

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

***ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ***

Серия:

**Физико-химические проблемы
и высокие технологии
строительного материаловедения**

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ
- ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
- МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ
- ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- ХРОНИКА, БИБЛИОГРАФИЯ

Выпуск № 1 (10)

2015 г

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Председатель редакционного совета Научного вестника
канд. техн. наук, доцент С.А. Колодяжный

Редакционная коллегия серии:

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев
Зам. главного редактора – д-р хим. наук, проф. Е.А. Тутов
Ответственный секретарь – канд. хим. наук Е.Г. Давыдова.

Члены редколлегии:

Д-р техн. наук, проф. В.В. Белов (г. Тверь, ТвГТУ); д-р техн. наук; к.т.н., проф. В.В. Власов (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р техн. наук, проф. Гаркави М.С. (г. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова); д-р техн. наук, проф. С.С. Глазков (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р техн. наук, проф. Ю.Г. Иващенко (г. Саратов, СГТУ им. Ю.А. Гагарина); д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ГПС МЧС России); д-р техн. наук, проф. В.И. Калашников (г. Пенза, ПГУАС); д-р техн. наук, проф. А.Д. Корнеев (г. Липецк, ЛГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов, РГСУ); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р техн. наук, проф. Ш. М. Рахимбаев (г. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова); д-р хим. наук, проф. В.Ф. Строганов (г. Казань, КГАСУ); д-р техн. наук, проф. И.С. Суворцев (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трешев (г. Тула, ТулГТУ); д-р техн. наук, проф. Е.М. Чернышов (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Шитикова (г. Воронеж, Воронежский ГАСУ); д-р техн. наук, проф. В.П. Ярцев (г. Тамбов, ТГТУ).

В серии публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников Воронежского ГАСУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам физической химии строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химическим методам контроля качества материалов, применяющихся в строительстве; по экологии, пожарной и экологической безопасности строительных технологий и др.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедцам, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных и технических учебных заведений.

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419

тел.: (473) 2369350, (473)2717617

E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691.175.664:620.22:667.6

П.А. Зубарев, **А.Н. Бобрышев**, А.В. Лахно, В.Т. Перцев

ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОСТЫХ ПОЛИЭФИРОВ

Проанализированы существующие потребности современного рынка и выявлена необходимость расширения областей применения защитных полимерных полиуретановых покрытий. Выявлены недостатки широко используемых полиуретан и полиуретан-полиимочевинных защитных покрытий. Предложен способ получения более эффективного полиуретан-полиимочевинного покрытия.

Ключевые слова: полиуретан, полиимочевина, покрытие

P.A. Zubarev, **A.N. Bobryshev**, A.V. Lakhno, V.T. Pertsev

COATINGS BASED ON MODIFIED POLYETHERS

Analysis current needs of the modern market identified a need to extend the scope of polymer protective polyurethane coatings. The shortcomings of widely used polyurethane and polyurethane-polyurea protective coatings are revealed. A method producing a polyurethane-polyurea more effective coating is offered.

Keywords: polyurethane, polyurea, coating

Введение. Опыт зарубежных и отечественных ученых и производителей позволяет сделать вывод, что самой эффективной защитой основания пола, как и большинства других элементов конструкций и изделий из бетона, дерева, металлов и других распространенных материалов, является полимерные покрытия (Пк) [1,2]. Полиуретановые (ПУ) Пк характеризуются высокой адгезией и широким диапазоном относительного удлинения, что является показателем возможности применения и сохранения целостности Пк на большинстве материалов при длительной эксплуатации в различных температурных и других условиях до разрушения защищаемого материала. Химическая стойкость, износостойкость и другие важные эксплуатационные показатели в свою очередь позволяют защитить данный материал от разрушений. Большинство защитных полиуретановых Пк для напольного использования, продаваемых в нашей стране, поставляются зарубежными производителями либо производятся на территории России с использованием отечественных полиэфиров, но по технологиям зарубежных корпораций. Большинство компонентов, таких как изоцианаты, пеногасители, адсорбенты воды, стабилизаторы и катализаторы, поставляются из Китая, Японии и стран Европы. Самым распространенным способом получения защитного ПУ покрытия типа самовыравнивающегося наливной пол, является отверждение гидроксилсодержащего компонента на основе сложного полиэфира (ПЭ) и содержащего технологические добавки, полиизоцианатом (ПИЦ). В качестве добавок в гидроксилсодержащий компонент чаще всего вводят: гидроадсорбенты; диспергирующие добавки; пеногасители; катализаторы; пигменты и др.

При создании полимерных самовыравнивающих Пк возникает потребность решения ряда технологических проблем: устранение эффекта порообразования от углекислого газа образующегося при взаимодействии изоцианатов с водой; снижения вязкости, без применения опасных растворителей и других технологических характеристик.

Теоретическая часть. В настоящий момент предлагаются различные полиуретановые, полимочевинные и так называемые гибридные полиуретан-полимочевинные защитные Пк. В отношении отрицательного действия влаги основания и окружающей среды наиболее неприхотливыми являются полимочевинные покрытия, но реакция полимеризации таких покрытий происходит очень бурно и их нанесение требует использования специфического оборудования, и невозможно к применению покрытий типа наливной пол. Снизить риски порообразования позволяет применение менее активных в отношении воды алифатических и циклоалифатических изоцианатов. Применение алифатических изоцианатов также позволит сделать покрытия более светостойкими, но из-за высокой стоимости этих изоцианатов их использование не получило широкого распространения.

Как отмечено выше, самое широкое распространение получили ПУ Пк на основе ароматических изоцианатов так как эти изоцианаты более доступны, а покрытия чаще всего применяются внутри помещения и менее подвержены воздействию ультрафиолетового излучения. В таких покрытиях действие воды на изоцианат снижается введением комплекса гидроадсорбентов, катализаторов, пеногасителей, а также применением более гидрофобного гидроксилсодержащего компонента. Пеногасители являясь поверхностно активными веществами позволяют газовым включениям покинуть формирующийся полимер. К основным недостаткам данной технологии относится её многокомпонентность и сложность прогнозирования свойств конечного продукта. Что указывает на необходимость снижения количество компонентов оказывающих влияние на характеристики конечного продукта, а также необходимость замены наиболее дорогих сложных полиэфиров в составе гидроксилсодержащего компонента.

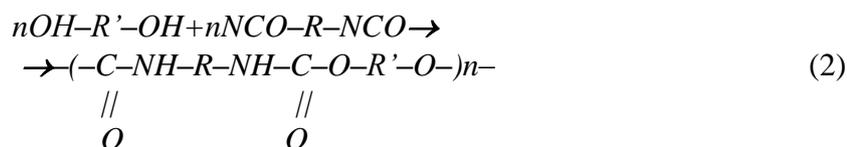
При взаимодействии изоцианатных групп с водой (за счет влажности окружающей среды), в результате которой образуются карбодиамидные или мочевиновые связи (1):



В предложенной работе предлагается иной, отличный от традиционного, способ получения напольных самовыравнивающих полиуретановых, а точнее полиуретан-полимочевинных покрытий.

С целью устранения эффекта вспенивания и получения жёстких малопористых полиуретанов разработана технология, заключающаяся в том, что в полиэфирную составляющую вводится кремнийорганический модификатор-гелеобразователь класса полисилазанов. При совмещении полиэфирной составляющей с полиизоцианатом, полисилазан связывает структурную влагу и ускоряет реакцию взаимодействия полиэфира и отвердителя. При этом взаимодействие изоцианата и воды сводится к минимуму и протекает медленнее основной реакции полимеризации. В целом, увеличивается скорость полимеризации полиуретана и снижается реактивность изоцианата по отношению к воде, что нивелирует эффект вспенивания [1,2].

Таким образом, при смешении модифицированного силазаном полиэфира с полиизоцианатом протекает реакция уретанобразования по классическому принципу,

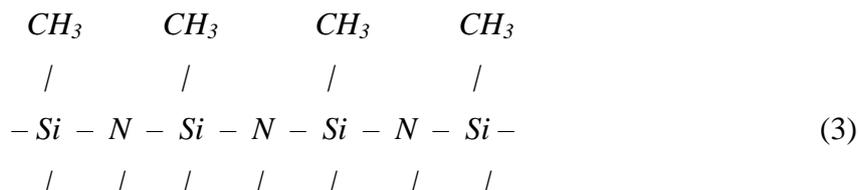


Кремнийорганические соединения класса силазанов содержат активные функциональные группы вида $-Si-N-Si-$. Молекула силазана имеет вид:

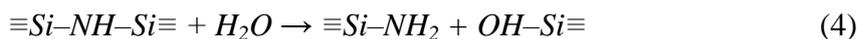


где $m = 1 \div 3$, $k = 4 \div 10$; $R = Alk, Ar$.

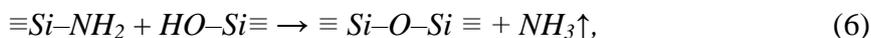
В развёрнутом виде метилсилазан выглядит следующим образом:



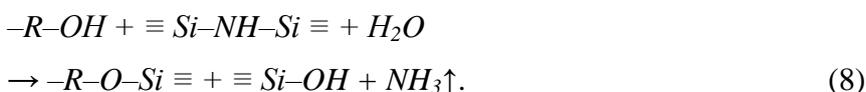
Свойства силазанов обусловлены химическим строением макромолекул. В макромолекуле силазана атомы кремния чередуются с атомами азота. Силазановая связь $-Si-NH-Si-$ гидролитически неустойчива и в присутствии воды распадается на несколько молекул с гидроксильным и аминным остатком [2–5].



Дальнейшее взаимодействие приводит к замене силазановых связей на более устойчивые силоксановые:



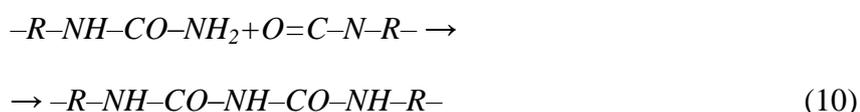
Возможно, взаимодействие полиэфира с кремнийорганическими соединениями класса полисилазанов протекающее в присутствии следов воды. Вначале происходит разрушение макромолекулы силазана на мелкие фрагменты (формула 4), а затем взаимодействие их с полиэфиром:



Образование аммиака дает значительные преимущества в процессе отверждения полиуретана. Это обусловлено тем, что молекулярный аммиак является активным гелеобразователем [1,2].

Атом азота в молекуле аммиака связан тремя ковалентными связями с атомами водорода и сохраняет при этом одну неподеленную электронную пару. Такая пара может участвовать в образовании ковалентной связи с другим атомом, если во внешнем электронном слое этого атома есть свободная орбиталь. При взаимодействии молекулы аммиака с ионом водорода, лишенного электронов, между ними возникает ковалентная связь, т. е. неподеленная пара электронов атома азота становится общей для двух атомов [6].

Выступая в качестве донора электронной пары, атом азота может участвовать в образовании по донорно-акцепторному механизму четвертой ковалентной связи с другими атомами или ионами, обладающими электронно-акцепторными свойствами. Этим объясняется чрезвычайно характерная для аммиака способность вступать в реакции присоединения [6]. Так аммиак высокоактивно реагирует с изоцианатом с образованием мочевиновых группировок.



Исследования показали, что при взаимодействии полиэфира не модифицированного силаном с полиизоцианатом происходит вспенивание полиуретановой композиции.

При смешении модифицированного силаном полиэфира с изоцианатом, в первую очередь последний реагирует с силаном с образованием биссилilmочевины, которая является чрезвычайно реакционно-способной в отношении воды.

После чего идут реакции (7) и (10) с образованием силоксановых и мочевиновых сшивок.

При совмещении с полиизоцианатом полиэфир, модифицированный силаном, образует прочные пространственные сшивки. $-NH-$ соединение силана в определенной мере является катализатором уретанобразования. Реакция взаимодействия изоцианатов с аммиаком образующимся в процессе распада макромолекул силана, как и с самим силаном, происходит быстрее реакции взаимодействия изоцианатов с водой, при этом выделяется тепло, ускоряя процесс взаимодействия гидроксильных простого полиэфира с изоцианатом.

Скорость протекания реакции образования полиуретана растет с увеличением в полиэфирном компоненте полисиланового модификатора. Химические свойства силанов позволяют ускорить основную реакцию образования полиуретанов – взаимодействие гидроксильных групп (OH) модифицированного полиэфира и изоцианатных (NCO) групп отвердителя. При этом реакция взаимодействия полиизоцианата и воды, содержащейся в виде остатков в полиэфире и в окружающей среде, протекает медленнее, чем основная реакция.

В свою очередь, при выборе модификатора-гелеобразователя из класса полисиланов для ускорения процесса отверждения полиуретана немаловажную роль играет стерический фактор.

Экспериментальная часть. Исследования показали, что скорость полимеризации полиуретановых композитов, модифицированных силанами, зависит от вида радикала полисилана. Длинные цепочки радикала закрывают активные группы полисилана $-Si-NH-Si-$ макромолекулы силана и тем самым снижают активность модификатора, в результате чего процесс полимеризации замедляется (рис. 1,2).

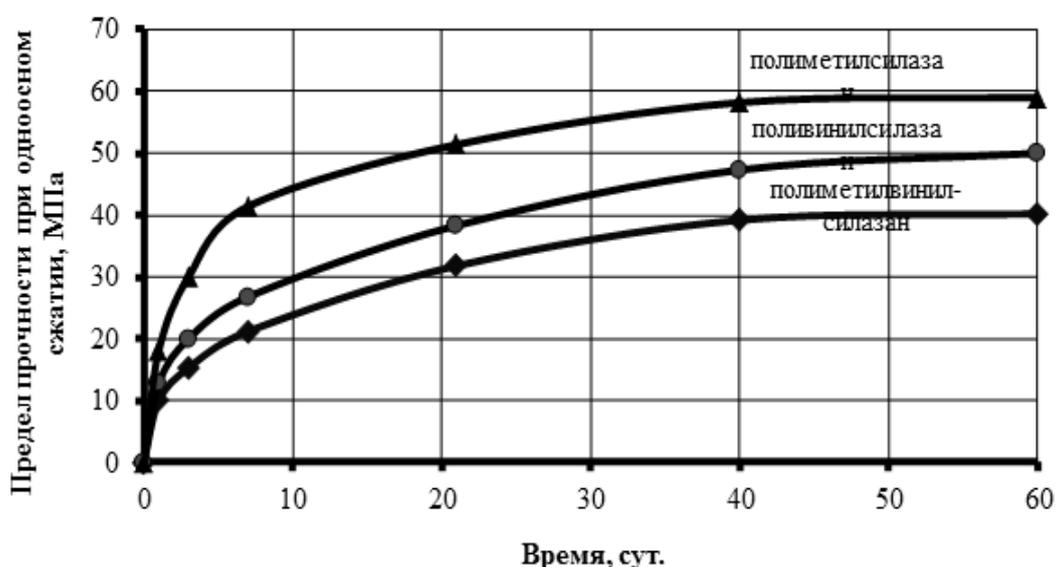


Рис. 1. Кинетика изменения предела прочности при одноосном сжатии полиуретановых композитов в зависимости от вида силанового модификатора

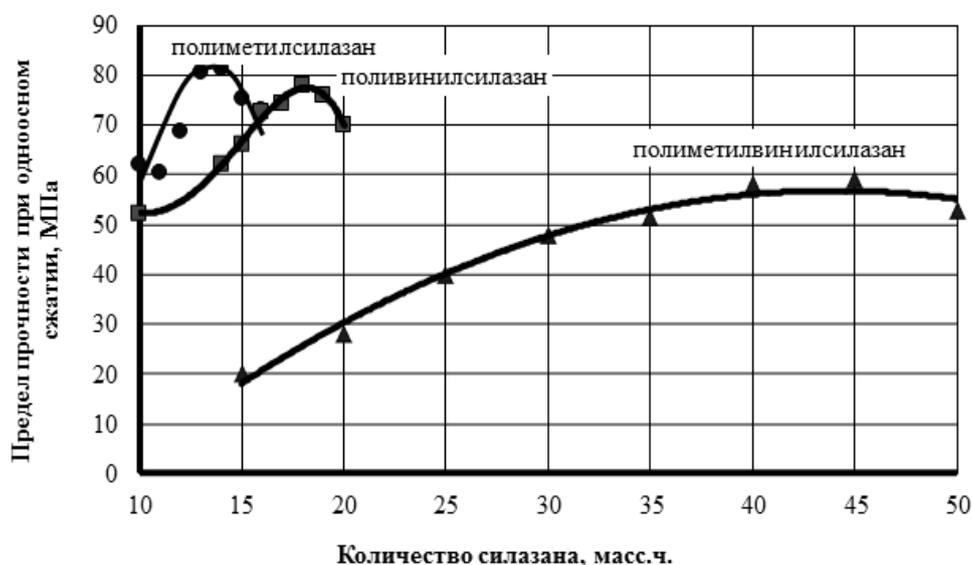


Рис. 2. Изменение предела прочности при одноосном сжатии полиуретановых композитов с различными силановыми модификаторами

Таким образом, чтобы добиться аналогичного результата необходимо взять кремнийорганического гелеобразователя поливинилсилазана в два раза больше, чем полиметилсилазана. Экспериментально подтверждено, что с увеличением основности радикала снижаются физико-механические свойства отвержденных полиуретанов.

Помимо образования уретановых и мочевинных группировок в полиуретанах часто присутствуют различные аллофанатные, биуретовы, а также изоцианураты. Поэтому для выявления наиболее рационального соотношения OH/NCO были проведены экспериментальные исследования. Экспериментально установлено (рис. 3), что при варьировании (в пределах оптимальной зоны) количеством отвердителя – полиизоцианата тоже приводит к изменению физико-механических свойств отвержденных полиуретанов, в частности предела прочности при одноосном сжатии. Выявлено, что оптимальное количество отвердителя (полиизоцианата) составляет 80 – 100 % от количества модифицированного полиэфира, а также подтверждено, что экстремум – максимум находится в районе 17 массовых частей поливинилсилазана, с уменьшением или увеличением содержания силана прочность снижается [7].

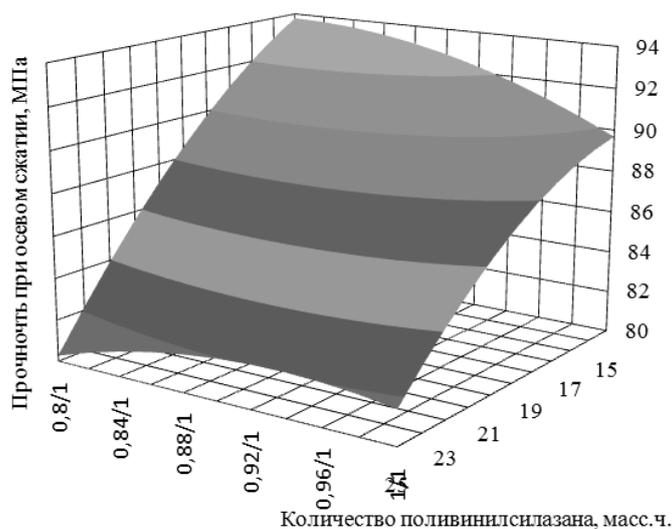


Рис. 3. Изменение предела прочности при одноосном сжатии полиуретановых композитов в зависимости от количества поливинилсилазана и соотношения полиэфир:полиизоцианат

Как видно из сводного графика на рис. 3 при соотношении полиэфир:полиизоцианат = 1:0,9 значения прочности при сжатии максимальны. Это обусловлено тем, что при таком соотношении компонентов достигается наиболее оптимальное количество гидроксильных и изоцианатных групп в отверждающейся системе, тем самым формируется более плотный каркас полиуретанового КМ [8].

Обсуждение результатов. Получение подобных полиуретановых композитов можно условно разделить на следующие стадии. На первой стадии происходит совмещение всех компонентов: полиэфира, кремнийорганического модификатора – силазана, отвердителя – полиизоцианата и воды, которая всегда в незначительном количестве находится в составе полиэфира и адсорбируется из окружающей атмосферы. Затем следует их тщательное перемешивание для наиболее полного взаимодействия всех составляющих смеси. Здесь же происходит первоначальное химическое взаимодействие между компонентами [1,2,7].

Приведенные выше данные были получены при исследовании покрытий на основе простого полиэфира Лапрол 805Б модифицированного различными силазанами и полиизоцианата. Также были проведены исследования влияния свойств различных других простых полиэфиров. Было установлено, что в зависимости от активности гидроксильных полиэфиров, гидрофильности или гидрофобности необходимо различное количество подобных модификаторов для нивелирования эффекта вспенивания, а строение молекул полиэфира оказывает влияние лишь на конечные характеристики готового покрытия.

Также были проведены эксперименты по получению полиуретан-полимочевинных на основе растворов в простых полиэфирах ароматического диамина -4,4'- метилена-бис (о-хлоранилина) (диамет Х или за рубежом МОКА). Эксперименты показали, при взаимодействии ПИЦ с МОКА образуется первичный жесткий полимочевинный каркас, препятствующий проникновению влаги и вспениванию КМ при этом внутри данного каркаса протекают реакции полимеризации непрореагировавшего полиизоцианата и полиэфира, набирая полную прочность КМ. В зависимости от различных факторов для образования подобных Пк при разных условиях необходима концентрация МОКА от 20-25 % по отношению к полиэфиру. Однако данный вид покрытий полимеризуется значительно быстрее рассмотренного выше, ввиду более высокой реакционной способности аминов по отношению к изоцианату. Данный вид композитов весьма интересен в качестве напыляемых покрытий, где возможно смешение непосредственно перед нанесением. Введение других полиаминов, с меньшими радикалами, из-за их высокой активности, не дает возможности качественного смешения компонентов.

Для применения полиуретан-полимочевинных покрытий на основе полиэфиров, модифицированных силазанами, в качестве самовыравнивающих напольных покрытий также необходимо снижение времени гелеобразования либо использование специального оборудования для более быстрого смешения и нанесения. Для снижения времени гелеобразования возможно применение различных растворителей, затрудняющих взаимодействия изоцианатов с другими активными компонентами. Использование для этих целей летучих растворителей, ввиду предъявляемых на сегодняшний день требований к таким покрытиям, не допустимо. Следовательно, это возможно при использовании в качестве растворителя – жидкофазного наполнителя (пластификатора), который в свою очередь позволит повысить относительное удлинение Пк. Также если данный пластификатор обладает гидрофобными свойствами, сможет дополнительно снизить риски негативного воздействия влаги. В настоящее время распространены пластификаторы антипирены, также позволяющие снизить горючесть материала.

Заключение. Таким образом, анализ существующих потребностей современного рынка показал необходимость в расширении возможностей применения защитных полимерных покрытий на основе полиуретанов. Выявлены недостатки имеющихся и получивших огромное распространение полиуретан и полиуретан-полимочевинных защитных покрытий. Предложенный способ получения полиуретан-полимочевинного Пк

позволяет устранить ряд недостатков. Проведенные исследования позволили составить наиболее рациональный состав подобных покрытий.

Список литературы

1. Бобрышев А.Н., Лахно А.В., Зубарев П.А. и др. Перспективность модификации эпоксиполиуретанов кремнийорганическими соединениями // Вестник отделения строительных наук. Вып. №15. Москва-Орел-Курск. 2011. С. 180–186.
2. Лахно А.В. Эпоксиполиуретановый клей для соединения линолеума встык: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05. Пенза, 2005. 20 с.
3. Лосев И.П., Тростянская Е.Б. Химия синтетических полимеров. М.: Химия, 1971, 616 с.
4. Соболевский М.В., Музовская О.А., Попелева Г.С.. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. М.: Химия. 1975. 296 с.
5. Хмелев Ю.Г. Ким Г.П., Жинкин Д.Я., Клещевникова С.И. Усовершенствованный способ твердения керамических форм и стержней на этилсиликатном связующем // Литейное производство, № 7, 1986. С. 12–14.
6. Глинка Н.Л. Общая химия. Уч. пособ. для вузов 20-е изд., испр./ Под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1979. 720 с.
7. Зубарев П.А., Петренко В.О., Лахно А.В., Рылякин Е.Г. Планирование оптимального соотношения компонентов в полиуретановой системе // Молодой ученый. 2014. № 6(65). С. 164–166.
8. Бобрышев А.Н., Зубарев П.А., Лахно А.В. Влияние аминоксодержащих добавок на свойства полиуретановых композитов // Региональная архитектура и строительство. 2014. №2. С. 35–39.

Зубарев Павел Александрович – к.т.н., инженер-исследователь кафедры технологии строительных материалов и деревообработки Пензенского государственного университета архитектуры и строительства E-mail: pahan_z@mail.ru. Тел. 8(902)347-67-66

Бобрышев Анатолий Николаевич – д.т.н., проф. кафедры технологии строительных материалов и деревообработки Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. E-mail: techbeton@pguas.ru

Лахно Александр Викторович – к.т.н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. E-mail: lakhnopenza@mail.ru. Тел. 8(927)388-29-39

Перцев Виктор Тихонович – д.т.н., проф. кафедры технологии строительных изделий и конструкций Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: perec_v@mail.ru.

УДК 691.178.004.14

Н.С. Никулина, Г.Ю. Вострикова, А.И. Дмитренко,
О.Н. Филимонова, С.С. Никулин

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

В статье приводится сравнительная характеристика полученных экспериментальных результатов по влиянию модифицированных и не модифицированных нефтеполимерных смол фракции С₉ на свойства древесно-волоконистых плит. Исследования проводили с использованием метода планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата четвертого порядка. Результаты указывают на то, что полученные пропиточные составы улучшают водоотталкивающие свойства плитных материалов и повышают их прочность при изгибе.

Ключевые слова: вторичное сырье, композиты, углеводородная фракция С₉, нефтеполимерная смола, коагулюм, бутадиен-стирольный каучук, пропиточный состав, древесно-волоконистые плиты.

