения и личностные качества специалиста. Высшая школа все еще продолжает опираться на традиционные методики преподавания, которые не могут отвечать этим запросам. Активизация внеучебной сферы дает возможности преодоления разрыва. Повышая мотивационный, профессионально-деятельностный и рефлексивный компоненты образовательного процесса, внеучебная деятельность способствует улучшению качества профессиональной подготовки в целом, а учитывая гуманитарную направленность, особенно актуальна для технических вузов.
Ключевые слова: внеучебная деятельность, интерактивные технологии, профессиональные и личностные качества, командное взаимодействие, самореализация.

Система новых экономических взаимоотношений не только проникла во все сферы жизнедеятельности, но и изменила требования к профессионально-значимым качествам личности: необходимы специалисты, обладающие управленческими компетенциями, навыками организационной работы, мобильностью, знанием социального контекста профессиональной деятельности. Перед новой концепцией образования встают, таким образом, две основные задачи: с одной стороны, индивидуализация обучения, личностно-ориентированный подход, аккумулирующий и интегрирующий ведущие идеи в области развивающего образования, а с другой, формирование личности, способной к межличностному и групповому взаимодействию, готовой к сотрудничеству и умеющей руководить. Успешность послевузовской деятельности определяется не только профессиональной, но и социальной мобильностью, умением выполнять специфические профессиональные и социальные роли, быстрой адаптацией как к производству, так и к корпоративной культуре организации.

Советская педагогика находилась на позициях гностического подхода, где основной задачей являлось формирование систематизированных знаний. Сегодня знание – это средство развития личности, поэтому требуется смещение акцента в деятельности профессорско-преподавательского состава с сугубо образовательных на социально-воспитательные цели как фактора социализации личности и качественно новые технологии образования с активными методами и формами обучения.

Суть новых образовательных технологий состоит в использовании методик, содействующих становлению самостоятельности мышления. К таковым относятся: теория контекстного обучения, имитационные, когнитивные технологии, модульное обучение и др [1]. Интерактивные методы обучения в современной педагогической науке выходят сейчас на первый план, стараясь заместить традиционные. Они основаны на взаимодействии и диалоге, повышающих активность включения слушателей в процесс обучения, в котором студент превращается из объекта обучения в субъекта учебной деятельности. Характеристиками интерактивного взаимодействия являются: процессуальность, деятельность, диалог, возможность самовыражения, общение и т.д. Это методы и технологии так называемого проблемного обучения, которое давно стало применяться на Западе и разрабатывается нашими исследователями (П.Я. Гальперин, И.Я. Лернер, М.Н. Скаткин и др.).

Несмотря на многообразие концептуальных подходов современной педагогической науки, внедрение новых педагогических технологий в образовательную практику сдерживается консерватизмом дидактических схем и моделей обучения. Вот некоторые

противоречия между требованиями к современному специалисту в профессиональной деятельности и навыками, которые даются в учебном процессе:

- В учебной деятельности основной упор делается на теорию, абстрактное знание, максимальное усвоение информации, которая является знаковым замещением реальности. В условиях производства на первый план выходят практические умения, где пробелы в знаниях восполнимы, а отсутствие навыков непредметных действий, социальных поступков, отсутствие опыта в выстраивании отношений приводят к трудностям социальной адаптации выпускников к профессиональной деятельности.
- Отставание от динамики в развитии профессии – вечная проблема образования, но в настоящее время это отставание становится все критичнее. Современный специалист должен быть не просто хорошо обученным, а хорошо обучаемым, т.е. быть мотивированным к обучению и познанию, творчески активным и самостоятельным, чему в образовательном процессе не уделяется особого внимания.
- Пассивная роль обучаемого отлична от инициативной позиции специалиста в трудовой деятельности, где необходимо принимать решения и нести за них ответственность.
- Отсутствие личностного смысла информации приводит к непониманию и обесцениванию процесса обучения как такового, целью которого становится формальное получение диплома. Успешность в профессиональной сфере характеризуется вовлеченностью всей личности специалиста в процессы профессионального труда, что проявляется в творческом подходе и социальной активности.
- В процессе обучения овладение профессиональными навыками обеспечивается средствами учебной деятельности, формы которой не адекватны формам усваиваемой профессиональной деятельности. Познавательная деятельность направлена на усвоение знаний, а профессиональная – на достижение результата.