N.S. Nikulina, G.Y. Vostrikova, A.I. Dimitrenkov,
O.N. Filimonova, S.S. Nikulin

INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE PROPERTIES FIBERBOARD

The article is conducted comparative description of experimentally obtained results on the effect of modified and unmodified based petroleum resin C₉ fraction on the properties of fiberboard. Investigations were carried out using the method of experiment planning scheme Greco-Latin square of the fourth order. The results indicate that the obtained impregnating compositions improve water repellent properties of plate materials and increase their bending strength.

Keywords: industrial waste composite materials, hydrocarbon fraction C₉, petroleum resins, coagulum, butadiene-styrene rubbers, impregnating compositions, fibreboard

Введение. Разработка новых технологий использования вторичного сырья способствует увеличению производительности процессов, более полному и экономичному использованию дорогостоящего сырья, расширению ассортимента выпускаемой продукции.

Одним из таких побочных продуктов предприятий нефтехимической промышленности является углеводородная фракция С₉. На её основе в настоящее время в промышленных масштабах освоен выпуск нефтеполимерной смолы, используемой в качестве пленкообразующего в лакокрасочных составах [1].

Одним из перспективных направлений по использованию низкомолекулярных полимеров из побочных продуктов нефтехимии является защитная обработка древесных материалов и в частности древесно-волоконистых плит (ДВП). Как показали ранее опубликованные исследования, полимерные материалы на основе побочных продуктов нефтехимии могут быть с успехом использованы для этих целей [2-3].

Экспериментальная часть. Работа посвящена сравнительной характеристике влияния нефтеполимерной смолы на основе фракции С₉ и модифицированной нефтеполимерной смолы, полученной из фракции С₉, коагулюмом от производства бутадиен-стирольного каучука на защитную обработку ДВП.

Изучение процессов проводили по плану греко-латинского квадрата четвертого порядка [4].

В качестве основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на свойства ДВП были выбраны: продолжительность пропитки в двух случаях — 30, 60, 90, 120 с (фактор А); температура пропиточного состава из нефтеполимерной смолы на основе фракции С₉ — 20, 40, 60 и 80 °С, а температура пропиточного состава из модифицированной нефтеполимерной смолы, полученной из фракции С₉, коагулятом от производства бутадиен-стирольного каучука — 60, 80, 100, 120 °С (фактор В); в обоих случаях продолжительность термообработки— 1, 3, 5 и 7 ч (фактор С) и температура термообработки — 110, 130, 150 и 170 °С (фактор D). Свойства пропитанных ДВП контролировались по изменению таких показателей как прочность при изгибе, водопоглощение, разбухание по толщине.

Обработку ДВП нефтеполимерной смолой на основе фракции С₉ проводили следующим образом. Предварительно высушенные и взвешенные образцы погружали в пропиточную ванну, содержащую 40 % раствор нефтеполимерной смолы в сольвенте, и выдерживали в соответствии с планом эксперимента в течение заданного времени и температуры. Пропитанные образцы ДВП извлекали из ванны, подсушивали и подвергали термообработке. После термообработки образцы охлаждали до комнатной температуры и взвешивали. Содержание сополимера в образцах определяли гравиметрически по изменению массы.

Обработку ДВП модифицированной смолой с добавкой ~ 10% сиккатива (дополнительное введение сиккатива способствует ускорению как процессов образования гидропероксидов, так и их распаду) проводили аналогично. Необходимо отметить, что увеличение содержания доли отходов производства бутадиен-стирольного каучука в нефтеполимерной смоле на основе фракции С₉ приводит к повышению вязкости системы, возрастанию молекулярной массы и снижению бромного числа, характеризующего неопределенность [5].

После обработки экспериментальных результатов с использованием компьютерных программ были получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных технологических параметров процесса на свойства образцов ДВП:

Пропитка нефтеполимерной смолой на основе фракции С₉

- прочность при изгибе, МПа

$$Y_{\text{проч.}} = 1,662 \cdot 10^{-5} \cdot (35,375 + 0,0518a) \cdot (38,26 + 0,0186b) \cdot (35,8 + 0,8615c) \cdot (20,58 + 0,1349d)$$

- водопоглощение (через 24 ч), %

$$Y_{\text{водопог.}} = 1,976 \cdot 10^{-4} \cdot (18,11 - 0,012a) \cdot (18,28 - 0,0221b) \cdot (17,27 - 0,0255c) \cdot (19,47 - 0,0164d)$$

- разбухание по толщине (через 24 ч), %

$$Y_{\text{разбух.}} = 5,358 \cdot 10^{-4} \cdot (13,43 - 0,0147a) \cdot (13,045 - 0,0145b) \cdot (12,612 - 0,0735c) \cdot (14,27 - 0,0139d)$$

Уравнения регрессии, описывающие свойства ДВП пропитанные модифицированной нефтеполимерной смолой, полученной из фракции С₉, коагулятом от производства бутадиен-стирольного каучука

- прочность при изгибе, МПа

$$Y_{\text{проч.}} = 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot (24,94 + 0,12 \cdot a) \cdot (18,99 + 7,5 \cdot 10^{-2} \cdot b) \cdot (27,08 + 0,56 \cdot c);$$

- водопоглощение (через 24 ч), %

$$Y_{\text{водопог.}} = 2,61 \cdot 10^{-3} \cdot (21,77 - 5,76 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (34,01 - 0,102 \cdot b) \cdot (21,03 - 0,359 \cdot c);$$

- разбухание по толщине (через 24 ч), %

$$Y_{\text{разбух.}} = 5,76 \cdot 10^{-3} \cdot (14,31 - 2,93 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (18,62 - 3,95 \cdot 10^{-2} \cdot b) \cdot (13,37 - 4,55 \cdot 10^{-2} \cdot c);$$

Проанализировав полученные результаты, были определены наилучшие условия проведения пропитки ДВП, представленные в таблице 1. Анализ табличных данных показывает, что наиболее существенное влияние на показатели ДВП, оказывают

продолжительность и температура термообработки. Это связано с тем, что при повышенных температурах ускоряются процессы структурирования. Таким образом, повышение температуры и продолжительность обработки приводят к возможности протекания целого ряда последовательных, параллельных и последовательно-параллельных процессов.

Таблица 1

Условия проведения пропитки ДВП

Параметр	Наименование пропиточного состава	
	Нефтеполимерная смола на основе фракции С ₉	Нефтеполимерная смола фракции С ₉ , модифицированная коагулятом от производства бутадиен-стирольного каучука
Продолжительность пропитки, с (фактор А)	90	60
Температура термообработки, °С (фактор В)	170	170
Продолжительность термообработки, ч (фактор С)	5	7

Образующийся пространственно-структурированный каркас и его химическая связь с древесным волокном придает ДВП не только повышенные гидрофобные свойства, но и прочностные показатели, а также способствует снижению выделения формальдегида из изделий [6], в которых в качестве связующих использованы феноло- или мочевиноформальдегидные смолы.

Необходимо отметить, что наличие нефтеполимерной смолы в ДВП, в зависимости от технологических условий проведения процесса пропитки и последующей термообработки, изменялось в достаточно узком интервале с преимущественным содержанием от 13,7 до 19,1 % от массы плиты. Содержание модифицированной нефтеполимерной смолы в ДВП изменялось в достаточно широком интервале от 5,1 до 14,5% от массы плиты.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений, полученных по вышеприведенным уравнениям и в обозначенных ранее условиях, представлены в табл. 2 и показывают их хорошую сходимость.

Анализ результатов эксперимента, физико-механическая, а также физико-химическая сущность исследуемого явления указывают на то, что между водопоглощением и разбуханием по толщине, водопоглощением и прочностью при изгибе существует тесная корреляционная связь с положительным эффектом.

Визуальный осмотр срезов ДВП пропитанных выше представленными модификаторами показал на хорошее равномерное распределение смолы в объеме получаемых плит, заполнение производственных дефектов, микро- и макропор.

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения показателей ДВП, полученные при оптимальных значениях факторов

Показатель	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность определения, %
Предел прочности при изгибе, МПа	43,74/36,9	47,95/38,2	9,62/3,5
Водопоглощение, %	13,30/14,8	15,55/13,1	16,90/11,5
Разбухание по толщине, %	12,42/11,4	10,83/10,3	12,81/9,6

Примечание: первое значение – пропитка нефтеполимерной смолой на основе фракции С₉, второе значение – пропитка модифицированной нефтеполимерной смолой, полученной из фракции С₉, коагулятом от производства бутадиен-стирольного каучука.

Полученные результаты позволяют рекомендовать для пропитки ДВП применение модифицированных и не модифицированных нефтеполимерных смол. Побочные продукты нефтехимии позволят решать вопросы, не только касающиеся улучшения свойств изделий, но и вопросы экологического характера [7].

Выводы

1. Экспериментальным путем было установлено, что чем выше температура пропитки, тем меньше продолжительность термообработки ДВП.

2. Наилучшие результаты у пропитанных ДВП различными модификаторами достигались при одинаковой температуре термообработки 170 °С, продолжительность термообработки не модифицированной нефтеполимерной смолой на 2 часа меньше, чем модифицированной нефтеполимерной смолой отходами производства бутадиен-стирольных каучуков. Установлено, что наилучшие результаты у пропитанных ДВП модифицированной нефтеполимерной смолой достигались при температуре пропитки 60 °С и продолжительности термообработки 7 ч.

3. Пропитки ДВП модифицированной и не модифицированной нефтеполимерной смолой, которые позволяют улучшить водоотталкивающие свойства плитных материалов и повысить их прочность при изгибе, можно рекомендовать для использования в строительстве.

Список литературы

1. Думский, Ю. В. Нефтеполимерные смолы : учебное пособие / Ю. В. Думский. – М.: Химия, 1988. 168 с.
2. Черная, А. Н. Модификация нефтеполимерной смолы из фракции С₉ вторичным пенополистиролом и ее применение для защитной обработки древесины / А. Н. Черная, С. С. Никулин // Химическая промышленность сегодня. 2009. № 4. С.28–33.
3. Черная, А. Н. Модификация нефтеполимерной смолы из фракции С₉ малеиновой кислотой и ее применение для защитной обработки древесины / А. Н. Черная, С. С. Никулин // Химическая промышленность. 2007. Т.84. № 7. С.340–346.

4. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента.– М. : ДеЛи-Принт. 2005. 296 с.
5. Дмитренко, А.И. Применение модифицированной нефтеполимерной смолы для улучшения свойств древесины и изделий на ее основе / А.И. Дмитренко, О.Н. Филимонова, Н.С. Никулина, С.С. Никулин, Г.Ю. Вострикова // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения 2013. выпуск № 6. С.39–44.
6. Эдмон Роффазль. Выделение формальдегида из древесностружечных плит. М.: Экология. 1991. 160 с.
7. Дмитренко, А.И. Модификация нефтеполимерной смолы из фракции С₉ отходами бутадиен-стирольного каучука и ее применение в ДВП на примере осины / А.И. Дмитренко, О.Н. Филимонова, С.С. Никулин, Г.Ю. Вострикова // Изв. вузов. Лесной журнал. 2013. № 4. С.97–105.

Никулина Надежда Сергеевна - к.т.н., преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов Воронежского института ГПС МЧС России. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru.

Тел.: +7(473) 236-33-05

Вострикова Галина Юрьевна - к.х.н., доцент кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: vostr76-08@live.ru. Тел. +(473) 271-76-17

Дмитренко Александр Иванович - к.т.н., доцент кафедры химии Воронежской государственной лесотехнической академии. E-mail: chem@vglta.vrn.ru. Тел. +7(473) 253-76-59.

Филимонова Ольга Николаевна - д.т.н., доцент, профессор кафедры инженерной экологии Воронежского государственного университета инженерных технологий. E-mail: olga270757@rambler.ru.

Тел.: +7(473) 249-60-24

Никулин Сергей Саввович - д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной экологии и техногенной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru. Тел.: +7(473) 249-60-24

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 691.175

В.П. Ярцев, С.А. Струлев, А.А. Мамонтов

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСНО-ЩИТОВОГО ЗДАНИЯ

Работа посвящена исследованию ряда эксплуатационных свойств экструдированного пенополистирола и проведению сравнительного анализа применения наиболее распространенных в России теплоизоляционных материалов на примере ограждающих конструкций зданий, выполненных по каркасно-щитовой технологии.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, ограждающие конструкции

V.P. Yarcev, S.A. Strulev, A.A. Mamontov

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF HEAT-INSULATING MATERIALS FOR PROTECTING DESIGNS OF THE FRAME AND PANEL BOARD BUILDING

Work is devoted to research of a number of operational properties of extrusive expanded polystyrene and carrying out the comparative analysis of application of the heat-insulating materials most widespread in Russia on the example of protecting designs of the buildings executed on frame and panel board technology.

Keywords: the heat-insulating materials, protecting designs

На современном рынке представлен широкий выбор теплоизоляционных строительных материалов. Они отличаются видом исходного сырья и некоторыми эксплуатационными характеристиками, однако, как потребителям так и инженерам-практикам достаточно тяжело сориентироваться в существующем ассортименте. Сравнение утеплителей в сочетании со всесторонним анализом их эксплуатационных характеристик поможет максимально облегчить принятие решения по выбору эффективной теплоизоляции.

В данной работе на примере выбора утепления для ограждений каркасно-щитового здания рассмотрены такие распространенные современные теплоизоляционные материалы, как минеральная вата, беспрессовый и экструзионный пенополистирол.

Положение минеральной ваты в ряду ведущих теплоизоляционных материалов обусловлено её негорючестью, хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами (коэффициент теплопроводности 0,036 – 0,038 Вт/м*°С), малой гигроскопичностью, возможностью изоляции поверхностей с температурой от -200°С до +600°С. Однако, применение минеральной ваты затруднено присущими ей специфическими недостатками. В виду низкой прочности (0,018÷0,045 МПа) она должна быть защищена от механических воздействий. Под нагрузкой вата уплотняется и дает усадку, часть волокон ломается и превращается в пыль, что делает её экологически небезопасной. Установлено, что при 80% относительной деформации теплопроводность минеральной ваты увеличивается на 30% [1]. В качестве основного критерия долговечности минераловатных плит часто принимают сохранность во времени их теплоизоляционных свойств [2]. Проведенные испытания показали, что действие эксплуатационных факторов в течение 16 условных лет привело к разрыхлению материала (толщина плиты увеличилась на 40%), снижению его прочности и двукратному увеличению теплопроводности.

При эксплуатации минераловатных плит происходит усадка по длине и ширине (после 25 условных лет эксплуатации при размерах плит 1000x500x50 мм швы между соседними плитами, при их плотности 74 кг/м³ могут раскрыться на 20-40 мм, а при плотности 156 кг/м³ – на 5-10 мм), что приводит к существенному снижению теплозащитных свойств в связи с образованием «мостиков холода» [3]. Также происходит набухание плит по толщине, что приводит к сокращению воздушной прослойки в системе вентилируемого фасада и, как следствие, существенному ослаблению вентиляции и процесса удаления влаги из утеплителя.

Пенополистирол является популярным теплоизоляционным материалом, обладая рядом положительных характеристик, например: сохранением теплоизоляционных свойств в условиях несовершенной паро- и гидроизоляции, при циклических температурно-влажностных воздействиях; высокой химической стойкостью и экологичностью. Широкое распространение получили полистирольные пенопласты, произведенные по беспрессовой технологии. При сравнительно низкой плотности (15-50 кг/м³) его прочность на сжатие при 10% линейной деформации составляет 0,02-0,2 МПа, коэффициент теплопроводности находится в пределах 0,037-0,043 Вт/м*°К, а температурный диапазон эксплуатации от -50 до +75°С. Такое сочетание физико-механических и теплофизических свойств позволяет применять его не только для изоляции стен, пола и кровли, но и в качестве несъемной опалубки при изготовлении монолитных конструкций. Однако, относительно низкая прочность спекания гранул приводит к разрушению материала по межгранульным поверхностям в случае поперечного изгиба или растяжения. Так же в пространство между гранулами может попадать влага, которая постепенно разрушает плиту.

В результате исследований [4] установлено, что образцы беспрессового пенополистирола после выдерживания в воде в течение двух суток увлажнились до 18,2%, а теплопроводность пенополистирольных плит, изготовленных беспрессовым методом, в результате температурно-влажностных воздействий увеличилась на 5%.

В [5] было проведено исследование долговечности беспрессового пенополистирола ПСБ-С М35 с позиций термофлуктуационной концепции прочности. Из полученных экспериментальных зависимостей были определены значения констант, входящих в уравнения работоспособности [4], что позволяет прогнозировать долговечность материала в заданных условиях эксплуатации. Например, долговечность пенополистирола ПСБ-С М35, работающего при поперечном изгибе с напряжением 0,085 МПа и температурой 298 К, составит около 23 года.

Экструзионный пенопласт обладает более высокими прочностными (0,2 – 0,7 МПа) и теплофизическими (0,03 Вт/м*°К) характеристиками за счёт упорядоченной закрытопористой фазовой структуры, обеспечивающей повышенную прочность межмолекулярных связей. Кроме того, ему свойственна практически нулевая паропроницаемость и очень низкое водопоглощение (в 10 раз меньше, чем у беспрессового пенопласта и в 200 раз меньше, чем у минеральной ваты). Экструзионный пенополистирол ПЕНОПЛЭКС® не подвержен биологическому разложению в условиях окружающей среды и не представляет никакой опасности для экологии и здоровья людей, что подтверждено соответствующими заключениями и сертификатами.

Вместе с тем, при эксплуатации данного материала необходимо учитывать диапазон его рабочих температур (от -50 до +75°С), подверженность действию широко употребляемых растворителей (ацетон, этилацетат, нефтяной толуол), возможность деструкции верхнего слоя при длительном воздействии интенсивного солнечного света.

Следует отметить, что в отличие от беспрессового для экструзионного пенополистирола влияние систематически действующих отрицательных температур и влажности практически не сказывается на изменении водопоглощающей способности, сорбционных свойствах и теплопроводности. Образцы экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® плотностью 35 кг/м³ после 110 циклов замораживания и оттаивания в воде

имеют водопоглощение по массе всего 25%. При этом их теплозащитные качества практически не изменились [4].

Результаты исследования долговечности экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® 35 с позиции термофлуктуационной концепции прочности показали, что данный материал является более долговечным в сравнении с ПСБ-С М35. Это объясняется упорядоченной и практически однородной закрытопористой структурой такого пенопласта, обеспечивающей его повышенную прочность. Экспериментально определенные константы, входящие в уравнения работоспособности, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения физических констант для ПЕНОПЛЭКС 35

Вид напряженно-деформированного состояния	Физические константы			
	τ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)
Поперечный изгиб	$10^{0,37}$	525	226	432
	θ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)
Сжатие до 10% деформации	$10^{0,25}$	349	804	4816
Пенетрация	$10^{-1,87}$	559	612	1445

Подставляя полученные константы в соответствующие уравнения [5] можно определить их основные параметры работоспособности. Так его долговечность составит более 30 лет при напряжении 0,085 МПа и температуре 298 К.

В соответствии с заключением института НИИСФ, долговечность плит ПЕНОПЛЭКС® в ограждающих конструкциях зданий при температурно-влажностных воздействиях с учетом коэффициента запаса составляет не менее 50 лет [6].

Как видно из вышесказанного, все рассмотренные материалы обладают рядом как положительных, так и негативных качеств, что существенно затрудняет выбор материала для утепления ограждающих конструкций зданий. Решение данной проблемы возможно на основе анализа результатов натурных испытаний. Для этого авторами были проведены наблюдения за каркасно-щитовым зданием с различными материалами утеплителя в стенах в течение одного календарного года. Толщина утеплителя была назначена на основе расчета из условия обеспечения необходимой теплоизоляции и номенклатуры выпускаемых производителем теплоизоляционных изделий.

При проведении исследований основной упор был сделан на сравнение температурно-влажностного режима в ограждениях и энергоэффективности используемых материалов.

Результаты проведенных испытаний представлены на рисунке.

Из рисунка видно, что характер изменения влажности рассматриваемых утеплителей практически одинаков и соотносится с изменением разности парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи помещения за исследуемый период. Рост влажности материалов наблюдается в тех интервалах времени, в которых увеличивается разность парциальных давлений.

Для исследуемых теплоизоляционных материалов на начальном этапе наблюдений отмечается повышенное значение влажности, что является результатом монтажа ограждающих конструкций в зимних условиях. Последующее снижение влажности соответствует периоду испарения монтажной влаги при постоянном снижении разницы парциальных давлений.

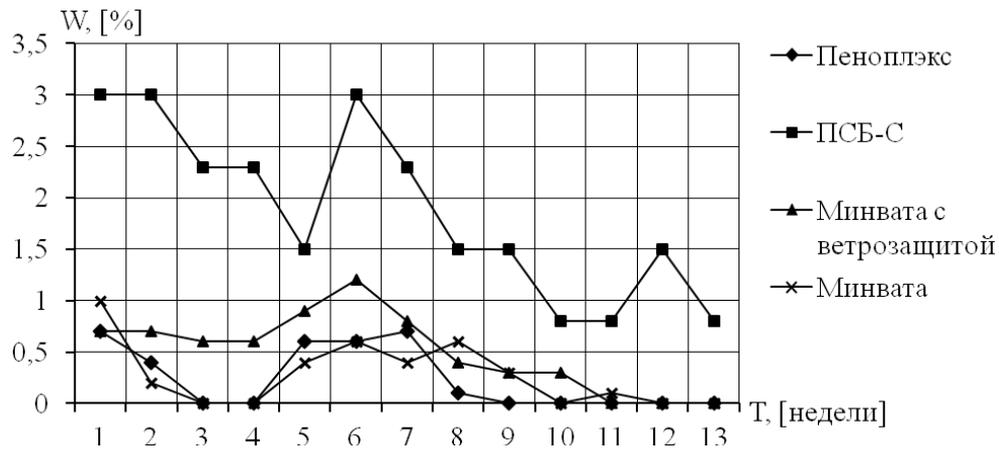


Рисунок. Изменение влажности утеплителей стен при их эксплуатации в течение отопительного периода

За время наблюдений влажность утеплителей не превышала 3%. При этом максимальная влажность наблюдается у беспрессового пенополистирола, а минимальная у минераловатных плит без ветрозащитной пленки. Однако следует отметить, что в процессе эксплуатации минераловатных плит происходит потеря их массы за счет разрушения волокон и выделения их в воздух в виде пыли [7]. В связи с этим результаты по влажности минераловатных плит несколько занижены.

В таблице 2 приведены результаты анализа энергоэффективности использованных теплоизоляционных материалов. В данной таблице Q_h – количество потерь тепла для рассматриваемого здания за период наблюдений, q_h – удельный расход тепла на отопление здания за рассмотренный период, $Q_{h,уд}$ – удельные потери тепла на один квадратный метр полезной площади в пересчете на весь отопительный период.

Изначально при расчете фактического сопротивления теплопередаче стен с утеплителем из экструзионного и беспрессового пенополистирола было принято решение не учитывать сопротивление воздушной прослойки и наружной обшивки из ЦСП, исходя из предположения, что зазоры между облицовочными плитами подогнаны плохо и воздушная прослойка является вентилируемой. Однако, проведенные испытания показали, что это не совсем верно.

Таблица 2.

Технико-экономические показатели при использовании различных утеплителей в ограждающих конструкциях здания

Вид утеплителя	Толщина утеплителя, мм.	Q_h , кВтч	q_h , кДж/(м ² ·°С·сут)	$Q_{h,уд}$, МДж/м ²	Стоимость электроэнергии на отопление, руб/м ² год.
Расчетные значения					
Минеральная вата	150	25,88	211,25	1014	837,56
ПЕНОПЛЭКС® 35	100	29,06	237,26	1138,85	940,69
ПЕНОПЛЭКС® 35*	100	25,95	211,78	1016,56	839,68
ПЕНОПЛЭКС® 35	150	21,75	177,5	852	703,75
ПСБ-35	100	37,03	302,26	1450,85	1198,40
ПСБ-35*	100	31,58	257,79	1237,39	1022,09
Фактические измерения					
- // -	- // -	41,6	339,56	1629,89	1346,29
* - с учетом коэффициента $k=0,3$.					

Температура внутренней поверхности стены, утепленной ПЕНОПЛЭКС[®], выше температуры стены с минватными плитами. Согласно [8], чем выше температура внутренней поверхности ограждения, тем больше его термическое сопротивление. Выполненные нами расчеты показали, что расчетное сопротивление теплопередаче стены, изолированной минватой толщиной 150 мм, на 14% выше, чем у стены с ПЕНОПЛЭКС[®] толщиной 100 мм. Это противоречит вышесказанному. Полное исключение воздушной прослойки и облицовки при расчете термического сопротивления каркасно-щитового ограждения является некорректным. Их вклад в общее сопротивление конструкции необходимо учитывать поправочным коэффициентом.

Если теплофизические свойства утеплителя характеризуются разницей температур на его поверхностях [9], то, анализируя полученные данные, назначаем коэффициент $k=0,3$, который будет использоваться для учета дополнительных утепляющих факторов. Данный коэффициент получен из предположения, что, при равных температурах внутренней поверхности, стены должны обладать аналогичными сопротивлениями теплопередаче, которые в свою очередь характеризуются разницей температур на противоположных поверхностях стены. Тогда отличие для стен, утепленных минераловатными плитами и ПЕНОПЛЭКС[®], обуславливается вовлечением в работу воздушной прослойки и внешней обшивки. Коэффициент k определяли по пропорциям.

Также были проведены замеры фактических энергозатрат с пересчетом их на стоимость отопления квадратного метра в год (таблица 2). Превышение фактических значений над расчетными объясняется принятыми при расчетах допущениями. Так, например, потери через цокольное перекрытие рассчитывались как для наружной стены. Однако, потери через данную поверхность значительно больше.

В целом, по данной работе можно сделать вывод, что использование экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС[®] вместо минераловатных плит позволяет, при одинаковой толщине утеплителя, экономить на энергии для отопления 133,81 рубля с одного квадратного метра отапливаемой площади в год, что соответствует снижению расходов на 15%. Теплофизические свойства ПЕНОПЛЭКС[®] позволяют снизить толщину применяемых плит утеплителя на треть (со 150 до 100 мм), с сохранением уровня расходов на энергоносители и степени тепловой защиты здания.

За счет повышенной прочности и теплопроводности ПЕНОПЛЭКС значительно выигрывает по долговечности и энергоэффективности и обладает наименьшими общими затратами на эксплуатацию. Применение избыточного утепления (150 мм ПЕНОПЛЭКС) позволяет повысить общую экономическую эффективность за счет значительного снижения затрат на отопление здания. Такое решение не требует изменения общего конструктивного решения ограждающих панелей и модернизации производственных линий. Затраты при строительстве и эксплуатации возрастают, но не превышают значений характерных для минеральной ваты, то есть такое решение также является эффективным. В свою очередь его применение приведет не только к экономии средств заказчика в длительной перспективе, но и к экономии энергоресурсов страны и, как следствие, к улучшению экологической ситуации.

Список литературы

1. Ярцев В.П. Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит / В.П. Ярцев, А.М. Дорофеев // Кровельные и изоляционные материалы. 2010. № 4. С.14-15.
2. Гусев Б.В. Теплопроводность минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б.В. Гусев, В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Промышленное и гражданское строительство. 2005. № 1. С. 48–49.

3. Гусев Б.В. Изменение линейных размеров минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б.В. Гусев, В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 8. С. 32–34.
4. Ярцев В.П. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений / В.П. Ярцев, К.А. Андрианов, Д.В. Иванов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 120 с.
5. Андрианов К.А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистирола в ограждающих конструкциях зданий / К.А. Андрианов // Дис...к-та техн. наук: 05.23.05. Пенза. 2002. 212 с.
6. Протокол испытаний №132-1 и заключение от 01.07.2008г. испытательной лаборатории теплофизических и акустических измерений научно-исследовательского института строительной физики - НИИСФ (Москва).
7. Гусев Б.В., Езерский В.А., Монастырев П.В. Потеря массы минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий // Кровельные и изоляционные материалы. 2005. № 2. С. 3 – 4.
8. Хлевчук В.Р. Теплотехнические и звукоизоляционные качества ограждений домов повышенной этажности / В.Р. Хлевчук, Е.Т. Артыкпаев // М.: Стройиздат, 1979. 255 с.
9. Фокин К. Ф. Строительная теплофизика ограждающих частей здания / К. Ф. Фокин // Изд. 4-е перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.

Ярцев Виктор Петрович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»;

Струлев Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» wolk231184@mail.ru;

Мамонтов Александр Александрович – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет».

УДК 666.972.16

В.Т.Перцев, С.П.Козодаев, А.А. Леденев, **А.Н. Бобрышев**

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И БЕТОНА

Представлены результаты исследований процессов формирования микроструктуры цементного камня и бетона. Установлена возможность регулирования микроструктуры цементного камня путем направленного формирования первичного каркаса определенного топологического строения, за счет применения микронаполнителей различной природы.

Ключевые слова: микроструктура, цементный камень, бетон.

V.T. Pertsev, S.P. Kozodaev, A.A. Ledenev, **A.N. Bobryshev**

TOPOLOGICAL OPTIMISATION OF PROCESSES OF FORMATION OF A MICROSTRUCTURE OF A CEMENT STONE AND CONCRETE

Results of researches of processes of formation of a microstructure of a cement stone and concrete are presented. Possibility of regulation of a microstructure of a cement stone by the directed formation of a primary skeleton of a certain topological structure, at the expense of application microfillers the various nature is established.

Keywords: microstructure, cement stone, concrete.

Введение. Формирование структуры на различных масштабных уровнях: от нано- до макро- является приоритетной задачей, определяющей свойства бетонных смесей и бетонов. Формирование структуры и обеспечение требуемых свойств бетонных смесей и бетонов характеризуется нелинейностью, неоднородностью, процессами агрегирования, коагуляции и др., протекающими на различных масштабных уровнях.

Теоретическая часть. Согласно проведенным исследованиям установлено, что композиционные материалы, в том числе бетонные смеси и бетоны, на микроуровне имеют фрактально-кластерное строение, представляющее агрегацию частиц вяжущего вещества, тонкодисперсных минеральных добавок, нанодобавок и др. [1 – 3].

Возникновение фрактально-кластерных образований в таких системах является самопроизвольным процессом, который определяется балансом молекулярно-электростатических сил, а также капиллярно-пленочным взаимодействием [1 – 3].

Критерием агрегируемости для «сухих» дисперсных систем является средний диаметр частицы d_c [4]

$$d_c \sim \left(\frac{f_c}{\rho_{ef} g} \right)^{1/3} \quad (1)$$

где f_c – сила сцепления; ρ_{ef} – приведенная плотность.

Согласно имеющимся данным для микрогетерогенных систем критический размер частиц, при которых начинают формироваться агрегаты, составляет около 0,2 мм.

Возникновение фрактально-кластерных образований на различных масштабных уровнях оказывает существенное влияние на процессы зародышеобразования, фазовые переходы и др. процессы, что в конечном итоге определяет свойства бетонных смесей и бетонов.

Согласно существующим моделям идентификации фрактальных кластеров для сформировавшихся микроструктурдисперсных систем, к числу которых относятся и цементные системы, характерно образование перколяционных, так называемых «бесконечных» фрактальных кластеров (рис. 1), распространяющихся по всему объему [5].

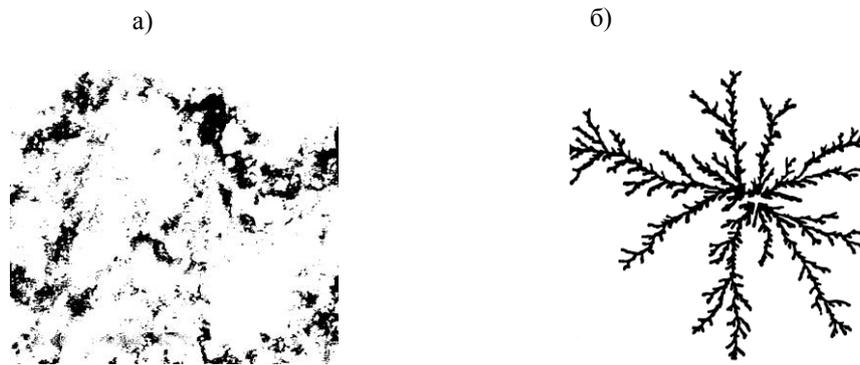


Рис. 1. Фрактальные агрегаты:

а) элемент «бесконечного» кластера структуры цементного камня; б) одиночный фрактальный кластер цинка, образованный при осаждении цинка на поверхности в процессе электролиза[6]

Для модифицирования структуры цементного камня и улучшения свойств бетонных смесей и бетонов применяются тонкодисперсные микронаполнители, органоминеральные добавки [11], нанодобавки, а также композиционные вяжущие на их основе. Использование таких материалов, обладающих высокой поверхностной энергией, оказывает существенное влияние на формирование структуры цементного камня. При этом большое значение имеет топология распределения микронаполнителей в структуре цементного камня. С увеличением степени наполнения происходит разрастание и объединение всего объема, что характеризуется формированием непрерывного перколяционного фрактального кластера из тонкодисперсных частиц микронаполнителя (рис. 2).

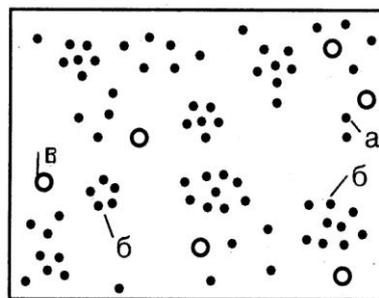


Рис. 2. Модель структуры цементного камня с дисперсным микронаполнителем:

а) отдельные частицы микронаполнителя; б) кластеры; в) поры

В общем объеме цементного камня кластерные образования являются самоорганизующимися элементами структуры и зародышами новой фазы матрицы, которая занимает в ней протяженные непрерывные области. Сами кластеры представленные частицами тонкодисперсного наполнителя образуют «цепочную» структуру (рис. 3) [1, 5].

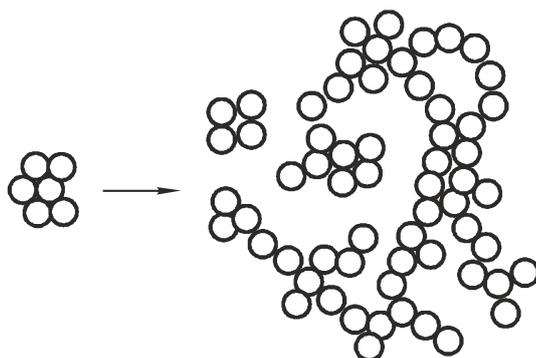


Рис. 3. Схема «цепочной» структуры дисперсно-зернистой системы

Формирование «бесконечных» перколяционных кластеров изучается с помощью теории протекания или теории перколяции, которая нашла отражение в работах Бобрышева А.Н. [2,3,5], Тарасевича Ю.Ю. [7], Шкловского В.И. [8] и других ученых.

Применительно к дисперсно-наполненным цементным композитам теория протекания позволяет описать формирование структуры материалов на различных масштабных уровнях. Основное приложение теории протекания – возможность описать критические явления в системах, состоящих из типологически неупорядоченных самоорганизующихся элементов [5].

В целом пространственная перколяционная связность элементов в объеме композиционных материалов предопределяет возникновение качественно новых свойств («новых фаз») и поэтому представляет интерес при исследовании неупорядоченных композитных систем.

При описании процессов формирования структуры с учетом теории протекания наиболее специфичными являются задачи протекания по касающимся сферам и по перекрывающимся сферам (рис. 4,5) [5].

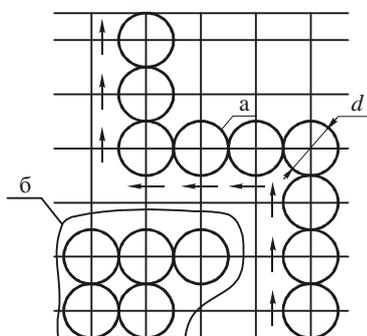


Рис. 4. Плоская решеточная модель протекания по касающимся сферам:
а) бесконечный кластер;
б) изолированный кластер

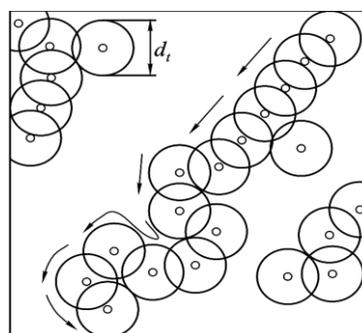


Рис. 5. Модель протекания по перекрывающимся сферам (стрелкой указан «путь» протекания)

Одной из задач теории протекания является определение объемной доли частиц микронаполнителя необходимой для протекания и образования бесконечного кластера, который по существу является центром формирования структуры цементного композита, влияющим на его свойства, т.к. в результате формирования перколяционного кластера вся система приобретает непрерывную пространственную связность по всему объему и тем самым влияет глобальное поведение.

Методами математического моделирования установлено условие протекания по касающимся и перекрывающимся сферам [5].

Условие протекания по касающимся сферам

$$v_{c1} = N_{c1} \pi d^3 / 6 = 0,16 \pm 0,01. \quad (2)$$

По перекрывающимся сферам:

$$v_{c2} = N_{c2}\pi d_t^3 / 6 = 0,34 \pm 0,01, \quad (3)$$

где v_{c1} , v_{c2} – критическая доля объема сфер от общего объема системы, обеспечивающая протекание;

N_{c1} , N_{c2} – критическое число сфер в единице объема;

d – диаметр сферы.

В реальной структуре композитного материала протекание может осуществляться как по касающимся, так и по перекрывающимся сферам. При определенной концентрации микронаполнителя в структуре цементного камня формируются кластеры, в которых частицы чередуются с фазой цементной матрицы или находятся в контакте между собой (рис.6), т.е. формируется смешанный перколяционный кластер из касающихся (d) и перекрывающихся (d_t) сфер [5].

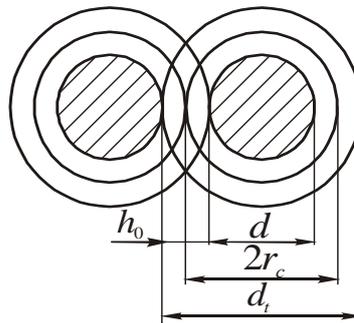


Рис. 6. Модель взаимодействия двух частиц микронаполнителя через граничные слои цементной матрицы

Согласно существующим данным [5], возникновение бесконечного смешанного кластера при минимальной критической объемной доле частиц, происходит при выполнении условия

$$d_t = (1,28 \pm 0,01)d. \quad (4)$$

По зависимости (4) можно оценить средний оптимальный размер пленочной структуры матрицы, необходимый для образования первичного каркаса композита, который составит

$$h_0 = (0,14 \pm 0,01)d, \quad (5)$$

где h_0 – размер пленочной структуры матрицы.

Сферы d_t отражают дальнедействующее влияние поверхностного потенциала частиц микронаполнителя. В результате формирования перколяционного каркаса новая фаза получает непрерывную пространственную связность по всему объему и тем самым влияет на глобальное поведение системы.

Представленная модель имеет непосредственное отношение к процессам, протекающим в объеме цементных композитов при введении микронаполнителей.

Из приведенного анализа следует, что оптимальные структуры цементных композитов с микронаполнителями отвечают топологическому условию (5). Использование данного соотношения позволит по определенным размерам структурных единиц матрицы, в качестве которых может применяться размер элементарных единиц (кристаллов, зерен и т.п.), применять оптимальную дисперсность микронаполнителя для улучшения свойств цементного камня и бетона. Кроме того, величина h_0 может регулироваться введением различных химических добавок.

В свою очередь, оптимальный размер частиц наполнителя d_0 зависит от h_0 , может варьироваться по величине и подбирается для оптимальных структур с учетом соотношения (5).

Исходя из того, что в объеме матрицы хаотично распределены непроницаемые сферы диаметром d , имеющие проницаемые оболочки с внешним диаметром d_t , в данном случае критическая объемная доля непроницаемых сфер для случая, когда возникает протекание по касающимся проницаемым оболочкам (см. рис.6) составит

$$v = N_c \pi d^3 / 6 \approx 0,076. \quad (6)$$

Полученная величина характеризует нижнюю граничную оптимальную долю микронаполнителя в композите, т.е. при $v < 0,076$ топологическая связанность частиц микронаполнителя в объеме материала теряется, и они не существенно влияют на формирование структуры и свойства цементных композитных материалов.

Таким образом, можно предположить, что оптимальная микроструктура наполненных цементных композитов будет формироваться при объемном содержании микронаполнителя в интервале $v = 0,076 \dots 0,16$.

Экспериментальная часть. Результаты экспериментальных данных прочностных испытаний цементного камня показали, что при применении микронаполнителей различной природы оптимальная структура формируется при объемном содержании микронаполнителя в интервале $v = 0,076 \dots 0,16$, полученном на модельных системах, что соотносится с прочностными характеристиками (рис.7). Оптимальное объемное содержание микронаполнителя, соответствующее наибольшей прочности цементного камня, составило: для молотого кварцевого песка $v = 0,115$, для молотого известняка $v = 0,119$, для золы ТЭЦ $v = 0,089$.

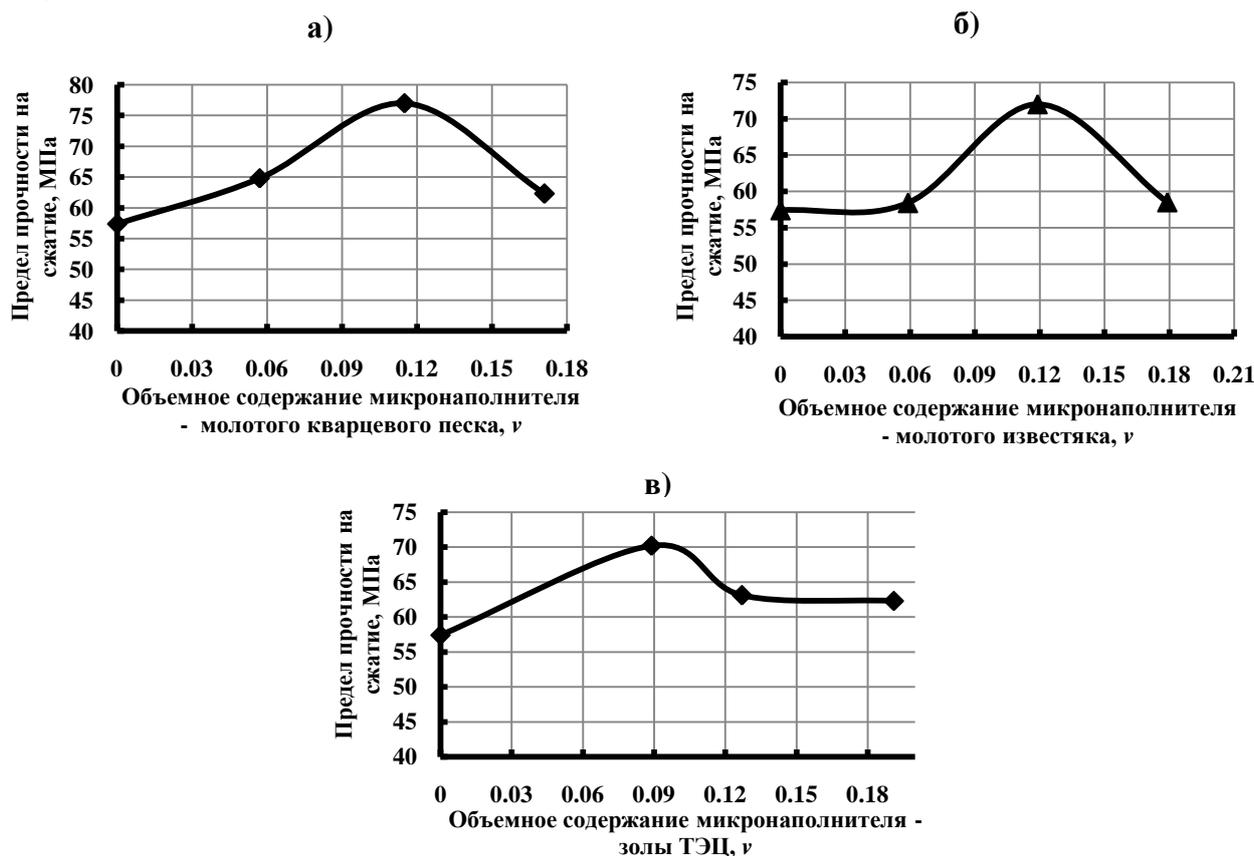


Рис. 7. Влияние объемного содержания микронаполнителя на прочность цементного камня: а) микронаполнитель – молотый кварцевый песок $S_{уд} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$; б) микронаполнитель – молотый известняк $S_{уд} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$; в) микронаполнитель – зола ТЭЦ $S_{уд} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$

Сходимость расчетных и экспериментальных величин для различных тонкодисперсных материалов подтверждает правомерность топологической оптимизации цементных композитов методами теории протекания.

Вместе с тем в реальных условиях задача оптимизации структур усложняется анизотропией поверхности частиц микронаполнителя, шероховатостью, формой поверхности на различных масштабных уровнях, размером частиц и др. [9,10].

Как показали исследования на различных масштабных уровнях (рис. 8,9), отдельные частицы микронаполнителя имеют различные структурные показатели (табл.), которые в конечном итоге влияют на формирование структуры обводненных дисперсных систем и прочность цементного камня (см. рис.7).

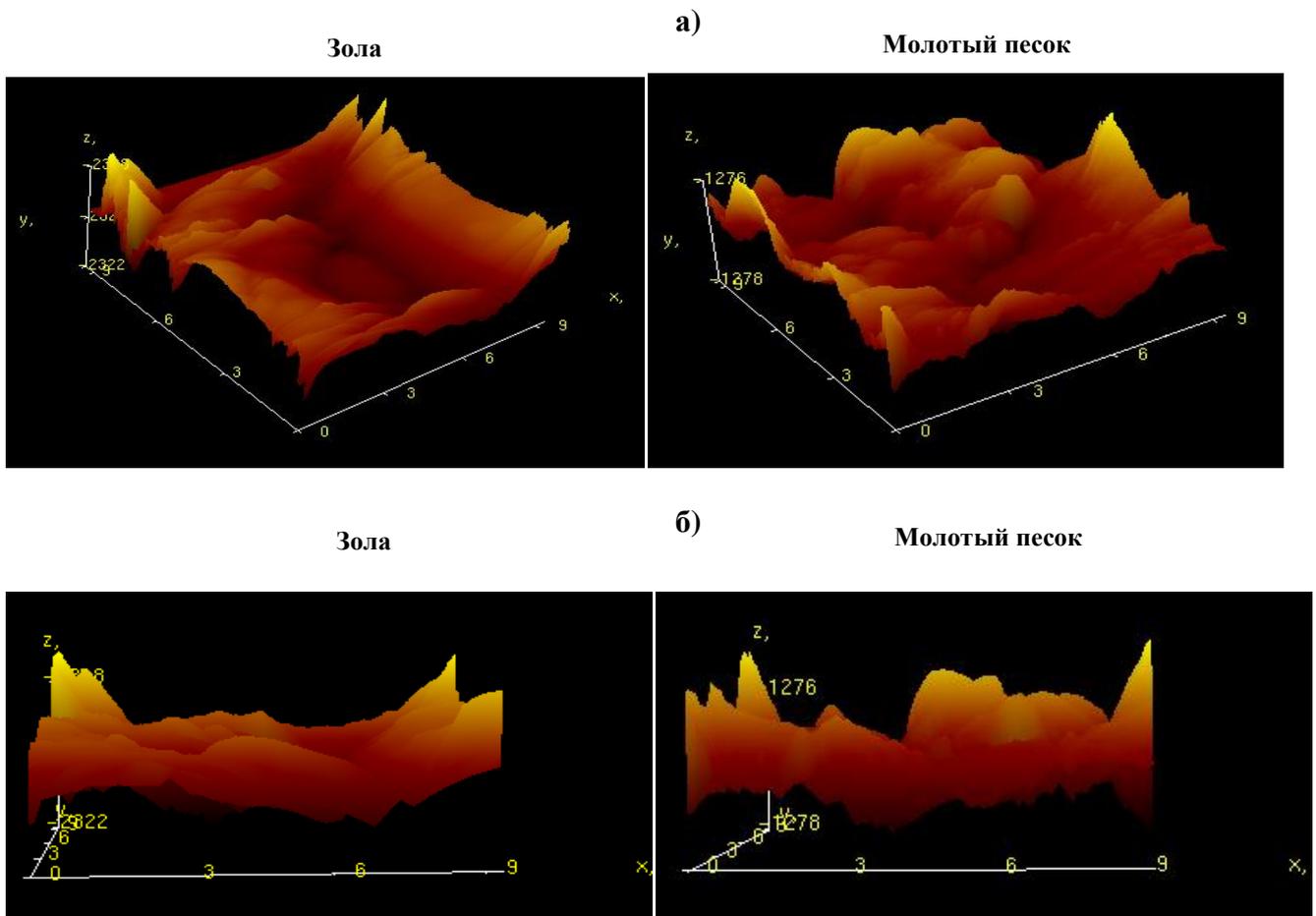


Рис. 8. Изображение поверхности (а) и «разрезов» поверхности (б) частиц твердой фазы (на нано- и микроуровне), полученное методом атомно-силовой микроскопии; единицы измерений: по оси X и Y – мкм, по оси Z – нм

Таблица.