Этот список можно продолжить. Очевидно, что традиционное обучение, основанное на передаче знаний от преподавателя студенту и делающее главный акцент на память, страдает недостатком практических навыков, творческой активности, отсутствием социального контекста профессиональной деятельности, так как в нем практически нет познавательной мотивации, а значит, творческого мышления, способного решать проблемы. Комплексная подготовка специалиста, способная устранить противоречие между изменившимися социальными условиями, возросшими требованиями государства к специалисту, конкурентоспособному на рынке труда, и недостаточно адекватной профессиональной и личностной подготовкой выпускников высших учебных заведений, может быть осуществлена лишь при решении данной задачи через интеграцию учебной, производственной и внеучебной деятельности студентов. Внеучебная сфера объединяет в себе все разнообразие видов деятельности (исключая учебную). Она стимулирует творческую активность и самостоятельность, способствует раскрытию потенциальных возможностей студентов. Получаемый результат всегда личностен, воспринимается как собственное достижение и является мотивацией к последующей деятельности. Культивируется стремление и к личной, и к групповой успешности. Моделируется полный цикл мышления, необходимый квалифицированному специалисту – от зарождения проблемной ситуации, которая служит мотивацией к познавательной активности, до нахождения различных способов разрешения проблемы, выявления самого эффективного доказательства правильности избранного варианта.

Направления внеучебной деятельности охватывают множество ее видов: научную, художественную, спортивную, досугово-развлекательную, общественную, в которых формируются и реализуются когнитивные, праксиологические и коммуникативные навыки (направления и формы внеучебной сферы подробно рассмотрены в других работах автора [2]). В социальной деятельности находится применение гуманитарным знаниям, реализация социальных проектов настраивает на обдумывание нравственно-эстетических проблем. Любое творчество требует знания образов мировой культуры, всплывают подтексты, архитипичные смыслы, приобщение к культурному полю идет исподволь, незаметно для обучающегося. В профессионально ориентированном проектировании происходит разностороннее раскрытие будущей деятельности, поэтапно

формируются дополнительные практические комплексные умения и навыки, и совершается переход от суммарной информации, полученной в учебном процессе, к целостному результату – знанию и компетентности на выходе.

Основная недостаточность традиционной системы обучения в изначальном отсутствии в ней задач по формированию и развитию навыков коллективного взаимодействия, которые сегодня входят в обязательный минимум требований работодателя к молодому специалисту и вытекают из коллективного характера большинства видов деятельности. Если учебная деятельность в основном индивидуальна, то внеучебная – коллективна, и поэтому они взаимодополняют друг друга. Внеучебная деятельность всегда происходит в социальном контексте, в коллективе, тем самым заставляя человека встраиваться в этот социальный контекст и находить общий язык, строить взаимоотношения с часто незнакомыми людьми и на разный период времени. Именно на этом поле развивается способность к межличностному, внутригрупповому и командному взаимодействию, владение коммуникативной техникой, культура поведения и речи, формируется ответственность не только перед собой, но и перед коллективом, способность действовать в различных сферах в соответствии с принятыми нормами, воспитывается пунктуальность, аккуратность, проявляется отношение к работе, умение ее разделять и замещать, контролировать качество исполнения. Коллективная деятельность начинает рассматриваться как ценность, из чего вытекает принятие других, как необходимых компонентов взаимодействия, готовность к конструктивному диалогу и взаимопониманию. Во внеучебной деятельности возможны, с одной стороны, индивидуализация и максимальное раскрытие личностного потенциала, с другой, формируются базовые составляющие зрелой личности, которые могут быть выработаны только в процессе коллективной деятельности.

Не идеализируя внеучебную сферу, стоит признать, что многие необходимые в дальнейшем и очень востребованные навыки за годы обучения в вузе можно получить, только активно занимаясь внеучебной работой. Внеучебная деятельность способна воспитать управленческие навыки, умение работать с коллективом, вести переговоры, действовать в нестандартных ситуациях. В отличие от учебной сферы, внеучебная направлена на формирование ценности и важности служения обществу, сострадания (активно развивающиеся сегодня волонтерские движения), гражданской ответственности, гражданского самосознания, честности. В органическом единстве учебного и внеучебного процессов, через овладение разнообразными видами деятельности происходит освоение различных социальных ролей, что дает некий новый интегративный результат образования и способствует адаптации в послевузовской среде.

Внеучебное время располагает оптимальными условиями для самораскрытия и самореализации студентов, предоставляет возможность попробовать себя в различных ипостасях и направлениях деятельности, приобрести уверенность в правильности (или неправильности) выбора профессии. Особенно это актуально для технических вузов, где, в отличие от предметов профильного образования, общественная деятельность имеет гуманитарную направленность. В процессе активной деятельности и коммуникации происходит переформирование социокультурных навыков.

Безусловно, внеучебная деятельность, чтобы обладать всеми этими свойствами, должна быть принципиально избыточна, иметь многоуровневую организацию, чтобы удовлетворять заинтересованных студентов на любом этапе их развития. Поэтому воспитательная система должна быть самоорганизующейся и иметь открытую, диссипативную среду.

Чем разнообразнее по формам и содержанию будет опыт, полученный за время обучения, тем активнее будет включение в профессиональную самореализацию, в процесс построения карьеры, так как свойство активности, креативности станет свойством личности, позволяющим быстро найти сферу приложении творческого и профессионального потенциала. Поэтому вовлечение максимального числа студентов во внеучебную деятельность позволяет приблизиться к достижению реальных целей высшего образования, «именно воспитательная система вуза как высший уровень развития воспитательного процесса может способствовать достижению эффективного

результата воспитания студентов и поэтому должна стать одним из приоритетных направлений в области образования» [3, с. 5].

***

Цели и задачи воспитательного процесса подвергаются необходимой трансформации, соответствующей требованиям времени, которые не только утверждают приоритет развития умственных и творческих способностей, самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, но и особое внимание уделяют образу мышления, развитию отношений, готовности к участию в жизни страны, способности быть субъектом общественных отношений, к жизнедеятельности в информационном обществе.

Внеучебная деятельность может выступить средством многофакторной детерминации разностороннего развития и саморазвития личности, создавая креативную среду обучения и воспитания, ориентированную на выявление глубинной внутренней сущности обучающегося, и предоставляя возможность выбора индивидуальной траектории. Не освобождая от ответственности за решения, выбор, за неудачи, внеучебная среда дает возможность проявления активности и самостоятельности, создает условия для эволюции от послушания к самоосуществлению, самореализации.

Организованная и правильно спланированная внеучебная деятельность вуза является важнейшим инструментом адаптации студентов и предоставляет им возможность реализовать свои склонности в различных областях, как смежных с профессиональной деятельностью, так и отличных от нее, наладить не только вертикальную связь преподаватель-студент, но и сформировать множество горизонтальных связей студент-студент, которые качественно влияют на ощущение защищенности и комфорта при обучении.

При этом воспитательная система должна быть открытой и мобильной, способной адаптировать студентов и адаптироваться самой к происходящим социальным изменениям (реализуя принцип «от каждого по способностям»: появился певец – организуется вокальный коллектив, появился лидер в общежитии – и вокруг него образовывается инициативная команда студсовета). Во внеучебной деятельности знания не являются самоцелью, а передаются в реальной рабочей ситуации, происходит обучение действием. Знания, формирующие технические, межличностные, информационные навыки, являются неким синтезом, квитэссенцией накопленного организацией опыта. При этом каждый является активным источником знаний и решений. Развитие человеческих ресурсов идет одновременно с преобразованием их знаний и умений в практические навыки, формируя структуру, которую можно охарактеризовать как «научающая организация» по терминологии П. Сенжа [4], где сотрудники добиваются нужных организации результатов на основе непрерывного совместного обучения и выработки новых способов мышления. Основным показателем «успеваемости» для студентов в данном случае является повышение эффективности работы системы.

Список литературы

1. Быстрова И.Н. Имитационное моделирование как технология подготовки специалистов технического профиля в вузе // Дисс. на соиск. степени канд. пед. наук. – Шахты, 2008. – 200 с.
2. Денисова А.Б. Становление и развитие внеучебной деятельности в Московском техническом университете связи и информатики. – Казань: ИПК «ЭксИм-Пресс», 2012. – 132 с.
3. Жоголева О.Р. Влияние внеучебной воспитательной деятельности вуза на процесс социализации студенческой молодежи // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. социологических наук. – Тюмень, 2007. – 25 с.
4. Senge P. The Fiffh Disciplin C: The art and practice of the learning organization, Double-day. – London, 1990. – 425 p.
5. Абакумова И.В., Ермаков П.Н., Рудакова И.А. Смыслоцентризм в педагогике. – Ростов-на-Дону: РГУ, 2006. – С. 92.-256.

Denisova A.B. – candidate of philosophical sciences, associate professor
E-mail: den-alla@yandex.ru
Moscow Technical University of Communications and Informatics
Address: 111024, Russia, Moscow, Aviamotornaya st., 8a

The role of extracurricular activities in the preparation of a modern specialist

Resume

New system of economic relations has penetrated into all spheres of life and changed them. There are certain requirements to the professional qualities of a significant person, in particular, require organizational skills and management. The success of post-graduate work is not only professional but also social mobility, ability to perform specific professional and social roles, rapid adaptation to both the production and the corporate culture of the organization.

The main deficiency of the traditional education system in the initial absence of its objectives to build and develop the skills of collective interaction, the need for which stems from the collective nature of most activities.