Структурные показатели дисперсных систем ($S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) и отдельных частиц твердой фазы

Показатель	Вид микронаполнителя			
	«молотый песок-вода»	«молотый известняк-вода»	«молотый шлак-вода»	«зола-вода»
D^*	1,58	1,52	1,43	1,22
D^{**}	1,64	1,59	1,41	1,28
$\rho, \text{ кг/м}^3$	1961	1948	1958	1478
D^* - фрактальность частиц твердой фазы на мезоуровне;				
D^{**} - фрактальность частиц твердой фазы на микро- и наноуровне				

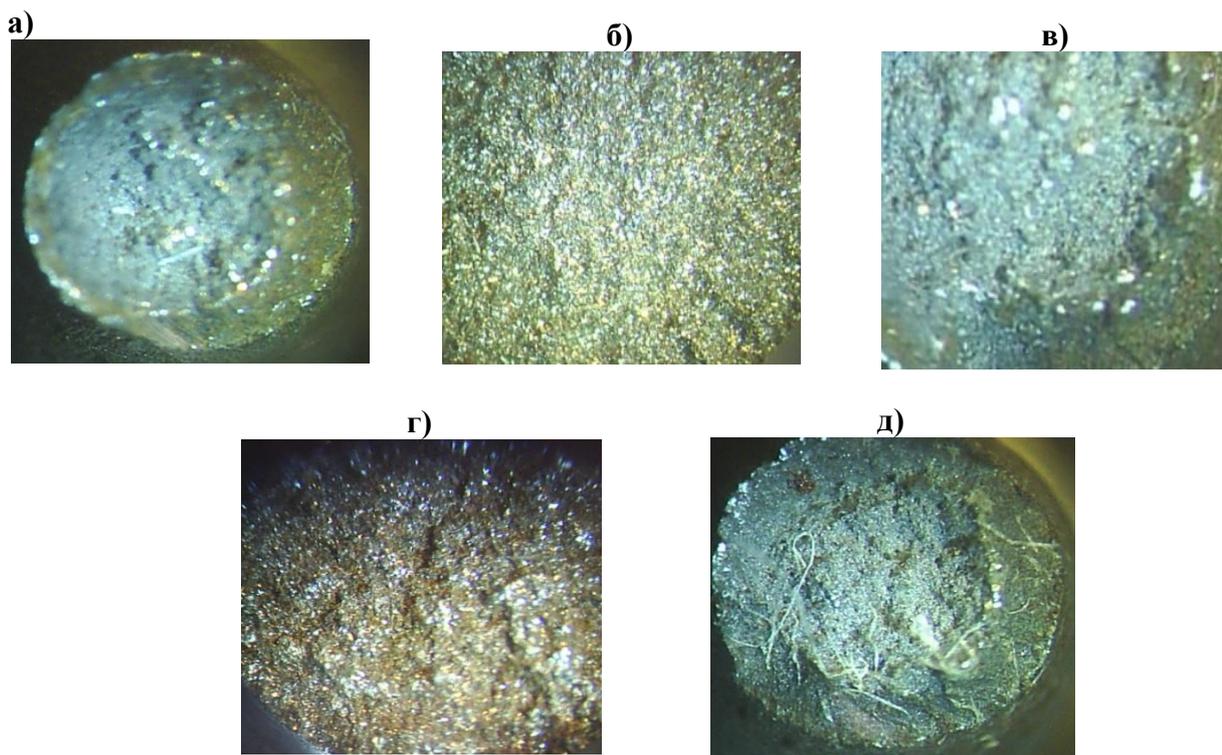


Рис. 9. Вид проекции молотых частиц (на мезоуровне): а) цемента; б) песка; в) известняка; г) шлака; д) золы; увеличение в 400 раз; $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$

Заключение. Представленный теоретический подход позволил проанализировать процессы формирования структуры цементного камня, оптимизировать количество микронаполнителей в зависимости от их природы. Установлена возможность регулирования микроструктуры цементного камня путем направленного формирования первичного каркаса (кластера) определенного топологического строения, за счет применения микронаполнителей различной природы. Представленные теоретические и практические результаты исследований можно рассматривать как базовые при выборе методологических подходов, при разработке новых композиционных материалов с улучшенными свойствами.

Список литературы

1. Управление процессами раннего структурообразования бетонов: монография / В.Т. Перцев; Воронеж. гос. арх. - строит. ун-т. Воронеж, 2006. 234 с.
2. Бобрышев А.Н. Синергетика композиционных материалов /А.Н. Бобрышев, В.Н. Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов. - Липецк: НПО ОРИУС, 1994. 153 с.
3. Бобрышев А.Н. Явление самоорганизации в твердеющих цементных системах / А.Н. Бобрышев, Н.И. Макридин, В.И. Соломатов. Пенза, 1989. 34 с.
4. Урьев Н.Б. Структурированные дисперсные системы // Соровский образовательный журнал. 1998. № 6. С. 42 – 47.
5. Структурно-реологические свойства дисперсно-зернистых систем: монография / Е.В. Алексеева [и др.]; под общ. ред. В.Т. Перцева; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж, 2010. 196 с.

6. A 32,1985. - Phys. Rev / Matsushita M., Hayakawa Y., Sawada Y, P. 3814-3816.

7. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: учебное пособие / Ю.Ю. Тарасевич. – М.: Едиториал УРСС, 2002. 112 с.

8. Шкловский В.И. Теория протекания и проводимости сильно неоднородных сред / В.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. // УФН. Т. 117. Вып. 3, 1975. С. 401 - 435.

9. Леденев А. А. Структурно-реологические свойства строительных смесей / А. А. Леденев, С. М. Усачев, В. Т Перцев // Строительные материалы. 2009. № 7. С. 68 – 70.

10. Разработка эффективных комплексных органоминеральных добавок для регулирования реологических свойств бетонных смесей: монография / В.Т. Перцев, А.А. Леденев; Воронежский ГАСУ. Воронеж, 2012. 136 с.

11. Леденев, А. А. Особенности получения и применения органоминеральных добавок для бетонов с высокими физико-техническими свойствами / А. А. Леденев // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2009. № 4 (16). С. 78 – 83.

Перцев Виктор Тихонович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского ГАСУ, тел. 8-908-141-95-55; e-mail: peres_v@mail.ru.

Козодаев Сергей Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского ГАСУ, тел.8-910-284-91-90.

Леденев Андрей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве ФГБОУ ВПО «Воронежский институт ГПС МЧС России», доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского ГАСУ, тел.8-908-141-85-39, e-mail: ledenoff@mail.ru.

Бобрышев Анатолий Николаевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии строительных материалов и деревообработки Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, член-корр. РААСН.

УДК 691.32.001.4

А.И. Макеев

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ТЕОРИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

В публикации раскрываются основные положения системно-структурного подхода, интегративного механо-физико-химического подхода, однородно/неоднородного подхода, составляющие методологическую основу развиваемой теории конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов (термин предложен академиком РААСН Чернышовым Е.М.).

Ключевые слова: *строительные композиты, управление сопротивлением разрушению, конструирование структур, синтез структур, однородность (неоднородность) строения.*

A.I. Makeev

METHODOLOGICAL BASIS OF THE THEORY OF DESIGNING AND SYNTHESIS OF OPTIMAL STRUCTURE OF CONGLOMERATE CONSTRUCTION COMPOSITES

The article reveals the basic provisions of system-structural approach, integrative mechanical and physic-chemical approach, homogeneous/inhomogeneous approach, constituting a methodological basis of the theory of design and synthesis of optimal structures conglomerate building composites (a term coined by Academician RAABS Chernyshov EM).

Keywords: *building composites, breaking strength management, engineering structures, the synthesis of structures, homogeneity (heterogeneity) structure.*

Введение. Побудительным мотивом разработки, выдвижения теории конструирования и синтеза оптимальных структур является низкая эффективность управления свойствами современных строительных материалов, главная причина которого кроется в их более сложном строении по сравнению с другими конструкционными материалами. Под **управлением свойствами** здесь понимается упорядоченное множество макроскопических внешних воздействий на систему, которое способствует протеканию внутренних процессов самоорганизации в системе в направлении формирования структуры, обладающей заданными свойствами на всех этапах жизнедеятельности материала (определение научной школы В.В. Кафарова).

В такой постановке, **предметной областью** теории синтеза и конструирования структур являются проблемы и направления управления свойствами конгломератных строительных композитов на основе изучения закономерностей взаимосвязи в системе «рецептурно-технологические факторы → состав, структура, состояние материала → свойства материала».

В соответствии с этим, **цель развития** теории соотносится с разработкой принципов эффективного управления свойствами строительных материалов путем направленного формирования их структуры в процедурах ее конструирования и синтеза.

Главной задачей такого управления выступает обеспечение заданной работоспособности и надежности строительных конструкций при минимизации производственных затрат, поэтому ключевым свойством строительных материалов, рассматриваемым в теории конструирования и синтеза оптимальных структур, является их прочность (сопротивление разрушению).

Основная часть. Подавляющее большинство строительных материалов по своей структуре относятся к конгломератным композитам – многоуровневым иерархически организованным системам, каждый масштабный уровень которых представляет собой двухкомпонентное образование из пространственно непрерывной матрицы и детерминированно-стохастически распределенных в ней дискретных включений. Такое сложное строение и обуславливает низкую эффективность управления свойствами современных строительных материалов по сравнению с другими конструкционными материалами.

В соответствие с этим, одна из *рабочих идей* теории конструирования и синтеза оптимальных структур заключается в возможности повышения эффективности материала путем целенаправленного формирования такой его структуры (системы связей), которая обеспечивала бы максимально полное использование прочностного потенциала этих связей в его работе в процессе эксплуатации.

Главной методологической основой разработки принципов управления сопротивлением разрушению в теории конструирования и синтеза оптимальных структур строительных композитов является системно-структурный подход, представленный на рис. 1.

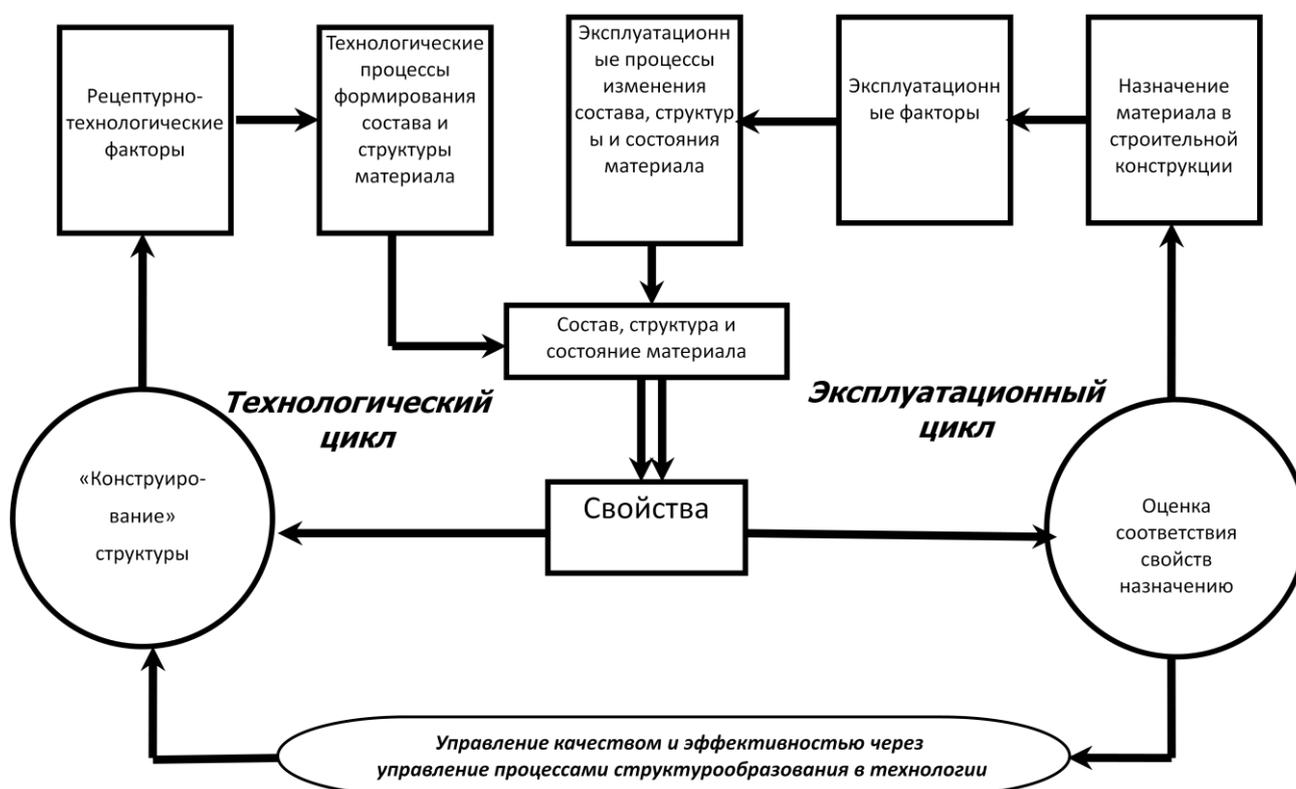


Рис. 1. Системно-структурный подход (по Е.М. Чернышову [1])

Основные положения системно-структурного подхода к управлению качеством материала можно сформулировать следующим образом:

- 1) Свойства материала есть функция его состава, структуры и состояния, которые целенаправленно формируются под действием рецептурно-технологических факторов на всех этапах технологии;
- 2) В то же время, свойства материала должны отвечать его функции в строительной конструкции, изделии при определенных условиях эксплуатации этой конструкции;
- 3) Состав, структура, состояние материала должны отвечать требованиям обеспечения задаваемых свойств;

4) Управление свойствами материала осуществляется через управление формированием структуры (процессов структурообразования), которое предполагает предварительное «конструирование» структуры;

5) Управление формированием структуры должно отвечать критериям максимальной энергоэкономичности технологических переделов с учетом максимально эффективной работы материала в конструкции по критериям ее надежности и долговечности.

Системно-структурный подход, обеспечивая концептуальную составляющую раскрытия вопросов управления сопротивлением разрушению, позволяет найти эффективные решения только в совокупности с рассмотрением процессов деформирования и разрушения композитов как механо-физико-химических. Такое рассмотрение осуществляется в рамках предлагаемого нами интегративного механо-физико-химического подхода [2], включающего следующие основные положения:

1. Изготовленный материал до своей эксплуатации обладает начальным запасом внутренней энергии, регламентированной удельным количеством и интенсивностью силовых структурных связей.

2. При работе материала в системе «материал – эксплуатационная среда» происходит непрерывный обмен веществом и энергией, следствием чего является накопление в материале внутренней (потенциальной) энергии.

3. В ходе энергетического обмена материал проявляет себя как диссипативная система, трансформирующая потоки внешней энергии в энергию структурных изменений.

4. В соответствие с законами неравновесной термодинамики, направленность структурных изменений регламентируется стремлением системы к уменьшению накапливаемой внутренней (потенциальной) энергии путем различных механизмов ее диссипации, чтобы эффект этого уменьшения был максимальным.

5. Условия диссипации энергии внешнего нагружения в структуре конгломератного композита регламентируются параметрами и мерой его однородности/неоднородности.

Разрушение конгломератных строительных композитов – ***потеря целостности структуры как крайняя реакция на силовую нагрузку, выражающаяся в развитии хрупких трещин под действием растягивающих напряжений без заметной пластической деформации***, С позиций интегративного механо-физико-химического подхода, это разрушение представляет собой кинетический процесс, проходящий последовательно ряд стадий, представленных на рис. 2.

На основе объединения этих методологических подходов родилась концепция управления сопротивлением материалов разрушению в задачах конструирования и синтеза их структур (рис.3). Согласно данной концепции, уровень сопротивления материала разрушению определяется условиями вовлечения структурных связей в работу сопротивления разрушению. Эти условия должны оптимальными (обеспечивать вовлечение как можно большего числа связей) и формируются в результате направленного структурообразования, регулируемого параметрами и режимами технологии. Практические, заводские режимы и параметры назначаются, исходя из теоретических принципов конструирования и синтеза оптимальных структур.

Основанием для формулирования принципов синтеза и конструирования в развиваемой теории служат три концепта, предложенные Е.М. Чернышовым.

Первый концепт - ***управление количеством и качеством связей между структурными элементами твердой фазы***. Смысл и содержание этого концепта состоят в том очевидном факте, что чем большее количество физических и физико-химических связей будет создано, синтезировано в единице объема материала, и чем более прочнее будут они при этом, тем большее сопротивление внешней нагрузке окажет материал в процессе своей работы.



Рис. 2. Этапы разрушение материалов с позиций интегративного механо-физико-химического подхода

Однако в реальности «загрузка» структурных связей материала происходит неравномерно, далеко не все из созданных связей принимают «активное» участие в работе сопротивления разрушению, что связано с явлениями концентрации и локализации внутренних напряжений в неоднородной структуре материала, из-за которых одни связи оказываются перегруженными сверх своей прочности, а другие - напротив, оказываются «выключенными» из работы материала.

Такие эффекты учитываются во втором концепте - *управление формированием поля напряжений через однородность состава и структуры*. С этих позиций возможности повышения сопротивления материала разрушению базируются на предположении, что чем более однородна его структура, то есть пространственная система физических и физико-химических связей, тем более равномерным будет поле напряжений и распределение нагрузки по связям, тем большее количество связей будет вовлечено в работу сопротивления внешней нагрузке.

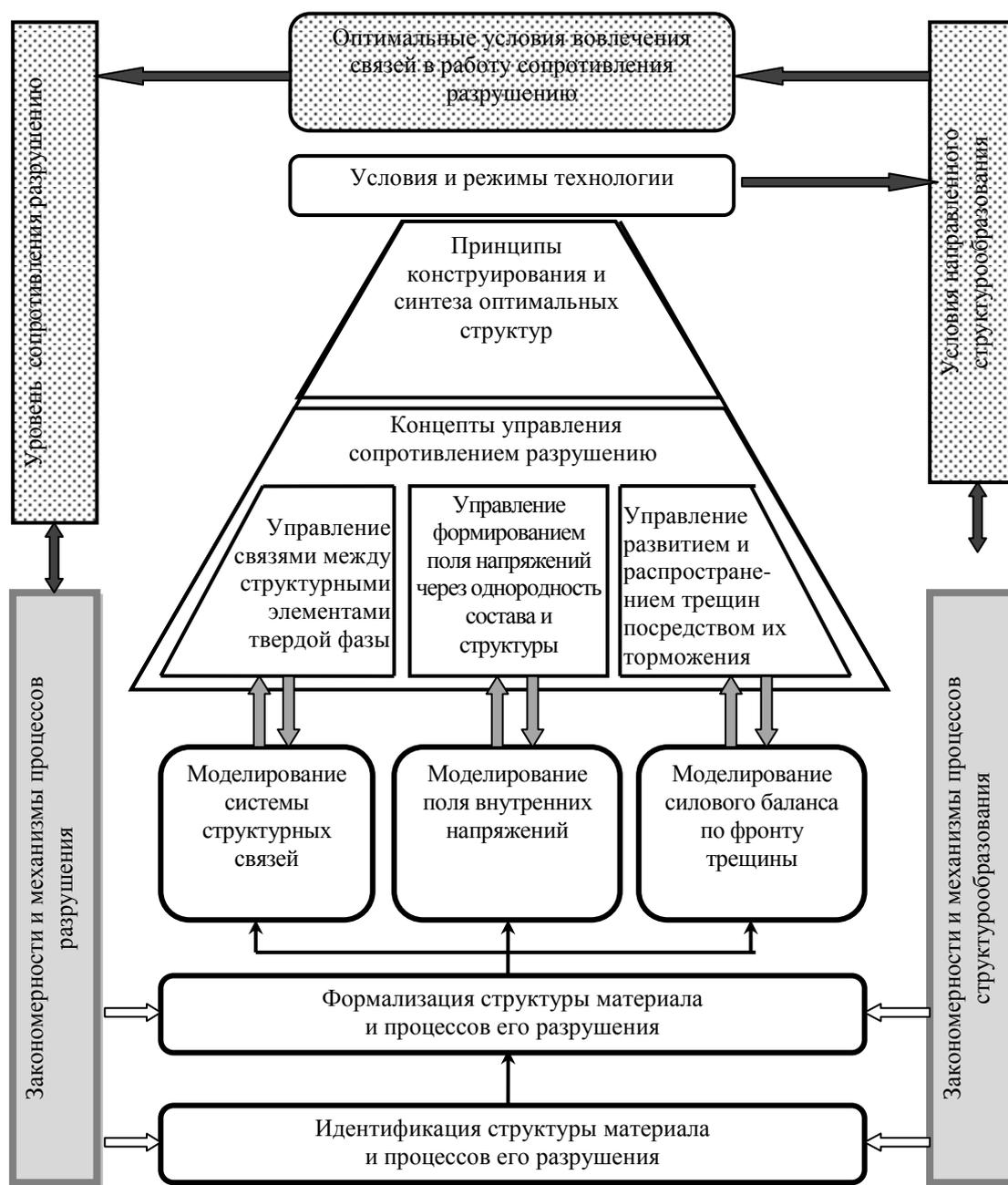


Рис. 3. Управление сопротивлением строительных композитов разрушению в задачах конструирования и синтеза их оптимальных структур

Третий концепт соотносится с тем, что в реальных материалах при современных технологических режимах их получения неизбежно формируются дефекты в виде микротрещин, развитие которых главным образом и регламентирует скорость разрушения и прочность материала. **Управление развитием и распространением трещин посредством их торможения** подразумевает использование действия структурных элементов материала как фактора изменения энергетического баланса в зоне фронта развивающихся трещин в сторону увеличения «энергоёмкости» этого процесса.

Реализация каждого из фундаментальных концептов в прикладных принципах опирается на основе **моделирования** структур материалов и процессов, развивающихся в них при нагружении. Первый концепт опирается на моделирование структуры строительных материалов как системы силовых физико-химических связей; второй – на моделирование поля внутренних деформаций и напряжений, формирующегося в объеме материала в

зависимости от меры неоднородности его структуры; третий – на моделирование силового баланса по фронту развивающейся хрупкой трещины. Модели выявляют взаимосвязь структурных параметров материала и параметров процессов его деформирования и разрушения.

Такие модели выражаются в виде аналитических соотношений между рассматриваемыми структурными характеристиками и параметрами процессов деформирования и разрушения. Следовательно, для построения моделей необходима **формализация** как структуры по ее количественным характеристикам, так и процессов деформирования и разрушения по их количественным параметрам.

Формализация базируется на **идентификации** структуры и процессов, их распознании для перехода от конкретных материальных объектов и явлений к их абстрактному, мыслительному восприятию.

Таким образом, в основе решения задач эффективного управления сопротивлением строительных материалов разрушению лежат последовательные этапы идентификации, формализации и моделирования структур материалов и происходящих в них в процессе работы изменений.

Структуру конгломератных строительных композитов можно идентифицировать как **многоуровневую иерархически организованную систему, каждый масштабный уровень которой представляет собой двухкомпонентное образование из пространственно непрерывной матрицы и детерминированно-стохастически распределенных в ней дискретных включений** [3].

И если задачи идентификации более или менее решены, то с формализацией как структуры, так и процессов разрушения конгломератных строительных композитов – проблемы. И это понятно, поскольку эти материалы отличаются многофазностью, многокомпонентностью, гетерогенностью, полиструктурностью, полидисперсностью, дефектностью, стохастичностью; одним словом – **неоднородностью**.

Проблеме неоднородности уделяли внимание практически все крупные специалисты и исследователи конструкционных материалов, главным образом, в связи с механизмами проявления их прочностных и деформативных свойств. Практически в каждой серьезной монографии или учебнике по материалам или по механике материалов (особенно механике горных пород), неоднородность упоминается как важнейшая характеристика, обуславливающая следующие эффекты, особенности:

1) неоднородность является причиной анизотропии прочностных свойств природных и искусственных конгломератов (изотропного, по сути, строения) относительно сжимающих и растягивающих нагрузок;

2) неоднородность структуры обуславливает разброс, дисперсию, изменчивость механических характеристик материала. Именно это положение стало основой статистических теорий прочности и связанных с ними вероятностно-статистических методов расчета строительных конструкций. В практике расчета строительных конструкций из этих материалов методом предельных состояний Н.С. Стрелецкого (за рубежом – метода дифференцированных коэффициентов запаса) степень неоднородности учитывается при назначении величины коэффициента запаса по материалу;

3) с неоднородностью связываются масштабные эффекты в работе конгломератных строительных композитов под действием масштабного (размерного) фактора;

4) неоднородность строения материалов является причиной концентрации напряжений в их структуре под действием внешней нагрузки и внутренних усилий. В свою очередь, это приводит к тому, что реальная, техническая прочность конгломератных строительных композитов оказывается на 3 – 4 порядка ниже их теоретической прочности.

Однако, несмотря на то, что категории «неоднородность» придается столь важное значение, до сих пор научные знания о ней в области материаловедения носят фрагментарный характер, нет системного анализа этой категории, за исключением, пожалуй, работы Р.И. Будештского [4], которая, к сожалению, не получила своего развития.

Поэтому в науке и практике строительного материаловедения до сих пор не выработано четкого определения категории «неоднородность», под которой подразумеваются и гетерогенность, и дефектность, и изменчивость свойств, и неравномерность распределения структурных компонентов в объеме материала.

Как следствие, нет единого подхода к измерению неоднородности, количественной оценке ее меры. На практике наиболее распространенной оценкой неоднородности материала служит изменчивость какого-либо его важного, соответствующего предназначению, свойства, определяемая путем статистической обработки результатов испытаний по величине дисперсии (стандартного отклонения). В технологии бетона мерой неоднородности принято считать коэффициент вариации (изменчивость) его прочности, который используется в стандартных методиках определения класса бетона по прочности и является нормируемой величиной. Однако изменчивость свойств материала по величине дисперсии и коэффициента вариации не отражает его структуру и потому не может быть использована для решения вопросов управления сопротивлением разрушению.

Наряду с изменчивостью свойств во многих работах неоднородность материала оценивается по статистической изменчивости распределения структурных компонентов по своим размерам, свойствам, объему композита или по всем этим факторам. Однако такой подход, наряду со всей своей значимостью для оценки эффективности структурных и технологических факторов управления сопротивлением композитов разрушению, далеко не в полной мере учитывает и отражает всю совокупность проявлений неоднородности в реализации свойств материала.

Комплексное, системное рассмотрение проблемы неоднородности строительных композитов показало [3], что неоднородность строения является **фундаментальной материаловедческой характеристикой** конгломератных строительных композитов. При этом термин «неоднородность» далеко не полностью отражает особенности строения этих материалов, которым наряду с неупорядоченностью, разнообразностью, вариативностью присущи также определенные единообразность, упорядоченность, регулярность – признаки однородности. Поэтому Е.М. Чернышовым было предложено использовать термин «однородность/неоднородность».

Как фундаментальные категории, «однородность» и «неоднородность» являются объектом исследования такой междисциплинарной науки, как гомогетерогеника Н.М. Солодухо [5], касающаяся самого широкого спектра наук: физики, космологии, космогонии, геологии, биологии, географии, социологии и языкознания; и рассматривающая онтологическую, гносеологическую и методологическую роли однородности/неоднородности в диалектических аспектах развития мира.