Extra-curricular activities support a mechanism balancing the education system, creating an additional and necessary quality specialist. It solves several problems, hard to reach by traditional methods: the skills of collective thinking and action, decision-making skills of adaptation, interaction and communication in changing groups, the ability to plan and organize the execution of the task, raising social qualities and values, including responsibility, punctuality, integrity, honesty and decency. Increasing the motivation, skills and reflective components of the activity of the educational process, extracurricular activities improves the quality of training in general.

Keywords: extracurricular activities, interactive technology, professional and personal qualities, teamwork, self-realization.

References

1. Bystrova I.N. Simulation modeling as a technology of preparation of technical specialists at the university: thesis on competition of degree. of a cand. of ped. sciences. – Shahty, 2008. – 200 p.
2. Denisova A.B. The formation and development of extracurricular activities in the Moscow Technical University of Communications and Informatics. – Kazan: IPK «ExIm-Press», 2012. – 132 p.
3. Zhogoleva I.N. Effect of extra-curricular educational activities for high school students the process of socialization // the master's thesis author's abstract on competition of degree of a Cand. of social sciences. – Tyumen, 2007 – 25 p.
4. Senge P. The Fiffh Disciplin C: The art and practice of the learning organization, Double-day, London, 1990. – 425 p.
5. Abakumov I.V, Yermakov P.N, Rudakov I.A. Smyslotsentrizm v pedagogike. – Rostov-na-Donu: RGU, 2006. – P. 92-256.

УДК 378
Сучкова Т.В. – кандидат психологических наук, доцент
E-mail: ta.su@mail.ru
Яруллина Л.Р. – кандидат психологических наук, доцент
Чернухина М.Е. – старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Реализация технологий эффективного трудоустройства выпускников в строительном вузе

Аннотация

В статье анализируется проблема формирования у выпускников вузов эффективного поведения на рынке труда. Выявлены основные знания и умения, которыми необходимо овладеть студентам в процессе освоения технологий эффективного трудоустройства. Описывается опыт проведения тренинговых и иных современных форм проведения занятий как метода подготовки студентов к процедуре трудоустройства, адаптации на рабочем месте, построению успешной карьеры. Предложены возможные варианты тренингов по технологиям трудоустройства и способы их реализации, а также формы организации работы по формированию данного вида компетенций у студентов строительного вуза.

Ключевые слова: эффективное поведение на рынке труда, трудоустройство, компетенции, тренинг, собеседование.

Трудоустройство является важным этапом в профессиональной жизни любого человека. Эффективность данного процесса, особенно для молодых специалистов, обусловлена не только уровнем профессиональных знаний и умений, но и во многом определяется уровнем знаний и умений продвижения себя на рынке труда.

В настоящее время у выпускника высшего учебного заведения практически не сформированы способы эффективного поведения на рынке труда, направленные на самостоятельный поиск работы или форм занятости. Делая карьеру в рыночных условиях, молодой человек выступает как создатель и продавец своей рабочей силы, поэтому ему необходимы знания конъюнктуры, законов и методов работы на региональном рынке труда.

Эффективное поведение на рынке труда рассматривается как способность оперативно решать актуальные социально-профессиональные задачи, такие как: поиск работы (или другой формы трудовой занятости), трудоустройство (создание собственного дела), обоснование своих возможностей при собеседовании с работодателем, успешная адаптация на рабочем месте и т.д.

Проблема эффективного поведения молодых специалистов на современном рынке труда пока не стала объектом психологических исследований, хотя практический опыт ее решения имеется в ряде центров занятости и отдельных учреждениях в различных областях России. Актуальность вопроса формирования эффективного поведения на рынке труда выпускников вузов определяется двумя основными моментами: во-первых, недостаточной изученностью теоретико-методологических проблем, связанных с поведением молодых специалистов на современном рынке труда; и, во-вторых, формирование эффективного поведения молодых специалистов на рынке труда при их подготовке в вузе и других образовательных учреждениях повысит их уровень психологической готовности к современному рынку труда и профессиональной деятельности в сегодняшних условиях.

Введение федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения высшего профессионального образования предусматривает, что выпускник строительного вуза должен обладать профессиональными и общекультурными компетенциями. К числу общекультурных компетенций относятся компетенции

социального взаимодействия, самоорганизации и самоуправления, а также профессионального самоопределения. Эффективное поведение на рынке труда формируется благодаря развитию именно этих общекультурных компетенций.

Эффективное поведение на рынке труда выступает как один из факторов решения задач практического управления человеческими ресурсами, фактор профессионального становления и компетентности личности.

Проблеме профессионального становления личности посвящены работы Э.Ф. Зеера, Е.А. Климова, Ю.П. Поваренкова, Н.С. Пряжникова и др. Проблема профессиональной компетентности представлена в работах В. Лобанова, А.К. Марковой, Л.А. Петровской, Дж.Л. Питера, И.П. Раченко и др. Проблема эффективности рассматривается в теоретическом подходе А.Адлера, проблема самоэффективности – в работах А. Бандуры. На основе теоретических подходов разрабатываются практические мероприятия, направленные на подготовку компетентных специалистов в процессе профессионального обучения.

Итак, следует отметить, что вопрос внедрения в вузе комплекса мероприятий с выпускниками, позволяющих сформировать общекультурные компетенции, необходимые для трудоустройства и последующего эффективного поведения на рынке труда, является на сегодняшний день очень актуальным.

При освоении технологий эффективного трудоустройства студенты должны овладеть следующими знаниями и умениями:

- приобрести знания о закономерностях и тенденциях изменения рынка профессионально-кадровых ресурсов Республики Татарстан;
- сформировать способности личности оперативно и эффективно решать актуальные социально-профессиональные задачи: поиск работы или создание инициативных форм занятости;
- сформировать умение продвижения себя на рынке труда, поддержания профессиональной конкурентоспособности на всех этапах профессиональной карьеры;
- развить профессионально-важные качества личности, способствующие успешной карьере в условиях конкуренции на региональном рынке труда (способность к самоуправлению поведением, общением, настроением и т.д.);
- уметь анализировать профессиональные ситуации с позиций участвующих в ней индивидов, выявлять и оценивать специфику социально-профессиональных связей и отношений в коллективе, проектировать социально-психологические условия совместной деятельности, квалифицировать эффекты межличностного взаимодействия и проводить коррекцию нежелательных явлений в отношениях между людьми при построении будущей карьеры.

Теоретические знания, практические умения и навыки, получаемые на мероприятиях, проводимых для освоения технологий эффективного трудоустройства, нацелены помочь выпускникам вузов практически освоить методику поиска работы и реального трудоустройства на желаемом месте, психологически подготовить их к общению с представителями фирмы-работодателя. Реализация данных технологий обеспечит трудоустройство и карьерный рост молодых специалистов, а также профессиональную компетентность как неотъемлемую часть их профессионализма.

Сотрудники кафедры профессионального обучения и педагогики Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) занимаются разработкой и внедрением активных групповых методов обучения и развития личности студентов, направленных на решение различных задач. Так, в 2010 году кафедрой был организован ряд тренинговых занятий, посвященных технологиям трудоустройства, для студентов старших курсов различных факультетов университета (ФИСиЭ, СТФ).

Слово «тренинг» происходит от англ. слова to train — тренировать, тренироваться. Таким образом, тренинг можно рассматривать как тренировку, в результате которой происходит формирование и отработка умений и навыков эффективного поведения. Имея изначально психологическое происхождение, данный термин приобретает социальный и педагогический оттенок. Тренинг рассматривается как форма активного обучения, целью которого является обогащение знаниями, развитие конкретных умений и навыков.

Для того чтобы занятия были эффективными, теоретическое изложение информации сочетается с практической выработкой навыков владения этой информацией, с помощью различных упражнений.

Первый вариант проведения тренинга по технологиям трудоустройства – семинар-видеотренинг. В своей работе мы используем видеотренинг-семинар, который поможет всем участникам по окончании обучения стать более компетентными и даст возможность открыть для себя, что знаешь, умеешь, чувствуешь больше, чем думал до сих пор, и научиться чему-то от людей, от которых этого не ожидал.

Словом «видеотренинг» обозначают тренинг, основанный на использовании видеозаписи. В практике сочетаются два основных способа применения видеозаписи в учебных целях: показ готовых видеоматериалов (видеопросмотр) и использование записи по ходу выполнения заданий, ее просмотр и анализ (видеообратная связь). Такой просмотр заменяет лекцию, демонстрацию слайдов, выступление приглашенных экспертов, экскурсий. Видеообратная связь помогает участникам совершить переход от непосредственного прожитого опыта к его осмыслению, рефлексии, она позволяет напрямую обратиться к собственному опыту, использовать его как материал, который анализируется, пересматривается и перестраивается в ходе тренинга. Такой подход к учебному процессу поможет сблизить процессы познания с реальным поведением человека в мире, где он сам прогнозирует, осознает и переоценивает смысл происходящих событий, осуществляет осознанный выбор, принимает решение и несет за него ответственность.

Программой предусмотрена видеосъемка отдельных фрагментов семинара с последующим обсуждением отснятого материала. Видеотренинг-семинар проводится в атмосфере доверия, открытости и творческой активности. Выдаются методические материалы.

Вся программа состоит из трех этапов, причем каждый из них обладает высокой степенью самостоятельности, направлен на решение не зависящих от содержания других этапов проблем, то есть парциален.