Основные положения гомогетерогеники, имеющие непосредственное отношение к проблеме неоднородности материальных (физических) систем:

1) между однородностью и сохранением системы существует корреляция, внутренняя однородность есть фактор временной стабильности системы, а также ее постепенной стагнации;

2) между неоднородностью и изменением (самоорганизацией) существует корреляция, неоднородность – источник неравновесных состояний и процессов;

3) распределенная неоднородность является основой спонтанных процессов в системе, выступает условием диссипативных процессов, вместе с дифференцированностью определяет динамическую структуру системы, служит основой разнообразия и иерархии компонентов системы;

4) локализованные неоднородности выступают в системе центрами концентрации вещества, энергии и информации и служат зародышем или областью перехода системы в новое качество, который начинается с малой неоднородности – флуктуации;

5) в открытой системе негэнтропийный процесс ведет к возрастанию неоднородности ее состава и/или связей компонентов;

б) динамически устойчивая система имеет оптимальное соотношение однородных и неоднородных компонентов;

7) единство однородности и неоднородности является фактором целостности системы.

Строительные композиты формируются путем сведения в единую слабосвязанную систему некоторого количества n исходных компонентов, взятых из разных частей пространства и обладающих различным агрегатным, химическим, минералогическим, морфологическим, дисперсным состоянием. Эта слабосвязанная система – **система сложения** (исходный объект конструирования). Система сложения переходит в **систему роста**, в которой компоненты вступают в механическое и физико-химическое взаимодействие между собой с самопроизвольным осуществлением фазовых превращений, переходов, направленность и скорость которых определяются движущими силами – градиентными, флуктуационными и автоволновыми. Эти силы – производные термодинамической неустойчивости, неустойчивости, которая формируется как самопроизвольно, так и наводится извне. Фазовые превращения сопровождаются возникновением совокупности силовых связей, постепенно затухают и в конечном итоге система роста переходит в квазистабильную систему – **рабочую систему** (систему старения), которая представляет собой целостность из m разновидностей разнородных компонентов.

Рабочая система представляет собой открытую термодинамически неравновесную диссипативную систему, непрерывно обменивающуюся энергией с окружающей средой. При восприятии потока внешней энергии (механической нагрузки, нагрева, охлаждения, увлажнения, обезвоживания, химического взаимодействия и т.д. и т.п.) в системе происходят структурные изменения, направленность которых регламентируется стремлением системы к уменьшению накапливаемой внутренней энергии путем различных механизмов ее диссипации таким образом, чтобы эффект такого уменьшения был максимальным. В таком толковании строительные композиты представляют собой своего рода "трансформаторы" (преобразователи) энергии эксплуатационных воздействий в энергию тепловых флуктуаций элементарных частиц (атомов или молекул), работу упругого напряжения и пластического деформирования системы структурных связей материала, поверхностную энергию образующихся хрупких трещин, теплоту, звуковые колебания. Как "трансформатор" энергии, композит обладает потенциалом энергоемкости до разрушения, соотносимым с суммарным потенциалом энергии структурных связей, который и предопределяет соответствующий уровень сопротивления разрушению и прочность материала. В реальности затраты энергии на разрушение строительных композитов оказываются значительно ниже величины этого потенциала, свидетельством и результатом чего является наблюдаемое несоответствие между значениями теоретической и технической прочности материала. Величина этого "разрыва", как раз, и определяется условиями и механизмом трансформации, диссипации энергии внешнего нагружения структурой строительных композитов.

Заключение. С учетом проанализированных в данной публикации методологических оснований, можно сформулировать ряд положений, обосновывающих возможности управления однородностью (неоднородностью) строения конгломератных строительных композитов в задачах конструирования и синтеза их оптимальных структур:

1) Однородность/неоднородность есть термодинамическая, пространственно-геометрическая, вероятностная характеристика энергетического, материального и информационного состояния пространства, постоянно изменяющаяся во времени;

2) В системе роста однородность/неоднородность регламентирует самопроизвольные процессы структурообразования материала;

3) В рабочих системах однородность/неоднородность реализуется в форме скачка состояния занимаемого материалом пространства при переходе из одной его точки в другую (локальная неоднородность);

4) Скачок состояния в материальном (субстанциальном) поле пространства выражается в виде межкомпонентной границы раздела (распределенная неоднородность);

5) В структуре конгломератных строительных композитов скачок и граница раздела в своей совокупности образуют контактную зону «матрица – включение» на каждом масштабном уровне структуры;

6) В энергетическом поле конгломератных строительных композитов однородность/неоднородность обуславливает условия восприятия материалом энергии внешнего воздействия, которые регламентируются субстанциональными характеристиками скачка и геометрическими характеристиками границы раздела;

7) Формализация и моделирование структуры конгломератных строительных композитов и процессов их деформирования и разрушения возможны через количественную оценку параметров скачка и границы раздела;

8) Управляя мерой однородности/неоднородности композита по параметрам скачка и границы раздела, можно целенаправленно влиять на условия распределения энергии внешнего воздействия по структурным связям материала, обеспечивая максимально полное их вовлечение в работу сопротивления материала.

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И. Системные исследования структурных факторов управления сопротивлением силикатных автоклавных материалов разрушению при механическом нагружении // Изв. ВУЗов. Строительство, 1995. № 10. С. 44 - 53.

2. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Разрушение конгломератных строительных материалов: основные концепции, механизмы процессов, принципы и закономерности управления // Строительные материалы. № 9, 2007. С. 63-65.

3. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Макеев А.И. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории / Под общ. ред. Е.М. Чернышова - Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. 98 с.

4. Будештский Р. И. Элементы теории прочности зернистых композиционных материалов. - Тбилиси: Мецниереба, 1972. - 82 с.

5. Солодухо Н.М. Гомогенно-гетерогенный подход в структуре гомогетерогеники: Научно-учебное издание. Казань: Изд-во Каз. гос. техн. ун-та, 2006. 99 с.

Макеев Алексей Иванович, к.т.н., доц. кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.
E-mail: makeev@vgasu.vrn.ru. Тел. 8 (473) 271-52-35

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 539.87

А.А. Лукин, А.К. Тарханов, О.А. Лукин

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ 20 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СКОРОСТНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

Анализируются конструкционные свойства и энергетические параметры разрушения стали 20 при различных температурных и скоростных режимах нагружения.

Ключевые слова: конструкционные свойства, энергетические параметры, работа разрушения, предел текучести, ударная вязкость, зарождение и распространение трещины

А.А. Lukin, А.К. Tarkhanov, О.А. Lukin

STRUCTURAL PROPERTIES AND ENERGETIC PARAMETERS OF DESTRUCTION OF STEEL 20 AT DIFFERENT TEMPERATURES AND VELOCITY MODES.

Examines the structural properties and energetic parameters of steel 20 at various temperatures and loading speeds.

Keywords: constructional properties, energy parameters, the work of destruction, limit of fluidity, the nucleation and crack

Введение. Несмотря на все более широкое использование композиционных материалов, металлы и сплавы останутся и в ближайшем будущем основным конструкционным и инструментальным материалом.

В настоящей работе исследовалась сталь 20 (ГОСТ 1050 – 74) при различных температурах и скоростях нагружения. Такие исследования позволят более полно определить рабочие характеристики материала и выявить различные дефекты, возникшие в изделии при термообработке, что важно учитывать при разработке реальных конструкций во избежание внезапных разрушений.

Исследуемую сталь используют без термообработки (категория 1) и после нормализации (категория 2) для крюков кранов, патрубков, болтов муфт, вкладышей подшипников и других деталей, работающие при температуре от минус 40 до 450 °С под давлением, а после закалки и отпуска (категория 4): для шестерней, червяков и других деталей.

Виды термообработки и механические свойства, а также рекомендации по применению оговорены в ГОСТ 4041-71 и ГОСТ 1577-81 [1-3].

Теоретическая часть. Для оценки способности низкоуглеродистой стали переносить ударные нагрузки проводились динамические испытания на ударный изгиб образцов с надрезом [4-5].

Основным образцом служил стержень с квадратным сечением 10 x 10 мм и длиной 55 мм. В образцах Шарпи U – образный надрез наносился посередине длины. Он имел ширину и глубину 2 и радиус закругления 1 мм. Образцы с V-образным концентратором имели те же габариты и отличались только геометрией надреза. При испытании образцов с длиной 55 мм расстояние между опорами было 40 мм, изгибающий нож имел сечение в виде треугольника с углом при вершине 30° и радиусом закругления 2 мм. Испытания на изгиб проводили на маятниковом копре с предельной энергией в 300 Дж.

Образец клали горизонтально в специальный шаблон, обеспечивающий установку надреза строго в середине пролета между опорами. Удар наносили со стороны противоположной надрезу, в плоскости, перпендикулярной оси образца. Маятник копра закреплялся в исходном верхнем положении и по шкале фиксировался угол подъема маятника, затем крепящую защелку освобождали, маятник свободно падал под собственной тяжестью, ударял по образцу, изгибал и разрушал его, поднимаясь относительно вертикальной оси копра на угол вылета. Величина работы деформации и величины разрушения образца определялась разностью потенциальных энергий маятника в начальный и конечный моменты испытания.

Часть энергии удара, затрачиваемая на сотрясение копра и фундамента, преодоление сопротивления воздуха, на трение в подшипниках и измерительном устройстве, на смятие образца на опорах и под ножом, на сообщение энергии обломкам образца и на упругую деформацию штанги маятника не учитывалась.

Точность определения работы излома была относительно высока, так как было достигнуто небольшое превышение запаса работы маятника над работой деформации и разрушения образца и угол отклонения маятника после разрушения образца был небольшим. Ударная вязкость (Дж/см^2) рассчитывалась путем деления полной работы деформации и разрушения на площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания.

Ударные испытания проводились и при отрицательных температурах. Динамический изгиб при отрицательных температурах производился с использованием тех же образцов, что и при комнатной. Образец выдерживали в жидком хладагенте (жидкий азот) 15 минут, затем вынимали из ванны, устанавливали на копер и немедленно испытывали. Время от извлечения образца до проведения испытаний не превышало 20 секунд.

Обсуждение результатов. Анализируя конструкционные свойства и энергетические параметры разрушения можно сказать что наибольшие энергетические затраты сталь 20 категории 1 (ГОСТ 1050-74) показала при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ работа разрушения была в два раза, а при минус $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ в три раза меньше чем при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тем не менее, в процентном отношении распределение полной работы разрушения на составляющие затраченные на зарождение и распространение трещины заметно не зависело при данной температуре от скорости деформации, хотя от температуры эксперимента их соотношение зависело. Так минимальное значение (32 % – 40 %) A_p принимало у стали кованой при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальное (56 % – 76 %) при минус $196\text{ }^{\circ}\text{C}$, со средним (56 %) значением при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблицы 15, 16, 17). Возможной причиной такого поведения стали под нагрузкой может служить релаксация напряжений в вершине трещины при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, что затрудняло ее дальнейшее распространение и трудность зарождения достаточного количества трещин по дислокационному механизму, типа механизма Коттрелла, при минус $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6].

При выбранных температурах испытаний на циклическую стабильность скорость деформации не влияла, в то время как сама температура испытаний переводила сталь из состояния циклической упрочняемости ($\sigma_b/\sigma_{0,2} > 1,4$) при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в состояние циклической разупрочняемости ($\sigma_b/\sigma_{0,2} < 1,2$), делая сталь циклически стабильной при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1,2 < \sigma_b/\sigma_{0,2} < 1,4$). Соответственно вел себя и параметр надежности ($\sigma_{0,2}/\sigma_b$) имея минимальное значение (67 % – 69 %) при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и максимальное (91 % – 94 %) при минус $196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, можно заключить, что оптимальными эксплуатационными и энергетическими параметрами сталь категории 1 обладает при температурах эксплуатации $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ сталь 20 вела себя как циклически упрочняемый материал ($\sigma_b/\sigma_{0,2} > 1,4$), но при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минус $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ вышеупомянутое отношение было $< 1,2$ вне зависимости от скорости деформации, что свидетельствует о склонности стали к циклическому разупрочнению (таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1

Эксплуатационные и энергетические параметры кованой стали 20 при разных скоростях деформации и температуре 20 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,69	1,45	58	32
10 ²	0,67	1,48	60	40

Таблица 2

Эксплуатационные и энергетические параметры кованой стали 20 при разных скоростях деформации и температуре минус 196 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,91	1,10	24	76
10 ²	0,94	1,04	36	56

Таблица 3

Эксплуатационные и энергетические параметры кованой стали 20 при разных скоростях деформации и температуре 200 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,87	1,15	44	56
10 ²	0,84	1,19	44	56

Параметры надежности и циклической стабильности менялись неоднозначно от условий эксперимента (таблицы 4, 5, 6). В нормализованном состоянии сталь 20 (категория 2) показала скоростную зависимость составляющих полной работы разрушения. При всех температурах испытаний с ростом скорости деформации доля работы на распространении трещины возрастала тем эффективнее, чем ниже температура эксперимента с 15 % до 30 % и 84 % при температурах 200 °С, 20 °С и минус 196 °С соответственно.

Таблица 4

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 2 при разных скоростях деформации и температуре 20 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,59	1,65	66	34
10 ²	0,47	2,10	56	44

Таблица 5

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 2 при разных скоростях деформации и температуре минус 196 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,87	1,14	81	19
10 ²	0,83	1,20	65	35

Таблица 6

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 2 при разных скоростях деформации и температуре 200 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,50	1,99	73	27
10 ²	0,39	5,69	69	31

После закалки с высоким отпуском (сталь категории 4) при всех скоростях деформации при 20 °С и 200 °С сталь вела себя как циклически стабильный материал ($1,2 < \sigma_b/\sigma_{0,2} < 1,4$) с достаточной надежностью ($\sigma_{0,2}/\sigma_b = 0,74 - 0,92$) и как циклически разупрочняемый с низкой надежностью при минус 196 °С.

Это подтверждается и анализом энергетических параметров разрушения (таблицы 7, 8, 9). Имея примерно одинаковый уровень полной работы разрушения при статических нагрузках сталь в данном структурном состоянии показала примерно равные затраты на зарождение и распространение трещины при 20 °С и 200 °С и нулевое значение Ар при минус 196 °С.

Таблица 7

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 4 при разных скоростях деформации и температуре минус 196 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	1,00	1,00	100	0
10 ²	0,97	1,04	100	0

Таблица 8

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 4 при разных скоростях деформации и температуре 20 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Аз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,74	1,33	51	49
10 ²	0,74	1,33	59	41

Эксплуатационные и энергетические параметры стали категории 4
при разных скоростях деформации и температуре 200 °С

Скорость деформации, с ⁻¹	Параметры			
	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/\sigma_b$	Aз, %	Ар, %
10 ⁻²	0,80	1,23	55	45
10 ²	0,92	1,35	44	56

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение о том, что при прогнозировании конструктивной прочности изделия из стали 20 необходимо учитывать ее исходное структурное состояние с точки зрения энергетических и эксплуатационных параметров, а не только по данным механических свойств.

Таким образом по результатам исследований было установлено, что уровень чувствительности стали 20 к воздействию внешних факторов (температуры, скорости деформации, схемы нагружения) связан с исходным структурным состоянием.

Список литературы

1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
2. ГОСТ 1497-84 Методы испытаний на растяжение. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1984. – 35 с.
3. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1990. – 37 с.
4. ГОСТ 9454-60 Метод определения ударной вязкости при нормальной температуре. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1960. – 19 с.
5. ГОСТ 9455-60 Метод определения ударной вязкости при низких температурах. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1960. – 33 с.
6. Лукин А. А., Тарханов А. К., Лукин О. А. Механические свойства стали 20 при различных температурах и скоростях нагружения // Научный вестник ВГАСУ. - Воронеж: Изд-во ВГАСУ. - 2014. - Вып. 8. - С. 49-53.

Лукин Анатолий Александрович - к.ф.-м.н., доцент кафедры материаловедения и физики металлов Воронежского государственного технического университета. E-mail: toto_luk@mail.ru

Тарханов Андрей Константинович - к.ф.-м.н., доцент кафедры физики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: anvetkin@yandex.ru

Лукин Олег Анатольевич - к.ф.-м.н., доцент кафедры экономики Московского института инженеров транспорта (МИИТ, Воронежский филиал).

УДК 539.87

А.А. Лукин, А.К. Тарханов, О.А. Лукин

ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ 20 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И СКОРОСТЯХ НАГРУЖЕНИЯ

Исследуются образцы стали 20 при различных температурах и скоростях нагружения.

Ключевые слова: одноосное растяжение, ударные нагрузки, ударный изгиб, предел текучести, двухчасечный излом

A.A. Lukin, A.K. Tarkhanov, O.A. Lukin

NATURE OF DESTRUCTION OF STEEL 20 AT DIFFERENT TEMPERATURES AND LOADING RATES.

Investigated samples of 20 steel at different temperatures and loading rates.

Keywords: *constructional properties, energy parameters, the work of destruction, limit of fluidity, the nucleation and crack*

Введение. В настоящей работе исследовалась сталь 20 (ГОСТ 1050 – 74) при различных температурах и скоростях нагружения. Такие исследования позволят более полно определить рабочие характеристики материала и выявить различные дефекты, возникшие в изделии при термообработке, что важно учитывать при разработке реальных конструкций во избежание внезапных разрушений.

Исследуемую сталь используют без термообработки (категория 1) и после нормализации (категория 2) для крюков кранов, патрубков, болтов муфт, вкладышей подшипников и других деталей, работающие при температуре от минус 40 до 450°C под давлением, а после закалки и отпуска (категория 4): для шестерней, червяков и других деталей. Виды термообработки и механические свойства, а также рекомендации по применению оговорены в ГОСТ 4041-71 и ГОСТ 1577-81 [1-3].

Теоретическая часть. Анализ испытаний на одноосное растяжение позволяют по результатам одного опыта определить сразу несколько важных механических характеристик материала, определяющих его качество и необходимых для физико-механических расчетов. [1]. При проведении экспериментов на одноосное растяжение использовались образцы стандартной формы и размера [2], а в качестве установки выбрана универсальная испытательная машина Р-20 [3], объединяющая нагружающий, измерительный и регистрирующий механизмы. При испытаниях стали на ударные нагрузки проводились динамические ударные изгибы образцов со стандартными U- и V-образными надрезами [4], [5]. В качестве исследуемого материала была выбрана сталь 20 (ГОСТ 1050 – 74), которая подвергалась испытаниям при различных температурах и скоростях нагружения. В промышленности эта сталь используется как без термообработки так и с после нее.

Обсуждение результатов. Для стали категории 1 типичный вид машинной кривой – параболический, повышающий участок «живучести» (ниспадающая часть кривой) с ростом скорости деформации, но имеющий тенденцию к уменьшению с падением температуры от 200 °С до минус 196 °С. Аналогичная картина наблюдается и для стали категории 2; однако при 20 °С и скорости деформации 10^{-2} с^{-1} наблюдалась площадка текучести, исчезающая с ростом скорости до 10^2 с^{-1} .

Более того для стали 20 при малых скоростях деформации наблюдался явно выраженный зуб текучести, выражающийся с ростом скорости деформации.

Наличие площадки и зуба текучести при малых скоростях деформации можно объяснить эффектом деформационного старения, когда оторвавшиеся от дислокаций примесные облака еще успевают их догнать и вновь затруднить движение последних, а при больших скоростях деформации скорость диффузии дефектов становится недостаточной. Этим же можно и частично объяснить повышение пластичности стали при скоростях 10^2 c^{-1} .

Результаты исследований температурно – скоростной зависимости механических свойств и энергетических параметров хорошо согласуются с оценками характера разрушения. Наименее чувствительная к изменению скорости сталь категории 1 показала и полную идентичность вида макроизлома при каждой из исследуемой температур. В нормализованном состоянии сталь 20 разрушалась по схеме двухчашечного излома вне зависимости от скорости деформации в то время как при $200 \text{ }^\circ\text{C}$ увеличение скорости меняло характер разрушения со схемы среза (рис. 1а) на отрыв (рис. 1б). Разрушение при минус $196 \text{ }^\circ\text{C}$ происходило только отрывом, но при 10^{-2} c^{-1} шейка отсутствовала (рис. 1в), а при больших скоростях перед разрушением шейка образовывалась (рис. 1г).

Сталь категории 4 при всех температурах испытания разрушалась с образованием шейки с двухчашечным изломом при $200 \text{ }^\circ\text{C}$ и $20 \text{ }^\circ\text{C}$. При минус $196 \text{ }^\circ\text{C}$ разрушение отрывом (рис. 1д) при скорости 10^{-2} c^{-1} заменялось на разрушение срезом при скорости 10^2 c^{-1} (рис. 1е).

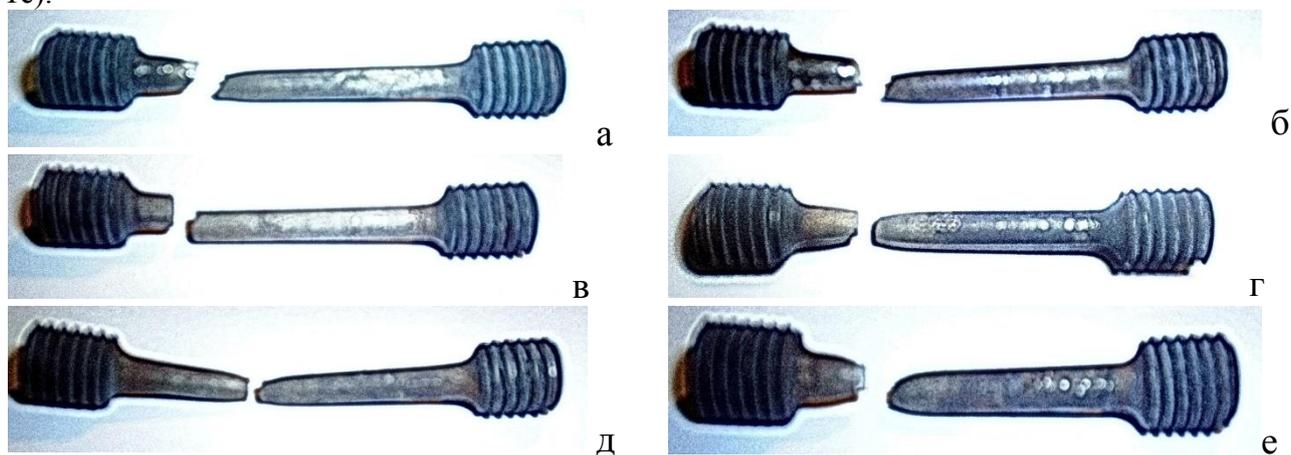
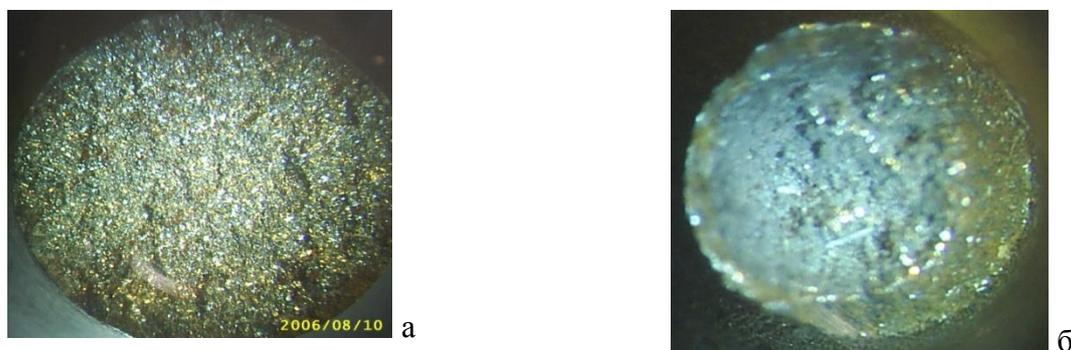


Рис. 1. Макроэффекты разрушения стали 20 при различных условиях испытания
а,б – нормализация, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $V=10^{-2} \text{ c}^{-1}$ и $V=10^2 \text{ c}^{-1}$; в,г – нормализация, минус $196 \text{ }^\circ\text{C}$, $V=10^0 \text{ c}^{-1}$ и $V=10^2 \text{ c}^{-1}$; д,е – закалка + отпуск минус $196 \text{ }^\circ\text{C}$, $V=10^{-2} \text{ c}^{-1}$ и $V=10^2 \text{ c}^{-1}$.

Результаты фрактографических исследований представлены на рис. 2 – 4.



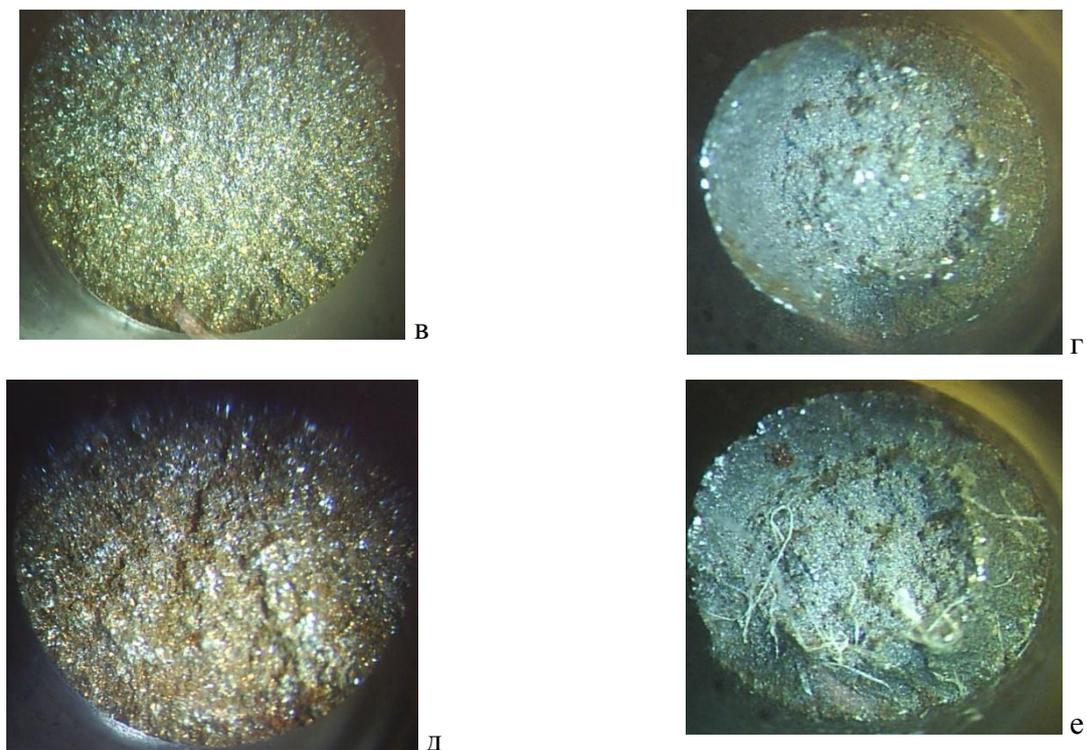


Рис. 2. Топография поверхности изломов стали 20 категории 1
 а,в,д – минус 196 °С $V=10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $V=10^0 \text{ с}^{-1}$, $V=10^2 \text{ с}^{-1}$; б,г,д – 20 °С $V=10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $V=10^0 \text{ с}^{-1}$, $V=10^2 \text{ с}^{-1}$

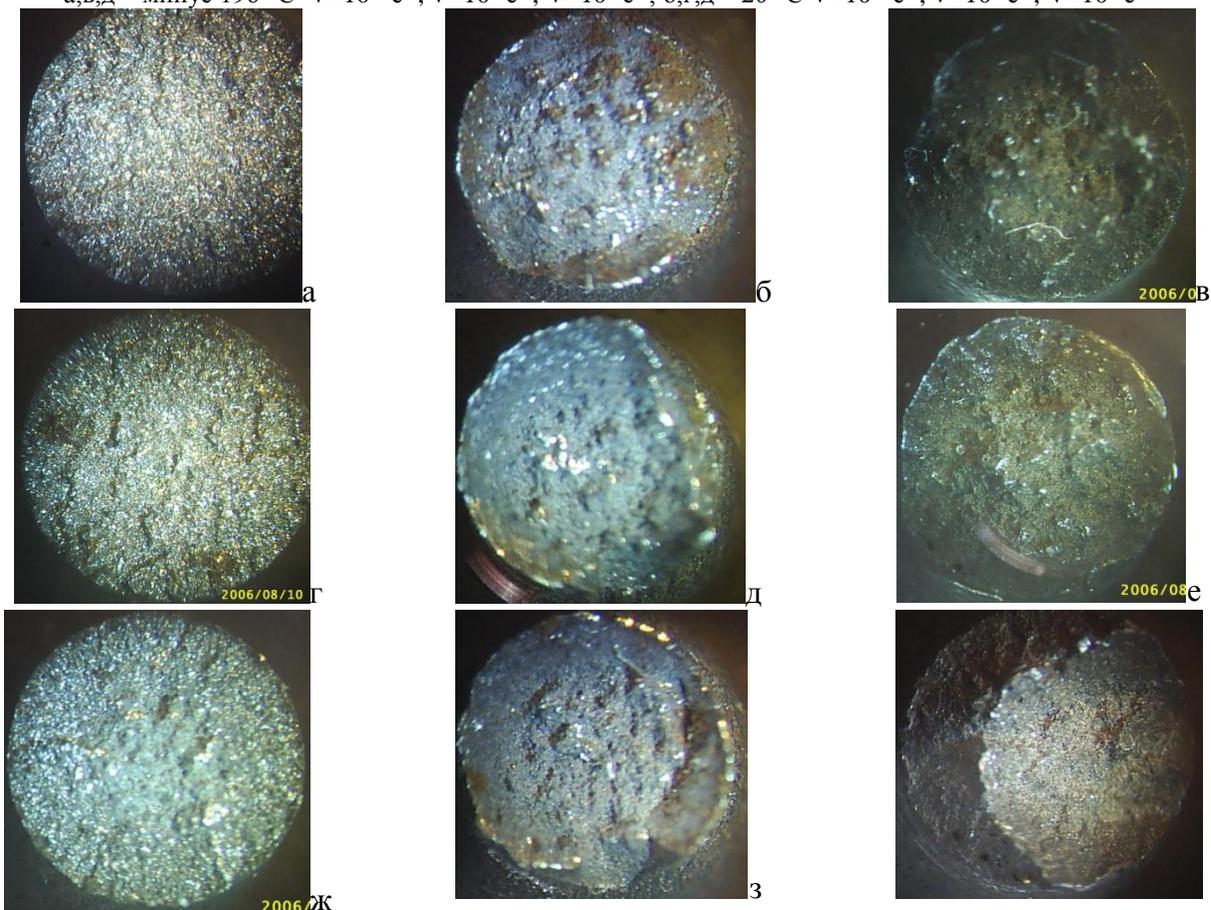


Рис. 3. Топография поверхности изломов стали 20 категории 2
 а,г,ж – минус 196 °С $V=10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $V=10^0 \text{ с}^{-1}$, $V=10^2 \text{ с}^{-1}$; б,д,з – 20 °С $V=10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $V=10^0 \text{ с}^{-1}$, $V=10^2 \text{ с}^{-1}$;
 в,е,и – 200 °С $V=10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $V=10^0 \text{ с}^{-1}$, $V=10^2 \text{ с}^{-1}$

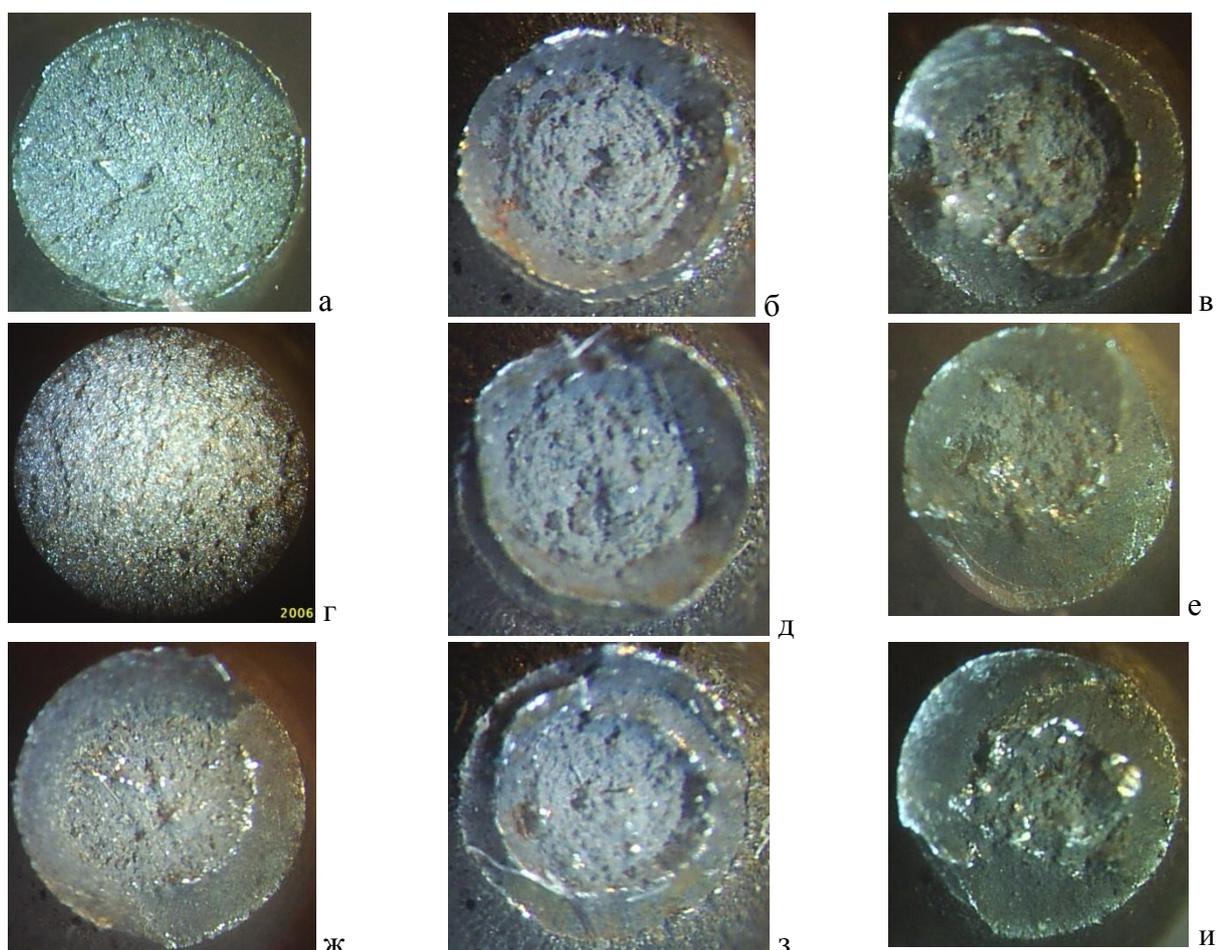


Рис. 4. Топография поверхности изломов стали 20 категории 4
а,г,ж – минус 196 °С $V=10^{-2} \text{ c}^{-1}$, $V=10^0 \text{ c}^{-1}$, $V=10^2 \text{ c}^{-1}$; б,д,з – 20 °С $V=10^{-2} \text{ c}^{-1}$, $V=10^0 \text{ c}^{-1}$, $V=10^2 \text{ c}^{-1}$;
в,е,и – 200 °С $V=10^{-2} \text{ c}^{-1}$, $V=10^0 \text{ c}^{-1}$, $V=10^2 \text{ c}^{-1}$

Таким образом по результатам исследований было установлено, что уровень чувствительности стали 20 к воздействию внешних факторов (температуры, скорости деформации, схемы нагружения) связан с исходным структурным состоянием.

Список литературы

1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
2. ГОСТ 1497-84 Методы испытаний на растяжение. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1984. – 35 с.
3. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1990. – 37 с.
4. ГОСТ 9454-60 Метод определения ударной вязкости при нормальной температуре. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1960. – 19 с.
5. ГОСТ 9455-60 Метод определения ударной вязкости при низких температурах. – М.: Госстандарт СССР: Изд – во стандартов, 1960. – 33 с.

Лукин Анатолий Александрович, доцент, к.ф.-м.н., доцент, каф. материаловедения и физики металлов, ВГТУ, toto_luk@mail.ru.

Тарханов Андрей Константинович, доцент, к.ф.-м.н., доцент, каф. физики и химии, ВГАСУ, anvetkin@yandex.ru.

Лукин Олег Анатольевич, доцент, к.ф.-м.н., доцент, каф. экономики, МИИТ (Воронежский филиал).

УДК 543.544

А.М. Черепакхин, Е.А. Хорохордина, О.Б. Рудаков, Е.В. Калач

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ И ПОЖАРООПАСНЫЕ СВОЙСТВА СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Рассмотрена взаимосвязь поверхностного натяжения, температуры кипения и температуры вспышки некоторых многокомпонентных сольвентов, используемых в лакокрасочных материалах.

Ключевые слова: *поверхностное натяжение, температура кипения, смешанные растворители, пожарная безопасность*

A.M. Cherepakhin, E.A. Khorokhordina, O.B. Rudakov, E.V. Kalach

SURFACE TENSION AND FLAMMABLE PROPERTIES OF MIXED SOLVENTS

Examined the relationship of surface tension, boiling point and flash point of some multicomponent solvents used in paint and varnish materials.

Keywords: *surface tension, boiling point, mixed solvents, fire safety*

В строительной индустрии в качестве разбавителей и разжижителей лаков и красок используется достаточно широкий ассортимент смешанных сольвентов разного состава. За редким исключением это легковоспламеняющиеся и весьма токсичные жидкости. С повышенной пожарной опасностью и химической вредностью сольвентов производители разных материалов вынуждены мириться из-за хорошей растворимости в них органических и высокомолекулярных веществ, которые входят в состав лаков и красок.

Существует проблема пожарной безопасности в разных отраслях промышленности, где используются органические растворители, актуальным является разработка простых и удобных критериев оценки совокупности факторов пожарной опасности [1].

Поверхностное натяжение является мерой некомпенсированности межмолекулярных сил в поверхностном слое. Для подвижных жидкостей поверхностное натяжение характеризует избыток свободной энергии в поверхностном слое по сравнению со свободной энергией в объеме. Величина σ определяется характером межмолекулярных сил, размером и геометрией молекул, их ориентацией в поверхностном слое, т.е. природой растворителя, его поверхностной активностью или поверхностной активностью находящихся в нем других веществ [1-3].

Поверхностное натяжение растворов ПАВ играет важную роль в пенообразовании, в смачиваемости поверхности, что является предметом прикладных исследований в области пожарной безопасности.

Между величинами поверхностного натяжения и составом смешанных сольвентов [4], между температурой кипения и составом [5,6], температурой вспышки и составом [7], а значит, и между этими физическими свойствами жидких смесей можно ожидать определенных взаимосвязей, экспериментальное изучение которых позволит оценить риски пожарной опасности при реализации внештатных ситуаций в лакокрасочных производствах, на этапах отделочных строительных работ.

Цель работы – изучить количественные взаимосвязи поверхностного натяжения, температуры кипения и вспышки некоторых типичных многокомпонентных сольвентов, используемых в строительной индустрии.

Экспериментальная часть. *Методика определения поверхностного натяжения.* Экспериментальные значения поверхностного натяжения определяли методом максимального давления в пузырьке воздуха на приборе Ребиндера [2]. Находили константу ячейки прибора k по значениям максимального давления $\Delta p_{ст}$ и поверхностного натяжения $\sigma_{ст}$ для стандартных жидкостей:

$$k = \sigma_{ст} / \Delta p_{ст}. \quad (1)$$

Определив коэффициент k и измерив давление $\Delta p_{макс}$ для исследуемой жидкости, рассчитывали значение $\sigma_{ж-г} = k\Delta p_{макс}$. Применение этого метода хорошо минимизирует ошибки, обусловленные изменением состава из-за испарения, что важно для изучения поверхностного натяжения смешанных растворителей. Исследуемую жидкость наливали в ячейку до уровня, при котором кончик капилляра погружен в неё не более чем на 1 мм (избыток жидкости отбирали с помощью капилляра). Ячейку соединяли отводной трубкой с аспиратором и краном микроманометра. Устанавливали мениск в манометрической трубке против нулевой отметки. После чего открывали кран аспиратора. В установке создавалось разрежение, в результате чего манометрическая жидкость поднималась в трубке. Сформировавшийся на конце капилляра пузырёк воздуха при достижении $\Delta p_{макс}$, пробивал поверхностный слой. В этот момент давление в системе снижалось, манометрическая жидкость опускалась, затем в результате образования нового пузырька она снова поднималась, что вызывало колебание уровня манометрической жидкости. Чтобы уменьшить пульсацию жидкости в измерительной трубке, добивались равномерного проскока пузырька, с интервалом 20-30 с.

Методика определения температуры вспышки смешанных растворителей. Вспышкой, как известно, называется быстрое сгорание газопаровоздушной смеси над поверхностью горючего вещества, сопровождающееся кратковременным видимым свечением. Температура вспышки $t_{всп}$, представляет собой наименьшую температуру конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания (устойчивое горение при этом не возникает). Сущность экспериментального метода определения $t_{всп}$ заключается в нагревании определенной массы вещества с заданной скоростью, периодическом зажигании выделяющихся паров и установлении факта наличия или отсутствия вспышки при фиксируемой температуре. Для определения $t_{всп}$ заданную массу вещества нагревали с заданной скоростью, периодически зажигая выделяющиеся пары и визуально оценивали результаты зажигания в приборе открытого типа. Использовали термометры типов ТН 1-1, ТН 1-2, ТН – 6 с делением шкалы не более 1 °С; секундомер с погрешностью не более 1 с для контроля скорости нагревания жидкости. Прибор для измерения $t_{всп}$ в открытом тигле состоял из фарфорового тигля низкой формы №5, нагревательной воздушной ванны, газовой горелки и термометров (ГОСТ 12.1.044-89).

Вначале определяли ориентировочную $t_{всп}$. После этого выполняли серию основных испытаний на 3 образцах исследуемого раствора в той же последовательности, что и предварительные испытания. Образцы исследуемого раствора, имеющие ориентировочную $t_{всп} < 50$ °С, охлаждали до температуры, которая на 17 °С ниже ориентировочной $t_{всп}$. За 10 °С до ориентировочной $t_{всп}$ образец нагревали со скоростью 1 °С/мин для растворов с $t_{всп}$ до 70 °С и 2°С/мин для веществ с $t_{всп} > 70$ °С. За $t_{всп}$ каждого определения принимали показание термометра, соответствующее появлению пламени над частью или над всей поверхностью образца.

Методика определения температуры кипения смешанных растворителей. Под температурой кипения $t_{кип}$ понимают температуру, при которой происходит кипение жидкости, находящейся под постоянным давлением, $t_{кип}$ соответствует температуре насыщенного пара над плоской поверхностью кипящей жидкости. При определении $t_{кип}$ использовали метод Павлевского (ГОСТ 18995.6-73). В пробирку прибора

для определения $t_{\text{кип}}$ помещали 1–1.5 см³ испытуемой жидкости (туда же помещают небольшой кусочек прокаленного, пористого, неглазированного фарфора или маленькие, запаянные с одной стороны стеклянные капилляры) и укрепляли в ней при помощи корковой пробки термометр так, чтобы ртутный резервуар находился на высоте 2 см над уровнем жидкости в пробирке. В колбу прибора наливали жидкий теплоноситель (глицерин) так, чтобы уровень его был выше уровня жидкости в пробирке. При нагреве за 10–15 °С до предполагаемой $t_{\text{кип}}$ скорость нагрева уменьшали до 2 °С в мин. При дальнейшем нагревании температура повышается и, достигнув определенной точки, некоторое время остается постоянной. За $t_{\text{кип}}$ принимали наблюдаемую постоянную температуру, приведенную к нормальному давлению с учетом поправок по ГОСТ 18995.6-73. Результатом анализа считали среднее арифметическое двух параллельных определений, если абсолютное расхождение между которыми не превышало 0,1 °С.

Состав сольвентов для которых изучали поверхностное натяжение, температуры кипения и вспышки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав промышленных многокомпонентных сольвентов

Сольвент	Массовая доля компонента						
	толуол	бутилацетат	этилацетат	бутанол	этанол	ацетон	ксилол
Растворитель 645	0,5	0,18	0,12	0,1	0,1	-	-
Растворитель Р-4	0,62	0,12	-	-	-	0,26	-
Растворитель Р-10	-	-	-	-	-	0,15	0,85
Растворитель РС-1	0,6	0,3	-	-	-	-	0,1
Разбавитель РДВ	0,5	0,18	0,09	0,1	0,1	0,03	-
Разжижитель Р-5	-	0,30	-	-	-	0,30	0,4

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных измерений поверхностного натяжения, $t_{\text{кип}}$ и $t_{\text{всп}}$ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Температуры кипения и вспышки, поверхностное натяжение сольвентов при 20 °С

Сольвент	$t_{\text{кип}}$, °С	$t_{\text{всп}}$, °С	σ , мН/м
Растворитель 645	94	7	26,4
Растворитель Р-4	103	4	25,2
Растворитель Р-10	142	2	27,2
Растворитель РС-1	119	14,5	30
Разбавитель РДВ	96	6	28
Разжижитель Р-5	110	2	25,6

Между поверхностным натяжением и $t_{\text{всп}}$ смешанных сольвентов установлена значимая линейная корреляция, коэффициент парной корреляции $R > 0,80$ (рис.1), т.е. наблюдается тренд: чем выше поверхностное натяжение, тем выше температура вспышки. Между температурой кипения и температурой вспышки, между поверхностным натяжением и температурой вспышки смешанных сольвентов значимых корреляций в данной выборке не наблюдали, можно говорить лишь о тенденции: чем больше натяжение, тем выше $t_{\text{кип}}$.

Вместе с тем, для чистых растворителей существует значимая корреляция как температуры вспышки от поверхностного натяжения ($R=0,75$), так и между температурой кипения и вспышки ($R=0,87$), (табл. 3, рис. 2). Это говорит о том, что рассматриваемые параметры для смешанных растворителей неаддитивно изменяются в зависимости от состава, а на границе раздела фаз жидкость – воздух может наблюдаться градиент концентраций, т.е. более поверхностно активные вещества будут концентрироваться на межфазной границе. Эксперимент показал, что $t_{всп}$ лимитируется прежде всего наличием и концентрацией в сольвенте наиболее пожароопасного компонента, например, ацетона, именно его присутствие в сольвентах существенно снижает $t_{всп}$.

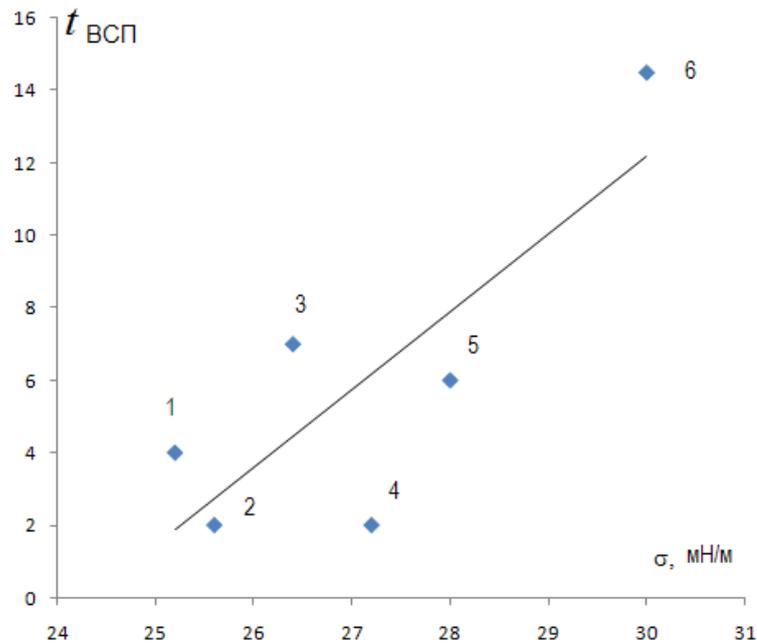


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения (σ) от температуры вспышки в открытом тигле: 1) Растворитель Р-4; 2) Разжижитель Р-5; 3) Растворитель 645; 4) Растворитель Р-10; 5) Разбавитель РДВ; 6) Растворитель РС-1

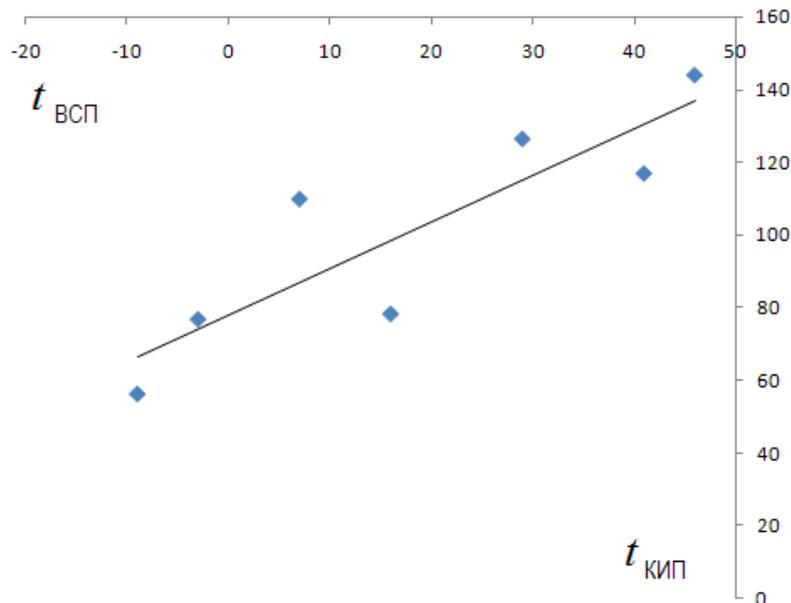


Рис. 2. Зависимость температуры вспышки от температуры кипения индивидуальных растворителей.

Таблица 3

Свойства индивидуальных растворителей

Растворитель	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{всп}}, ^\circ\text{C}$	σ , мН/м (20 $^\circ\text{C}$)
ацетон	-9	56,5	23,7
бутанол	41	117	24,6
бутилацетат	29	126,5	25,2
<i>орто</i> -ксилол	46	144	30,0
толуол	7	110	28,5
этанол	16	78,5	22,8
этилацетат	-3	77	23,8

Результаты выполненных исследований хорошо согласуются с данными работы [7], в которой рассмотрено влияние состава бинарных смесей на их температуру вспышки.

Заключение. Наличие эффектов сольватации и химических взаимодействий, приводящих к нарушению локальной (на наноуровне) гомогенности многокомпонентной системы, обуславливает отсутствие четких линейных или нелинейных зависимостей между величинами поверхностного натяжения, температурой кипения и температурой вспышки многокомпонентных систем, тем не менее, прослеживаются универсальные тенденции: чем выше поверхностное натяжение и температура кипения, тем выше температура вспышки; тем меньше пожарная опасность многокомпонентной системы органических растворителей.

Список литературы

1. Рудаков О.Б., Д.С. Беляев, Паринов Д.Б., Рудакова Л.В. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов // Пожарная безопасность, 2005, №6, с. 81-85.
2. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1976. 512с.
3. Рудаков О.Б., Беляев Д.С., Хорохордина Е.А., Подолина Е.А. Поверхностное натяжение бинарных подвижных фаз для жидкостной хроматографии. // Журнал физической химии, 2007, том 81, № 3. с. 438-441.
4. Jouyban A., Fathi Azarbayjani A., Barzegar-Jalali M., Acree W. E. Correlation of surface tension of mixed solvents with solvent composition // Pharmazie. 2004. V.59, № 12. с. 937-941.
5. Преображенский М.А., Рудаков О.Б. Зависимость температуры кипения бинарных водно-органических смесей от состава // Журн. физич. химии, 2015, Т. 89, № 1, с. 69-72
6. Рудаков О.Б., Бочарова О.Н. Температура кипения бинарных подвижных фаз для высокоэффективной жидкостной хроматографии // Журнал физической химии, 2000, Т. 74, № 6, с. 1059-1064
7. Рудаков О.Б., Черепяхин А.М., Исаев А.А., Рудакова Л.В., Калач А.В. Температура вспышки бинарных растворителей для жидкостной хроматографии // Конденсированные среды и межфазные границы, т. 13, № 2, 2011, с.191-195

Черепяхин Александр Михайлович – ведущий инженер Воронежского филиала ФГБУ «РОСДОРНИИ»

Хорохордина Елена Алексеевна – доцент кафедры химии Воронежского архитектурно-строительного университета, к.х.н.