На один этап отводится 5 часов времени с одним перерывом. Каждое занятие (этап) состоит из нескольких частей. Каждая часть носит просвещающий или реализационный характер и занимает примерно 30 минут. В просвещающей части выдается определенная информация, закрепление которой происходит в реализационной части.

Первый этап посвящен изучению и освоению техник при поиске работы и телефонных переговорах. Второй этап направлен на освоение техник самопрезентации и его вербальных и невербальных средств. Третий этап посвящен освоению техник собеседования, адаптации на рабочем месте и построения карьеры.

Программа содержит маршруты основных модулей, таких как: «Знакомство», «Техника активного слушания», «Поиск работы», «Самопрезентация», «Собеседование (интервью)», «Адаптация на рабочем месте и карьера», «Рефлексия и обратная связь».

Данный вид тренинга был проведен для студентов специальностей «Теплогазоснабжение и вентиляция» и «Водоснабжение и водоотведение».

Другой вариант проведения тренинга по технологиям трудоустройства представляет собой цикл занятий, который включает три встречи по три часа.

На первом занятии уточняются цели тренинга, выявляются ожидания участников, при помощи разогревающих упражнений налаживается контакт в группе. Также первая встреча содержит теоретический блок, включающий в себя правовые основы трудоустройства, правила составления резюме, написание сопроводительного письма, основы создания имиджа соискателя.

На втором занятии раскрываются принципы тайменеджмента, т.е. эффективного управления своим временем (рассматриваются «поглотители» времени, основы планирования дня, года), формируются вербальные и невербальные навыки устного и письменного общения с работодателями, анализируется процесс прохождения собеседования (подготовка, правила поведения, ожидание ответа), формируются коммуникативные навыки ведения телефонных переговоров.

Третье занятие проходит в форме собеседования с работодателем. Целью является отработка полученных в ходе тренинговых занятий знаний и умений в процессе прохождения реального собеседования с работодателем.

Данный тренинг прошел апробацию на двух специальностях в КГАСУ: «Профессиональное обучение» и «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

Содержание тренинга изменялось в зависимости от особенностей профессиональной деятельности специалистов разных профилей.

Рассмотрим подробнее варианты проведения третьего заключительного занятия.

Первый возможный вариант – это проведение ролевой игры «Собеседование с работодателем», осуществляется в три этапа: инструктирование, проигрывание ситуации и ее обсуждение. Для роли работодателей были приглашены преподаватели университета и колледжа. Одна половина участников тренинга играют роли соискателей, а остальные выступают как наблюдатели. Работодатели проводят собеседование с каждым претендентом персонально по несколько минут. Каждый участник тренинга к собеседованию готовит резюме, продумывает свой внешний вид. При этом каждому участнику нужно помнить о нескольких воображаемых конкурентах, равных ему по степени профессиональной подготовки и квалификации. Затем наблюдатели и претенденты меняются местами. Таким образом, все участники тренинга проходят процедуру собеседования.

В ходе проигрывания ситуаций присутствующие наблюдают за процессом игры, отмечая положительные и отрицательные моменты в поведении каждого из участников. По завершении игровой ситуации группа переходит к ее обсуждению. Наблюдатели высказывают мнение по поводу каждой ситуации, отмечая возможные позитивные и негативные стороны в поведении каждого из кандидатов.

Второй вариант проведения заключительного занятия – это реальная встреча с работодателем и прохождение собеседования.

Так, на заключительном занятии будущим инженерам-технологам была предоставлена возможность побеседовать с потенциальными работодателями. В собеседовании участвовали директора, главный инженер, а также менеджеры по персоналу четырех крупных строительных организаций Поволжья.

Каждый участник тренинга подготовился к собеседованию: составил резюме, самопрезентацию, вопросы, которые сможет задать работодателю, продумал презентабельный внешний вид. Преимущество данной формы проведения завершающего занятия: реальность ситуации, возможность попасть к нескольким работодателям в течение часа, узнать мнение профессионалов о себе.

Проведенные тренинговые занятия оставили положительные впечатления у всех участников. Такие активные формы обучения по актуальным для молодежи проблемам вызывают у студентов огромный интерес, доступны для восприятия и имеют огромное практическое значение.

Подводя итог проделанной работе, необходимо отметить, что подготовка современного конкурентоспособного специалиста должна включать в себя мероприятия, направленные на формирование у выпускников эффективного поведения на рынке труда. Такие мероприятия могут быть реализованы на базе социально-психологического центра университета, где одним из направлений работы будет являться проведение тренингов по технологиям эффективного трудоустройства. Также подготовка выпускников вуза к эффективному поведению на рынке труда может быть реализована в рамках специально разработанной учебной дисциплины, включающей в себя теоретические и практические занятия. Третий вариант реализации данной задачи может быть осуществлен благодаря программе дополнительного образования, которая позволит студентам и всем желающим получить на базе университета возможность подготовки к эффективному трудоустройству и построению успешной карьеры.