Рудаков Олег Борисович – проректор по научной работе Воронежского архитектурно-строительного университета, д.х.н., профессор

Калач Елена Владимировна – доцент кафедры физики Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, к.т.н.

УДК 536.75

Б.Л. Павлов, В.Н. Белко

ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ВЫРОЖДЕННОГО ТВЁРДОГО ТЕЛА

Показан распад вырожденного твёрдого тела на два компонента: один состоит из плоских упругих волн, другой («конденсат») из трёхмерных осцилляторов с нулевыми энергиями. Эти компоненты должны иметь различные температуры: первый температуру вырожденного твёрдого тела, второй $T = 0$. «Конденсат» представляет собой закрытую равновесную систему, а другой компонент открытую равновесную систему. Найдены термодинамические характеристики этих компонентов.

Ключевые слова: открытые и закрытые равновесные системы, вырожденное твёрдое тело, двухкомпонентное вырожденное твёрдое тело

B.L. Pavlov, V.N. Belko

TWO-COMPONENT MODEL OF DEGENERATED SOLID

It is shown disintegration of degenerated solid into two components: one consists of plane elastic waves, the other («condensate») of the three-dimension oscillators with zero energies. These components must have different temperatures: one has temperature of degenerated solid, the second $T = 0$. «Condensate» represents closed equilibrium system, and the other component is an opened equilibrium system. Thermodynamic characteristics of these components are found.

Keywords: open and closed equilibrium system, degenerated solid, two-component degenerated solid

Введение. По аналогии с электромагнитным излучением, для которого введена квазичастица (квант электромагнитного излучения) фотон, для упругого излучения вводится квазичастица (квант упругого излучения) фонон. Таким образом, плоской упругой волне с волновым вектором \mathbf{k} ставится в соответствие квазичастица с квазиимпульсом $\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$. Энергия этой квазичастицы $\varepsilon = \hbar \omega = \hbar v k$ (v - скорость распространения упругой волны в изотропном твёрдом теле). Так как упругие волны бывают продольные и поперечные, то имеет смысл говорить о двух видах фононов, которые формально можно назвать «продольными» и «поперечными». Упростим задачу: будем считать, что все фононы имеют одну и ту же скорость, которую определим как среднюю скорость v_c скорости v_l «продольного» и скорости v_t «поперечного» фононов [1]

$$v_c = \frac{1}{3} (v_l + 2v_t). \quad (1)$$

В (1) учтено, что у поперечной волны две независимые поляризации. Вполне очевидно, что изучение свойств твёрдого тела сводится к изучению свойств идеального фононного газа. Фононы являются бозонами – квазичастицами, которые подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна. Можно показать, что число квантовых состояний плоской упругой волны с циклической частотой ω в кубе периодичности объёма V равно [2]

$$n^3 = (2\pi)^{-3} V k^3 = (2\pi)^{-3} V \left(\frac{\omega}{v_c}\right)^3. \quad (2)$$

При квазиклассическом приближении квантовое число n считается непрерывной величиной, изменяющейся от 0 до ∞ . Учитывая, что в этом случае n и ω являются непрерывными величинами, продифференцируем выражение (2).

Получим:

$$3 n^2 dn = 3(2\pi v_c)^{-3} V \omega^2 d\omega . \quad (3)$$

Величина $3n^2 dn$ представляет собой элементарное число квантовых состояний плоской волны в кубе периодичности объёма V , если квантовое число взято из интервала $(n, n + dn)$, а величина циклической частоты заключена в интервале $(\omega, \omega + d\omega)$.

Для вычисления термодинамических характеристик идеального фононного газа запишем следующие уравнения с учётом (3) и того, что фононы являются бозонами [1]

$$N = 3 \int_0^\infty \{ \exp[(\beta n - \mu)(k_0 T)^{-1}] - 1 \}^{-1} n^2 dn , \quad (4)$$

$$U = 3 \int_0^\infty \{ \exp[(\beta n - \mu)(k_0 T)^{-1}] - 1 \}^{-1} n^3 dn , \quad (5)$$

$$- P V = 3 k_0 T \int_0^\infty \ln \{ 1 - \exp[(\mu - \beta n)(k_0 T)^{-1}] \} n^2 dn , \quad (6)$$

где для фонона согласно [2]

$$\varepsilon_n = \hbar \omega_n = \hbar v_c k_n = \frac{2\pi n}{L} \hbar v_c = \beta n . \quad (7)$$

Здесь $\hbar = \frac{1}{2\pi} h$, где h - постоянная Планка, k_0 - постоянная Больцмана, μ - химический потенциал фонона, L - ребро куба периодичности, -число фононов, U - внутренняя энергия, P - давление фононного газа. В формулах (4) – (6) в качестве переменной интегрирования взято квантовое число n . Очевидно, что характеристики идеального фононного газа являются в то же время и характеристиками твёрдого тела.

В работе [1] определена температура вырождения идеального фононного газа

$$T_0 = h v_c k_0^{-1} \left(\frac{N'_0}{6 \zeta(3)} \right)^{\frac{1}{3}} . \quad (8)$$

$$\text{где } \zeta(3) = 1,202[3], \text{ а } N'_0 = \frac{N_0}{V} .$$

При температурах ниже температуры вырождения часть фононов скапливается на самом нижнем уровне энергии $\varepsilon = 0$. Эти фононы не вносят вклада ни в энергию идеального фононного газа ни в давление. Это явление назовём конденсацией Бозе-Эйнштейна в фононном газе (в твёрдом теле) в квазиклассическом случае (по аналогии с конденсацией в идеальном Бозе-газе, состоящем из частиц [4]). Для всех $T < T_0$ фононы идеального фононного газа имеют $\mu = 0$, т.е. идеальный фононный газ представляет собой открытую систему (систему с переменным числом частиц $N(T)$) и [1]

$$N(T) = N_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^3 . \quad (9)$$

Теория открытых равновесных систем была развита и использована в работах [5], [6], [7], [8]. Идеальный фононный газ, находящийся ниже температуры его вырождения, будем называть вырожденным. Очевидно, что и твёрдое тело, находящееся ниже температуры вырождения, следует также считать вырожденным. Физический смысл температуры вырождения идеального фононного газа в случае квазиклассического приближения вытекает из выражения (9): это такая температура T_0 , при которой уже не существует ни одного фонона с энергией $\varepsilon = 0$. Тот же физический смысл следует приписать и температуре вырождения твёрдого тела.

Термодинамические характеристики однокомпонентного вырожденного твёрдого тела. Плотность свободной энергии вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела) [1].

$$F_w' = -\frac{1}{15}(k_0\pi T)^4(h\nu_c)^{-3}, \quad (10)$$

плотность внутренней энергии вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела)

$$U_w' = \frac{1}{5}(k_0\pi T)^4(h\nu_c)^{-3}, \quad (11)$$

уравнение состояния вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела)

$$P_w = -F_w' = \frac{1}{15}(k_0\pi T)^4(h\nu_c)^{-3}. \quad (12)$$

Уравнение [12] является и уравнением единственного равновесного процесса, который можно осуществить в вырожденном идеальном фононном газе (процесса конденсации Бозе-Эйнштейна). Согласно [5] уравнение (12) является как уравнением состояния вырожденного твёрдого тела, так и уравнением равновесного процесса в этом вырожденном твёрдом теле. Для плотности энтропии вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела) имеем [1]:

$$S_w' = \frac{dP}{dT} = \frac{4}{15}(k_0\pi)^4(h\nu_c)^{-3}T^3, \quad (13)$$

а для плотности теплоёмкости вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела)

$$C_w' = \frac{dU'}{dT} = \frac{4}{5}(k_0\pi)^4(h\nu_c)^{-3}T^3. \quad (14)$$

Индекс w в формулах (10) – (14) обозначает один компонент вырожденного идеального фононного газа, состоящий из плоских упругих волн.

Двухкомпонентная модель вырожденного идеального фононного газа. Недостатки квазиклассического приближения при изучении идеального бозе-газа, состоящего из частиц, были исследованы в работе [9]. Идеальный фононный газ в данном случае не является исключением. При рассмотрении идеального фононного газа в квазиклассическом приближении нижний уровень энергии фонона как бозона полагается равным нулю. При конденсации Бозе-Эйнштейна в вырожденном фононном газе (9), (11), (12) число фононов в нём с понижением температуры уменьшается и при $T = 0$

$$N_w'(T) |_{T=0} = 0, \quad U_w'(T) |_{T=0} = 0, \quad P_w(T) |_{T=0} = 0, \quad (15)$$

т.е. вырожденный идеальный однокомпонентный фононный газ при абсолютном нуле просто исчезает. Такая конденсация Бозе-Эйнштейна в идеальном однокомпонентном фононном газе абсурдна. Для изучения поведения идеального фононного газа (твёрдого тела) при температурах ниже температуры вырождения необходимо, как и в работе [9], ввести понятие квазиквантового приближения. При абсолютном нуле частицы твёрдого тела могут совершать только колебания около их равновесных положений (нулевые колебания). Таким

образом, моделью твёрдого тела при абсолютном нуле является совокупность независимых трёхмерных осцилляторов, для которых

$$\varepsilon_i = \hbar \omega_i \left(\frac{3}{2} + n_1 + n_2 + n_3 \right), \quad (16)$$

причём квантовые числа $n_1 = n_2 = n_3 = 0$, т.е. трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией $\varepsilon_i = \frac{3}{2} \hbar \omega_i$. Приближение, сделанное в этой модели твёрдого тела, назовём по аналогии с приближением, полученным для бозе-газов в работе [9], квазиквантовым, так как нижний уровень энергии фонона полагается не равным нулю ($\varepsilon_i \neq 0$). Очевидно, что твёрдое тело в таком приближении ниже температуры его вырождения состоит из двух компонентов: один компонент состоит из N_w квазичастиц, представляющих собой плоские упругие волны, другой - из N_{os} квазичастиц твёрдого тела, представляющих собой трёхмерные осцилляторы с различными нулевыми энергиями $\frac{3}{2} \hbar \omega_i$ («конденсат»).

Квазичастицы, из которых состоят оба эти компонента, будем называть фононами. Этим компонентам следует приписать различные температуры: компоненту, состоящему из упругих плоских волн, температуру T , при которой находится вырожденное твёрдое тело, а компоненту, состоящему из трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией («конденсату»), $T = 0$. При понижении температуры твёрдого тела ниже его температуры вырождения фонон, представляющий собой упругую волну, переходит в фонон, представляющий собой трёхмерный осциллятор с нулевой энергией. Это не что иное как «закон сохранения числа степеней свободы» у фононов различной природы (упругих волн и трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией). Как показано в [2], фонону, представляющему собой плоскую упругую волну, следует приписать шесть степеней свободы. При переходе этого фонона в его новое состояние – состояние осциллятора с нулевой энергией для него и в этом состоянии должно сохраниться то же самое число степеней свободы, равное шести. Последнее выполняется в том случае, если осциллятор будет трёхмерным и на каждый линейный осциллятор приходится две степени свободы. Так как компонентам твёрдого тела, состоящим из N_w упругих волн и из N_{os} трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией приписаны различные температуры соответственно (T и $T = 0$), то никакого термодинамического равновесия между ними быть не может. Однако существует другое равновесие между этими компонентами в вырожденном твёрдом теле, которое связано с законом сохранения числа фононов в замкнутой системе

$$N_0 = N_{os} + N_w. \quad (17)$$

Здесь N_0 - число фононов в невырожденном фононном газе. Уравнение (17) с учётом уравнения (9) можно переписать так

$$N_0 = N_{os} + N_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^3. \quad (18)$$

Условие (18) должно выполняться для вырожденного идеального фононного газа при любой температуре T , взятой из интервала температур $0 \leq T \leq T_0$. В частности, при $T = 0$ из (18) следует, что $N_{os} = N_0$, т.е. все фононы, представляющие собой упругие волны, перешли на самый нижний уровень энергии и превратились в трёхмерные осцилляторы с нулевой энергией, а сам вырожденный двухкомпонентный идеальный фононный газ стал однокомпонентным («конденсатом»). При $T = T_0$ из (18) вытекает, что $N_{os} = 0$, т.е. все фононы, имеющие нулевые энергии трёхмерных осцилляторов, переходят в состояние упругих волн. Отсюда и вытекает физический смысл температуры вырождения твёрдого тела в случае рассмотрения его в квазиквантовом приближении: это температура, при которой не существует ни одного фонона в состояниях трёхмерных осцилляторов с нулевыми

энергиями. Компонент вырожденного идеального фононного газа, состоящий из плоских упругих волн имеет, как показано выше, химический потенциал этих фононов $\mu_w = 0$, поэтому [5] он представляет собой открытую систему. Химический потенциал фононов, образующих другой компонент («конденсат») уже не может быть равен нулю. Действительно, из определения химического потенциала μ следует, что

$$\mu_{os} = u_{os} + P_{oc} v_{os} - s_{os} T. \quad (19)$$

Здесь u_{os} , v_{os} , s_{os} - соответственно внутренняя энергия, объём и энтропия, приходящиеся на один фонон. Согласно сказанному выше $u_{oc} \neq 0$, $T = 0$, поэтому

$$\mu_{os} = u_{os} + P_{os} v_{os}. \quad (20)$$

Из (20) следует, что $\mu_{os} = 0$ только в случае квазиклассического приближения ($u_{os} = 0$, $P_{os} = 0$). В случае квазиквантового приближения $u_{os} \neq 0$ и, следовательно, $P_{os} \neq 0$. Таким образом, для фононов, состоящих из трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией, химический потенциал $\mu_{oc} \neq 0$. Следовательно, «конденсат» вырожденного идеального фононного газа представляет собой закрытую систему [5].

Термодинамические характеристики «конденсата». Пусть N_{os} фононов оказались на своих самых нижних уровнях с нулевой энергией. Согласно (2) имеем

$$N_{os} = n_{os}^3 = (2\pi v_c)^{-3} V \omega_{os}^3. \quad (21)$$

Отсюда находим ω_{os}

$$\omega_{os} = 2\pi v_c (N_{os} V^{-1})^{1/3}. \quad (22)$$

Определим энергию N_{os} фононов. Имея ввиду (3), запишем

$$U_{os} = \int_0^{\omega_{os}} \frac{3}{2} \hbar \omega \cdot 3 (2\pi v_c)^{-3} V \omega^2 d\omega = \frac{9}{8} \hbar (2\pi v_c)^{-3} V \omega_{os}^4. \quad (23)$$

Подставляя в (23) значение ω_{os} из (22), получим внутреннюю энергию N_{os} фононов «конденсата»

$$U_{os} = \frac{9}{8} \hbar v_c V^{-1/3} N_{os}^{4/3}. \quad (24)$$

В частности, когда все N_0 фононов находятся при абсолютном нуле (полное вырождение фононного газа (твёрдого тела)), имеем

$$U_{os} = \frac{9}{8} \hbar v_c V^{-1/3} N_0^{4/3}. \quad (25)$$

Уравнение состояния «конденсата» как закрытой системы

$$P_{os} = - \left(\frac{\partial U_{os}}{\partial V} \right)_{T=0}. \quad (26)$$

Здесь учтено, что при абсолютном нуле $F_{os} = U_{os}$. Подставляя в это уравнение выражение U_{os} , получим

$$P_{os} V^{4/3} = \frac{3}{8} h v_c N_{os}^{4/3}. \quad (27)$$

Уравнение (27) описывает состояние «конденсата» в твёрдом теле при частичной в нём конденсации Бозе-Эйнштейна (уравнение состояния для N_{os} фононов). В случае полного вырождения идеального фононного газа (полного вырождения твёрдого тела) при $T = 0$ в (27) необходимо заменить величину N_{os} на N_0 (число фононов в невырожденном фононном газе и, следовательно, невырожденном твёрдом теле).

Найдём химический потенциал частиц «конденсата». Из определения термодинамического потенциала Гиббса $G = \mu N$ для фононного идеального газа, состоящего из N_{oc} трёхмерных осцилляторов с нулевой энергией [4], имеем

$$U_{os} + P_{os} V = N_{os} \mu_{os}. \quad (28)$$

В (28) учтено, что для данного компонента $T = 0$. Подставляя в (28) значения U_{os} и P_{os} , получим химический потенциал квазичастиц «конденсата»

$$\mu_{os} = \frac{3}{2} h v_c \left(\frac{N_{os}}{V} \right)^{1/3}. \quad (29)$$

Энтропия $S_{os} = 0$, что следует из определения энтропии, данного Больцманом

$$S_{os} = k_0 \ln W_{os}, \quad (30)$$

где W_{os} - число всевозможных микросостояний, через которые реализуется данное макросостояние (термодинамическая вероятность). Действительно, при $T = 0$ все N_{os} фононов будут иметь нулевую энергию и это макросостояние можно получить только одним способом. Следовательно, $W_{os} = 1$ и $S_{os} = 0$. Таким образом, вклад в энтропию вырожденного идеального фононного газа в случае квазиквантового приближения вносит только компонент фононного газа, состоящий из плоских упругих волн. Так как фононы «конденсата» имеют химический потенциал $\mu_{oc} \neq 0$, то этот компонент представляет собой закрытую систему. В закрытой системе можно ввести понятие теплоёмкости при каком-либо изоизопротессе [5]. В частности, можно ввести теплоёмкость при постоянном объёме, которая по определению равна

$$(C_{os})_V = \left(\frac{\partial U_{os}}{\partial T} \right)_V. \quad (31)$$

Однако внутренняя энергия U_{os} не зависит от температуры T , и $(C_{os})_V = 0$. Таким образом, вклад в теплоёмкость вырожденного идеального фононного газа вносит только компонент, состоящий из упругих волн.

Общее давление вырожденного идеального фононного газа складывается из давлений, создаваемых каждым из двух его компонент

$$P = P_{os} + P_w. \quad (32)$$

В частности, при $T = T_0$ имеем $P = P_w$, т.е. вырожденный идеальный фононный газ состоит только из упругих волн, а при $T = 0$ мы имеем $P = P_{os}$, т.е. вырожденный идеальный фононный газ представляет собой только «конденсат».

Заключение. Вводится понятие двухкомпонентной модели вырожденного идеального фононного газа (вырожденного твёрдого тела). Найдены термодинамические характеристики и уравнения состояний этих компонент.

Список литературы

1. Павлов Б.Л., Белко В.Н., Никишина А.И. Термодинамические характеристики вырожденных твёрдых тел // Воронеж. госуд. архит.-строит. университет. – Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – Научный вестник. № 1(8). – Воронеж, 2014. С. 64 – 70.
2. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Уравнения Шрёдингера для плоской волны и соответствующей ей квазичастицы // Воронеж. госуд. архит.-строит. университет. – Воронеж, 2011. – Деп. в ВИНТИ 24.12.11, № 558 – В2011.
3. Двайт В.Г. Таблицы интегралов и других математических формул. – М.: Наука, 1983. 172 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Статистическая физика. – Т. V. – Ч. I. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 616 с..
5. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Уравнение состояния открытых систем. // Воронеж. госуд. инжен.-строит. институт. – Воронеж, 1993. – Деп. в ВИНТИ 29.06.93, № 1792 – В93.
6. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Термодинамика открытых систем // Воронеж.госуд.технологический институт. – Воронеж, 1993. – Тезисы докладов XXXIV научнойвнутривузовской конференции. Т. 3. С. 34.
7. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Уравнение состояния поверхностной фазы // Воронеж.госуд. архит.-строит. университет. Воронеж, 2010. – Деп. в ВИНТИ 26.01.10, № 42 – В2010.
8. Павлов Б.Л., Белко В.Н. К теории открытых систем. – Воронеж. госуд. архит.-строит. университет // Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. Научный вестник. № 5. Воронеж, 2012. С. 33.
9. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Двухкомпонентная модель вырожденного идеального бозе-газа, состоящего из частиц // Воронеж. госуд. архит.-строит. университет. – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 23.05.2012, № 226 – В 2012.

Павлов Борис Леонидович – ассистент кафедры физики Воронежского государственного университета инженерных технологий. Тел. (473)2538054.

Белко Владимир Николаевич – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Тел.(473)2715004.

УДК 631.95

С.С. Глазков, А.А. Файнбайм

МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИИ ТЕРМОДИНАМИКИ, КИНЕТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Предпринята попытка создания модельных представлений для расчета, усредненного синергетического и эмерджентного эффектов в системах и композитах, в основе которых лежат положения термодинамики, кинетики и информатики.

Ключевые слова: множество, система, композит, синергетика, эмерджентность.

S.S. Glazkov, A.A. Faynbaym

MODEL OF SUSTAINABLE DIFFERENT SYSTEMS WITH POSITION THERMODYNAMICS, KINETICS AND INFORMATICS

Attempt to create a model concepts to calculate averaged synergistic effects and emergent systems and composites, which are based on the provisions of thermodynamics, kinetics, and computer science.

Keywords: multitude, system, composite, synergetic, emergentness

Постнеклассическая наука исследует ценностно-целевые ориентации ученого в их взаимосвязи с социальными целями и культурными ценностями, имеющая дело со сложными самоорганизующимися системами на основе синергетической парадигмы фундаментальности. Изучение предметов и явлений окружающего мира осуществляется в соответствии с принципами системности, в основе которых лежат представления о структурно-функциональной организации материальных объектов способных образовывать связи друг с другом под влиянием внутренних (синергизм) и внешних (эмерджентность) факторов [1].

Два объективных процесса – центростремительного и центробежного, экстенсивного и интенсивного, объединяющего и разъединяющего можно учесть в виде функции $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$, которая способна учесть эти две противоположно направленные тенденции [2].

С целью выявления критерия устойчивого состояния системы в условиях относительного равновесия [3,4], когда система находится в режиме аттракции и не подвержена серьезным внешним воздействиям или применительно к композиционной системе, когда силы притяжения и отталкивания на границе контакта двух компонентов уравновешены, используем выражение для энергии Гиббса при $\Delta G \rightarrow 0$

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \approx 0 \quad (1)$$

В условиях относительного равновесия системы получаем модель статического равновесия (устойчивости) композиционной системы в виде выражения для величины уровня структурно-энергетического взаимодействия элементов системы (T), как отношение энтальпийного и энтропийного факторов:

$$T = \frac{\Delta H}{\Delta S} \quad (2)$$

Рассмотрим, в каких интервалах будет изменяться величина T при следующих условиях:

1. $\Delta H \geq \Delta S$, то есть в случае преобладания в системе (кластере) тенденций к объединению величина T будет изменяться в интервале от 1 до ∞ ;
2. $\Delta H \leq \Delta S$, случай, когда в системе преобладают антиструктурные, хаотичные, разъединяющие тенденции, то величина T будет лежать в интервале от 0 до 1.

В нашем вопросе, связанном с выявлением преимуществ образования системы будет интересоваться в первую очередь *первое соотношение между энтальпией и энтропией*, когда множество компонентов в общем случае находится в области интенсивного формирования системы. А интенсивный путь развития предполагает *переход от множества к системе*, которой в свою очередь в зависимости от этапа развития будет соответствовать определенный уровень системности [4,5].

Соотношение энтальпийного и энтропийного факторов, определяемое величиной уровня структурно-энергетического взаимодействия компонентов системы (T) можно принять, в качестве системообразующего критерия, величина которого изменяется в пределах от 1 до ∞ .

Эффективность или производительность работы любой системы, с известной функциональностью, будет определяться ее способностью, реагировать на внешний входной сигнал или воздействие и в соответствии с функциональностью преобразовывать его в выходной сигнал, как представлено на рис. 1 [6].



Рис. 1. Принципиальная схема баланса взаимодействий: F – внешнее воздействие (силовое, информационное, материальное), F_0 – расчетная устойчивость к данному внешнему воздействию, адгезионная прочность

Связь значения функции Гиббса и константы равновесия K может быть определена по уравнению [7,8]:

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln K, \quad (3)$$

Константу равновесия применительно к скорости процесса влияния внешней нагрузки на композит, в частности можно определить, как отношение величины внешней силы к величине номинальной прочности адгезионной связи:

$$K = \frac{F}{F_0}, \quad (4)$$

где F – величина внешнего воздействия; F_0 – номинальная прочность адгезионной связи на поверхности контакта компонентов (МПа, тн, м³ и т.д.).

При следующем условии $\Delta G = 0 \rightarrow T = \frac{\Delta H}{\Delta S}$; $F = F_0$ или $\Delta H - T \cdot \Delta S = -R \cdot T \cdot \ln \frac{F}{F_0}$ получаем выражение для динамической модели устойчивости

$$R \cdot \ln \frac{F}{F_0} = R^* f(T), \quad (5)$$

где $R^* = \Delta S - \frac{\Delta H}{T}$, R – коэффициент пропорциональности между статическим и динамическим равновесием.

Увеличить устойчивость системы к колебаниям внешнего воздействия возможно при условии роста кооперативных связей или определенного уровня системности, расчету, величины которой посвящен следующий раздел исследований.