Список литературы

1. Евтихов О.В. Практика психологического тренинга. – СПб.: Издательство «Речь», 2007. – 256 с.
2. Байденко В.И. Выявление состава компетенций выпускников вузов как необходимый этап проектирования ГОС ВПО нового поколения: Методическое пособие. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 72 с.
3. Технологии обучения выпускников вузов эффективному поведению на рынке труда: Учебно-методическое пособие / Сост. Л.Р. Яруллина. – Казань: Астория, 2008. – 51 с.

Suchkova T.V. – candidate of psychological sciences, associate professor
E-mail: ta.su@mail.ru
Jarullina L.R. – candidate of psychological sciences, associate professor
Chernukhina M.E. – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Realization of efficient employment's technologies for graduates of engineering university

Resume

The article is devoted to the problem of forming the efficient behavior on the labor market of the graduates of engineering university. This type of behavior requires effective employment procedure, the adaptation at the new workplace, building a successful career.

The basic knowledge and skills of the effective employment are revealed. They are the knowledge of the labor market of Tatarstan, ability to find the work, development the professional qualities, design a successful career. Such knowledge and skills are among the common cultural competences of graduates of engineering university.

The examples of training forms of efficient employment's technologies are described in the article. The training is one of the forms of active learning. Training sessions of learning employment's technologies combine theoretical and practical exercises. They include different issues such as preparing for interview, writing a resume, business communication skills, self presentation, time management, business image and others. Such kinds of training were performed for engineering and vocational training graduates at Kazan State University of Architecture and Engineering.

The article might be interesting to the employment department specialists, graduates, post-graduates and teachers of engineering universities.

Keywords: efficient behavior on the labor market, employment, competences, training, interview.

References

1. Evtihov O.V. Psychologies training practice. – SPb.: Speech, 2007. – 256 p.
2. Baidenko V.I. Identifying competencies of graduates as a necessary stage of designing a new generation of HPE STATE: Toolkit. – M.: Research Center of the quality of training, 2006. – 72 p.
3. Technology education graduates efficient behavior on the labor market: educational tools / Comp. L.R. Yarullina. – Kazan: Astoria, 2008. – 51 p.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297х210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10-12 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в виде файлов основных графических форматов (tif, jpg, bmp, gif) с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 80х80 мм, максимальный – 170х240 мм.

Для набора формул и вставки символов использовать встроенный в Microsoft Word редактор формул Microsoft Equation или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы. 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.

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 (50-100 слов)
Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация
разделительный интервал
Текст статьи
разделительный интервал
Список литературы
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

Resume

Текст резюме (150-200 слов)

Keywords: thermal insulating materials, of carbamide foams, updating
разделительный интервал

References*

* Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия изданий не переводить – писать в латинской транскрипции).

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры:

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
2. Драновский А.Н. Динамические параметры прочности песков // Сб. научных трудов «Материалы 49-й Республиканской научной конференции». – Казань: КГАСА, 1998. – С. 186-191.
3. Завадский В.Ф., Путро Н.Б., Максимова Ю.С. Поризованная строительная керамика // Строительные материалы, 2004, № 2. – С. 21-22.
4. Корчагина В.И. Исследование в области модификации ПВХ и биполимерных систем на его основе // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. хим. наук. – Казань, 1974. – 22 с.
5. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – 496 с.
6. Приемопередающее устройство: пат. 2187888 Рос. Федерация. № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02. Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.
7. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. – М., 2000. – 15 с.
8. Отчёт по НИР. Инв. № 02200703350. Соколов Б.С. и др. Разработка новых и совершенствование существующих методов расчёта железобетонных и каменных элементов, конструкций зданий и сооружений.
9. Инвестиции останутся сырьевыми // PROGNOSIS.RU: ежедн. интернет-изд. 2006. 25 янв. URL: http://www.prognosis.ru/print.html?id=6464 (дата обращения: 19.03.2007).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. – M: Publishers ASV, 2002. – 500 p.
2. Dranovsky A.N. Dynamic parametres of durability of sand // The collection of proceedings «Materials of 49th Republican scientific conference». – Kazan: KSABA, 1998. – P. 186-191.
3. Zavadsky V.F., Putro N.B., Maksimova Yu.S. Porous building ceramics // Stroitelnye materialy, 2004, № 2. – P. 21-22.
4. Korchagina V.I. Research in the field of updating of PVC and bipolymerous systems on its basis // The master's thesis author's abstract on competition of degree of a Cand. Chem. Sci. – Kazan, 1974. – 22 p.
5. Chemical technology of ceramics: Studies. The grant for high schools / Under the editorship of prof. I.J. Guzmana. – M: LTD RIF « Stroymaterialy», 2003. – 496 p.
6. The send-receive device: the patent 2187888 Russian Federation. № 2000131736/09; It is declared 18.12.00; it is published 20.08.02. The bulletin № 23 (II part). – 3 p.
7. GOST 9128-97. Mixes asphalt-concrete road, air field and asphalt-concrete. – M., 2000. – 15 p.
8. The report on research work. Inv. № 02200703350. Sokolov B.S. and others. Working out new and perfection of existing methods of calculation of ferro-concrete and stone elements, designs of buildings and constructions.
9. Investments remain raw // PROGNOSIS.RU: the daily Internet-edition 2006. 25 jan. URL: http://www.prognosis.ru/print.html?id=6464 (reference date: 19.03.2007).

В список литературы 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.

Тезисы к публикации не принимаются!

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, скрепленные степлером, подписанные автором (ами);**
- **Электронный носитель (**CD-диск. 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**;
- **Анкета автора (ов) в предлагаемой форме** (заполнить на русском и английском языке).

Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

После уведомления редакцией принятия рукописи и согласования сроков её публикации с ответственным исполнителем журнала авторы представляют копию платежной квитанции или справку, подтверждающую обучение автора (ов) в аспирантуре на момент подачи статьи.

Расчет стоимости не зависит от объема текста статьи на странице.

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 АСПИРАНТОВ 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. Ответственный исполнитель журнала – Хабибулин Марат Максутович.

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: 00000000000000000130 реализация изд. деят-ти.

АНКЕТА АВТОРА(ОВ)

(заполняется в электронном виде отдельным файлом, названным «Анкета», с расширением RTF)

Фамилия, имя, отчество (полностью), **учёная степень,** **звание,** **должность.** **Полное наименование организации, город** (указывается, если не следует из названия организации) (для каждого автора) **Адрес организации**	
Название статьи	
Аннотация (от 50 до 100 слов)	
Ключевые слова (от 5 до 10 слов или словосочетаний)	
Научная тематика статьи	Впишите одну из представленных: – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия; – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности; – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов; – Строительные конструкции, здания и сооружения; – Основания и фундаменты, подземные сооружения; – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов; – Строительные материалы и изделия; – Гидротехническое строительство; – Технология и организация строительства; – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; – Гидравлика и инженерная гидрология; – Строительная механика; – Экология (в строительстве); – Экономика и управление народным хозяйством (в строительстве); – Системный анализ, управление и обработка информации (в строительстве); – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (в строительстве); – Теория и методика профессионального образования (в строительном вузе).
Паспортные данные (номер, кем выдан, дата выдачи, адрес регистрации), **ИНН**	
Адрес для переписки	
E-mail	
Контактные телефоны	

AUTHOR'S QUESTIONNAIRE

(it is filled in electronic type by separate file named «Questionnaire» with expansion RTF)

Full Last name First name, Middle name **Scientific degree,** **Scientific rank,** **Current position.** **Full name of the organization**, **City** (it is noticed if it is not clear from the name of organization) (for each author) **The organization address**	
Title of the article	
Resume (The volume from 150 to 200 words)	
Keywords (from 5 to 10 words or phrases)	
Scientific topic of the article	Include one of the presented: – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical-architectural heritage; – Architecture of buildings and constructions. Creative conceptions of architectural activity; – Town-planning, planning of rural settlements; – Building constructions, buildings and structures; – Ground works and foundations, underground constructions; – Heating, ventilation, air conditioning, gas supply and illumination; – Water-supply, water drain, building systems of water resources protection; – Building materials and making; – Hydraulic engineering construction; – Technology and organization of building; – Design and construction of roads, metropolitan railways, airdromes, bridges and transport tunnels; – Hydraulics and engineering hydrology; – Building mechanics; – Ecology (in building); – Economy and management of a national economy (in building); – System analysis, management and information processing (in building); – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programs (in building); – Theory and vocational training technique (in engineering higher educational institution).
Mailing address	
Telephone numbers for communication	

Известия КГАСУ
2012 г., № 3 (21)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Редактор: Канзафарова С.М.
Макет: Хабибулин М.М., Никитина 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 26.09.2012 Формат 60x84/8
Заказ 414 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 30 Уч.-изд. л. 30,5
Тираж 500 экз.
I завод-100

Отпечатано ПМО КГАСУ, г. Казань, ул. Зеленая, 1