Рассмотренные ранее понятия синергизма и эмерджентности напрямую связаны с таким понятием как уровень системности или того, что является преимуществом по сравнению с простым множеством компонентов, лежащим в основе главного аргумента в пользу объединения в кластер или композит. *Возможность оценки уровня системности позволяет выявить потенциальную устойчивость кластерного, композитного объединения к колебаниям силовых, материальных и информационных потоков.*

Так как синергизм и эмерджентность являются двумя взаимосвязанными характеристиками систем, гносеологический корень которых един и заключается в появлении у системы мультипликативного эффекта, то примем коэффициент эмерджентности Хартли в качестве усредненной характеристики этих двух признаков системы [9,10]:

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} \quad (6)$$

где W – количество элементов в системе альтернативных будущих состояний системы; m – сложность подсистемы (количество элементов первого уровня иерархии в системе); C_W^m – количество сочетаний из W по m .

Рассматривая выражения (5) и (6) имеем два очевидных сравнения:

1. $\Delta H \geq \Delta S$, то есть в случае преобладания в кластере тенденций к объединению величина T будет изменяться в интервале от 1 до ∞ ;

2. Для величины φ согласно формуле (6) также имеем изменение от 0 до $\varphi = \frac{W}{\log_2 W}$ когда системность максимальна.

Вероятно, что выражения (5) и (6) можно объединить в следующем виде с учетом $R^* = \varphi$

$$R \cdot \ln \frac{F}{F_0} = \varphi \quad (7)$$

где R – коэффициент соответствия между левой и правой частями уравнения; φ – коэффициент эмерджентности Хартли [11].

Уравнение (7) может служить взаимосвязью между информационными характеристиками, динамикой и статикой системы-композита, определяющей устойчивость в зависимости от уровня системности. Левая часть уравнения под знаком логарифма содержит отношение величины внешнего воздействия (F) к номинальной прочности (F_0) композита - кластера. В правой части уравнения – коэффициент Хартли как усредненный показатель синергизма и эмерджентности, способный в количественной форме определить уровень системности необходимый для выявления преимущества системы перед множеством, кластерного объединения перед совокупностью компонентов с индивидуальными характеристиками.

Пользоваться моделью можно при решении двух противоположных задач:

1. Прямая задача. По известному отклонению величины внешней нагрузки от номинальной прочности композита, то есть при наличии информации в виде $F - F_0 = \Delta F$ или $\frac{F}{F_0}$ находим необходимый уровень системности, обеспечивающий более высокую эффективность или синергизм композита в сравнении с суммарным эффектом отдельных компонентов.

2. Обратная задача. Согласно известному уровню системности соответствующему данному кластерному объединению рассчитываем то максимальное отклонение величины внешнего воздействия от нормативного показателя.

Иерархическая структура в композите строится по принципу совместимости с использованием критериев:

1. Термодинамических – определяющих сравнительный уровень гидрофобности-гидрофильности компонентов;
2. Структурных – учитывающих размерный фактор компонентов;
3. Функциональных – выявляющих природу реакционноспособных функциональных групп, их способность к физико-химическому взаимодействию.

Рассмотрим пример древесно-полимерного композита на основе древесины березы, модифицированной эпоксидной смолой ЭД-20 в присутствии отвердителя полиэтиленполиамина (ПЭПА), пластификатора – дибутилфталата, стабилизатора – гидрохинона. Исходные данные и результаты расчета в соответствии с выражением (7) приведены в таблице.

Таблица

Сводные данные о вкладе специализации компонентов в уровни иерархии рецептуры композита и общий уровень системности

	5 индивидуаль-ных компонентов	Древеси-на	Смола	Отвердит-ель	Пластифика-тор	Стабилиза-тор	Всего	Уровень систем-ности
		1-й ур.	2-й ур.	3-й ур.	4-й ур.	5-й ур.		
Отсутствие организации	5						5	1,00
1-й уровень	5	5·1					10	1,43
2-й уровень	5	5·1	1·1				11	1,49
3-й уровень	5	5·1	1·1	1·1			12	1,54
4-й уровень	5	5·1	1·1	1·1	1·1		13	1,59
5-й уровень	5	5·1	1·1	1·1	1·1	1·1	14	1,64
Максималь-ный теоре-тически возможный уровень системности								2,15

Сравним расчетные данные (рис.4), относящиеся к уровню системности или обобщенному эмерджентно-синергетическому эффекту с экспериментальными результатами (рис.2,3), выраженными зависимостями прочностных характеристик композита от содержания в структуре древесины эпоксидного олигомера, структурированного посредством введения в его состав отвердителя, пластификатора и стабилизатора (таблица).

Сравнение проведено по прочности поперек волокон исходя из эксплуатации модифицированной древесины в качестве паркета. Как следует из рисунков 3 и 4 уровень прочности и системный, синергетический эффект лежат в области 60-80 %, что свидетельствует об определенной корреляции расчетных и экспериментальных результатов.

Однако как видно из рисунка 3 кривая графической зависимости не вышла на стационарный участок, что позволяет предположить о возможности дальнейшей оптимизации рецептурно-технологического режима. Данное обстоятельство не противоречит максимально возможному уровню системности (рис.4), величина которого для рассмотренного композита составляет 2,15 или 115 % (таблица).

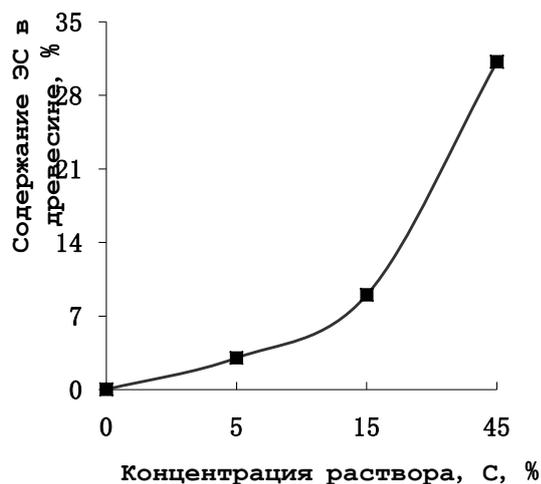


Рис. 2. Зависимость содержания ЭС в древесине от концентрации пропитывающего раствора (C)

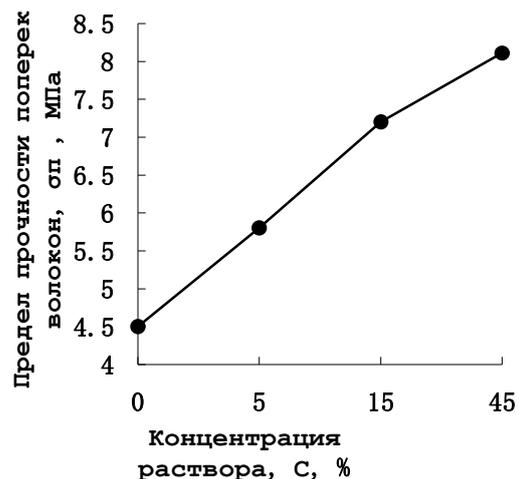


Рис. 3. Зависимость предела прочности древесины поперек волокон (σ_p) от концентрации раствора (C)



Рис. 4. Зависимость эффективности композита из пяти компонентов от специализированной иерархии

Выводы. Предложена модель расчета усредненного синергетического и эмерджентного эффекта или системного эффекта для различных по природе систем, в том числе древеснополимерных композиционных материалов. Показана возможность использования разработанной модели для решения двух противоположных задач: прямой и обратной. Приведен пример оценки системной организации рецептуры в композите на основе древесины лиственной породы и эпоксидной смолы, содержащей также в иерархической последовательности отвердитель, пластификатор и стабилизатор.

Список литературы

1. Луценко Е.В. Количественные меры возрастания эмерджентности в процессе эволюции систем (в рамках системной теории информации) [Электронный ресурс]: Научный журнал КубГАУ / Е.В.Луценко – Краснодар: КубГАУ, 2006. №05(21).
2. Ф. Даниэльс, Р. Олберти Физическая химия / перев. с англ., под редакцией д-ра хим. наук, проф. К.В. Топчиевой. Изд-во Мир, М.: , 1978, 645 с.
3. Глазков, С.С. Критерии термодинамической устойчивости полимерных и композиционных материалов / С.С.Глазков // Строительные материалы. 2007, № 1. С.63-65.

4. Глазков, С.С. Особенности физико-химического взаимодействия на межфазной границе в композиционных материалах (Обзор) / С.С. Глазков, А.Е. Пожидаева, А.И. Анучин А.А. Измайлов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 1 (8). С. 71-80.
5. Муратов А.С. Синергизм организации в «фокусе» гармонизационного подхода // Управление экономическими системами. №1. 2012. С. 60-71.
6. Школа финансового анализа [электронный ресурс] // Синергизм организации в фокусе гармонизационного подхода. Сайт Финансовый анализ и инвестиционный анализ от Жданова Василия URL: <http://beintrend.ru/lr> (Дата обращения 24.04.2015).
7. Пахомов, А.Н. Основы моделирования химико-технологических систем: учебное пособие / А.Н. Пахомов, В.И. Коновалов, Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 80 с.
8. Физическая химия: Учеб.пособие для вузов / Годнев И.Н., Краснов К.С., Воробьев Н.К. и др.; Под ред. К.С. Краснова. – М.: Высш. школа, 1982. 687 с.
9. Глазов В.М. Основы физической химии: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1981. 456 с.
10. Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. 605 с.
11. Система дистанционного обучения [электронный ресурс] // Список лекций по курсу: Математическое моделирование и методы синтеза ГХП URL: <http://cisserver.muctr.edu.ru/virtuallab/mathmod.php?location=lect> (Дата обращения 24.04.2015).
12. Сизова Т.М. Статистика: Учебное пособие. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. – 80 с.

Глазков Сергей Сергеевич - доктор технических наук, профессор кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru.

Файнбайм Александр Андреевич - студент строительного факультета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: fainbaim.a@yandex.ru

УДК 691.588:661.727.1

Н.А. Ходосова, Л.И. Бельчинская, В.Ю. Фролов

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОЙ МОДИФИКАЦИИ НА СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

Получены данные о влиянии кислотной модификации на сорбционную способность природных минералов различной структуры. Определена эффективная концентрация модифицирующего агента для исследуемых алюмосиликатов.

Ключевые слова: алюмосиликаты, сорбция, формальдегид, модификация, кристаллохимическая структура

N.A. Khodosova, L.I. Belchinskaya, V.Yu. Frolov

INFLUENCE OF ACID MODIFICATION ON THE ALUMOSILICATES' SORPTION CAPACITY

The data of the influence of acid modification on the sorption capacity of natural minerals with different structures was received. The effective concentration of the modifying agent for aluminosilicates was defined.

Keywords: aluminosilicates, sorption, formaldehyde, modification, crystal-structure

Введение. Алюмосиликаты (глинистые минералы и цеолиты) широко используются в различных отраслях промышленности – строительной индустрии, медицине, пищевой промышленности, косметологии, в качестве адсорбентов для очистки нефтепродуктов, осветления вин и соков, очистки сточных и природных вод и т.д. [1, 2]. Минералы высоко ценятся за адсорбционные свойства, которые определяются площадью поверхности, природой минерала, количеством и активностью сорбционных центров. Предложены и используются различные способы улучшения сорбционных свойств алюмосиликатов [3,4,5], одним из которых является кислотная модификация.

Формальдегид - токсичное вещество, содержащееся в строительных материалах, пластмассах, лаках, красках, лекарственных препаратах, в сточных водах предприятий кожевенной, текстильной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, производств основного органического синтеза. Например, на предприятиях по производству стройпластмасс в различных производственных процессах применяют формальдегид, поэтому формальдегид входит в состав сточных вод в количестве до 26 мг/л при ПДКв = 0,05 мг/л. На очистные сооружения деревообрабатывающих предприятий попадают сточные воды с содержанием формальдегида до 400 мг/г, т.е. в сотни раз превышающие установленные нормативы. Окружающая среда испытывает значительное антропогенное воздействие [6]. Использование алюмосиликатов в качестве сорбентов-наполнителей красок и смол для производства древесных полимерных материалов, а также для изготовления различных фильтров позволяет снизить экологическую нагрузку и улучшить состояние водных объектов.

Целью работы является повышение сорбции формальдегида природными алюмосиликатами при их кислотной модификации и установление роли структурного фактора в этом процессе.

Теоретическая часть. Исследовали природные минералы различного кристаллохимического строения – нонтронит, аттапулгит и клиноптилолит.

Нонтронит (Нт) относится к диоктаэдрическим глинистым слоистым минералам с расширяющейся структурой и является представителем монтмориллонит-бейделлитовой группы. Глина состоит из одного октаэдрического слоя, содержащего ионы Mg^{2+} или Al^{3+} и Fe^{3+} расположенного между двумя тетраэдрически структурированными слоями диоксида кремния, который включает также катионы [7]. На рис. 1 представлена кристаллическая структура нонтронита.

Кристаллохимическая формула нонтронита: $Na_{0,33}Fe_2^{3+}[Al_xSi_{4-x}O_{10}](OH)_2 \times nH_2O$ [8]. В случае, когда октаэдрические или тетраэдрические катионы заменяются на катионы низшей валентности, грани глины заряжаются отрицательно. Например, в большинстве образцов нонтронита атомы алюминия замещены ионами железа. Межслоевые катионы нейтрализуют отрицательный заряд. На поверхности минерала находятся Al-OH и Si-OH группы, относящиеся к октаэдрическому и тетраэдрическому слоям соответственно. Их заряды зависят от кислотности среды [9].

Аттапульгит (Ат) – слоисто-ленточный глинистый минерал с наиболее вероятной кристаллохимической формулой $Mg_2Si_8Al_2O_{20}(HO)_2(OH)_4 \times 4H_2O$ [10]. Аттапульгит относится к слоисто-ленточным минералам, имеет волокнистую текстуру, это кристаллогидрат силиката магния с частичным замещением магния алюминием, железом и другими элементами. Частицы имеют форму иголок, а кристаллическая структура состоит из двойной цепи кремния и кислорода, связанной магнием и кальцием. Он содержит непрерывно повторяющуюся двумерную последовательность тетраэдрических слоев, но отличается от других слоистых силикатов отсутствием непрерывных октаэдрических слоев (рис. 2).

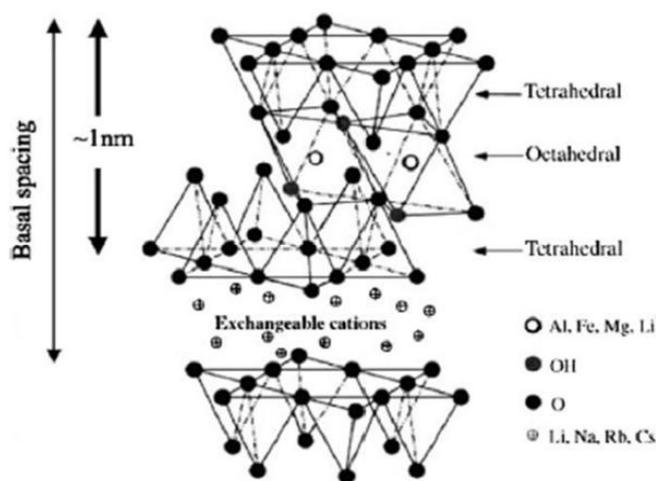


Рис. 1. Кристаллическая структура нонтронита

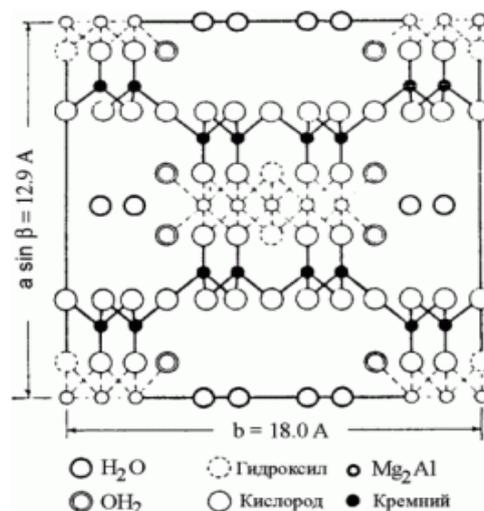


Рис. 2. Кристаллическая структура аттапульгита

Клиноптилолит (Кт) относится к классу цеолитов, имеет жёсткую каркасную структуру. В структуре клиноптилолита имеются каналы эллиптического сечения (рис. 3). Размеры цеолитных каналов, образованных 10-членными окнами $0,79 \times 0,35$ нм, 8-членными кольцами – $0,44 \times 0,30$ нм [11].

Кроме каналов цеолитовые каркасы содержат пустоты, образующие совместно с каналами полиэдры, внутри которых имеются свободные объемы размерами $0,6 - 1,1$ нм [12]. Внутрикристаллическое пространство клиноптилолита занято обменными катионами щелочных и щелочно-земельных металлов и молекулами воды. Наиболее вероятная кристаллохимическая формула клиноптилолита $(Na, K)_4CaAl_6Si_{30}O_{72} \times 24H_2O$ [13].

Кислотная модификация использовалась исследователями [14,15] для улучшения физико-химических свойств глинистых минералов с последующим многонаправленным применением.

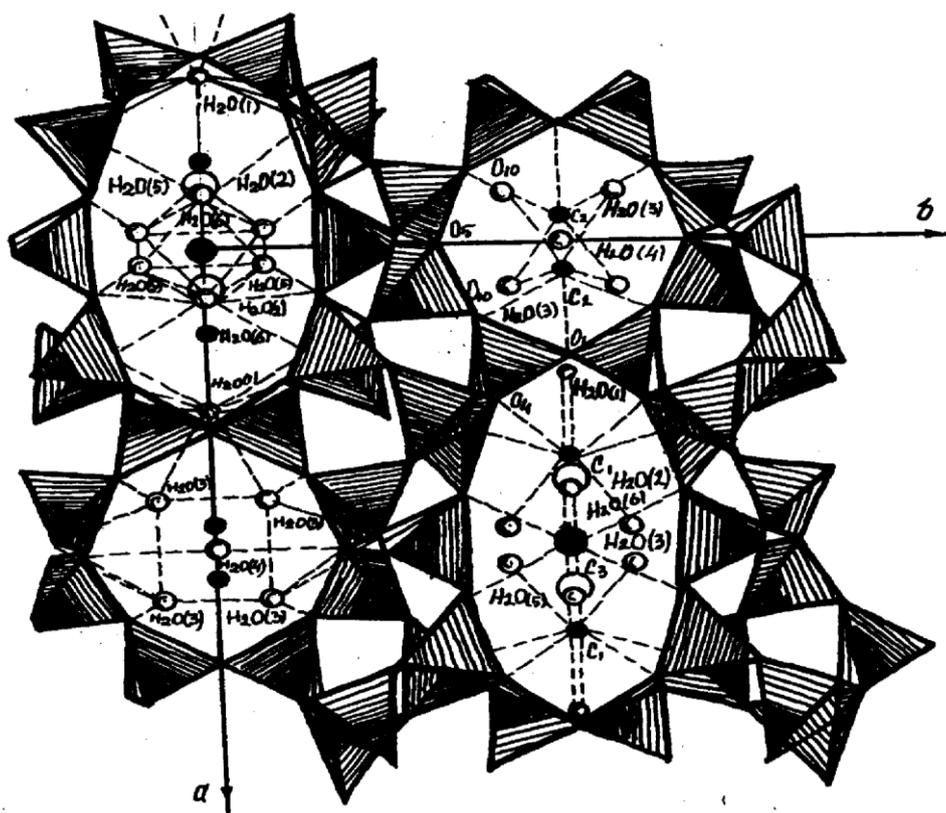


Рис. 3. Кристаллическая структура клиноптилолита

Экспериментальная часть. Исследована сорбция формальдегида из водных растворов модифицированными минеральными сорбентами.

Обработку минеральных сорбентов проводили растворами кислот и оснований с концентрацией 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 М, взятыми в соотношении минерал: модификатор – 1 : 4. Адсорбент с фракцией зерен менее 0,25 мм заливали раствором модификатора и нагревали при температуре 100°C в течение 6 часов [16], затем промывали дистиллированной водой до нейтральной среды, осадок высушивали при температуре 110°C до постоянной массы [17].

Для исследования сорбции формальдегида 0,5 г модифицированного сорбента заливали 25 мл раствора формальдегида, в диапазоне концентраций 0,03 – 0,33 моль/л, время сорбции 2 часа [18], затем раствор отфильтровывали. Для анализа отбирали пробу раствора в количестве 10 мл. Далее сульфитным методом [19] определяли содержание формальдегида в растворе после адсорбции. Относительная ошибка определения 1-3 %, чувствительность метода 10^{-3} моль/л.

Обсуждение результатов. Изотермы сорбции на природных минералах представлены на рис.4.

Полученные данные (рис.4) свидетельствуют о том, что изотермы адсорбции по данным [20] относятся к I, II и IV типам (Ленгмюровская адсорбция), концентрация и структура сорбентов являются определяющими факторами сорбции формальдегида на алюмосиликатах: в области низких концентраций (до 0,1 моль/л) сорбционная ёмкость K_t и N_t практически одинакова, но она гораздо выше, чем у A_t . При более высоких концентрациях поглощающая способность K_t в два раза превосходит ёмкость A_t и в 1,4 раза - N_t . Скорость адсорбции повышается на начальном участке изотермы до 0,1 моль/л и далее в интервале от 0,1 до 0,4 моль/л она снижается при возрастании ёмкости (a , мг/г).

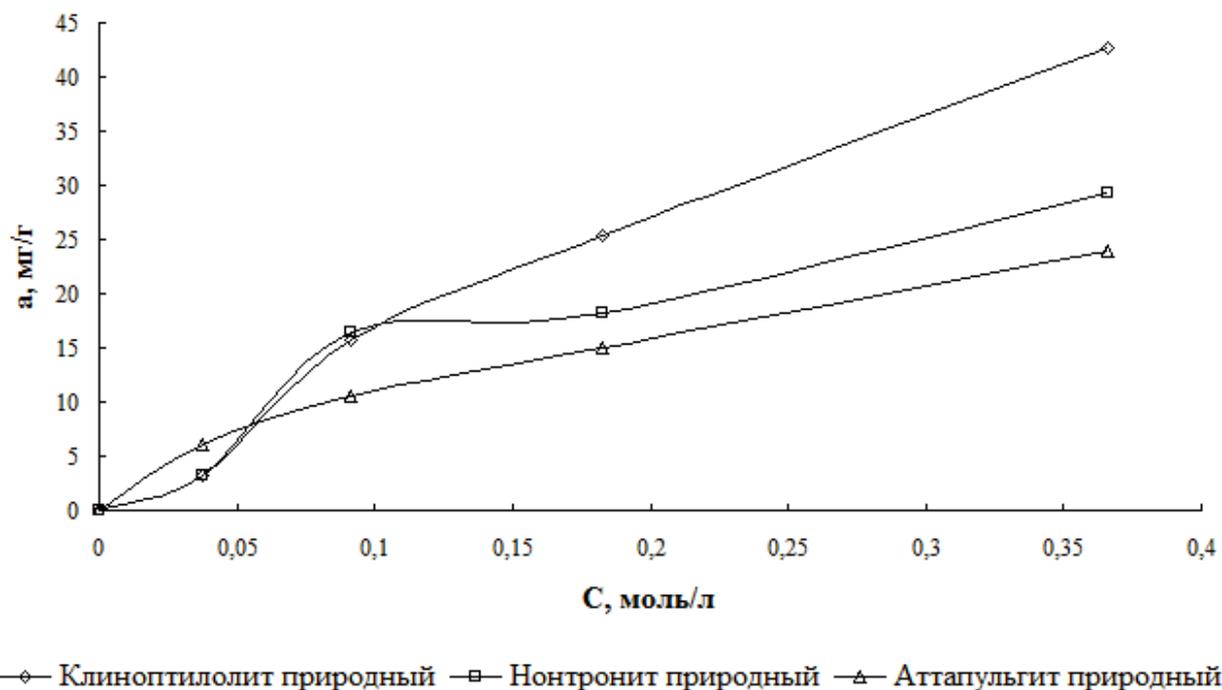


Рис. 4. Изотермы адсорбции формальдегида на природных сорбентах

Исследовано влияние модифицирующего агента - серной кислоты. Максимальная сорбция (a_{max}) алюмосиликатов определялась на основании данных, полученных в диапазоне концентраций от 0,5 до 3,0 моль/л. Установлена концентрация, при которой достигается a_{max} алюмосиликатов различной структуры: для жёсткой каркасной структуры Кт она равна 1,5 моль/л, для слоистой структуры Нт – 1,0 моль/л и для слоисто-ленточной структуры Ат - 0,5 моль/л (таблица).

Таблица

Величина a_{max} при сорбции формальдегида из водных растворов

Сорбент	Концентрация модификатора H_2SO_4 , моль/л					
	Без обработки	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Клиноптилолит	42	47	57	63	57	49
Нонтронит	29	38	68	57	38	31
Аттапульгит	24	39	35	34	34	33

Влияние кислотной модификации на сорбционную ёмкость алюмосиликатов возрастает в ряду: Кт (в 1,5 раза) → Ат (в 1,6 раза) → Нт (в 2,3 раза).

Изотермы сорбции формальдегида на модифицированных образцах представлены на рис. 5. Изотермы получены на образцах, обработанных кислотой наиболее эффективной концентрации для последующей сорбции формальдегида.

Форма изотерм сорбции, в сравнении с представленными на рис.4, несколько отличается и отражает изменения в механизме этого процесса. Сорбция формальдегида на модифицированном Ат, судя по начальному участку изотерм (рис.5), превосходит поглотительную способность Кт и в большей степени Нт, она количественно выше сорбционной ёмкости необработанных кислотой аналогов (рис.4). При $c \sim 0,06$ моль/л ёмкость трёх исследуемых алюмосиликатов выравнивается и достигает ~ 12 мг/г. Дальнейшее возрастание концентрации формальдегида существенно меняет адсорбционную картину: сорбционные возможности Нт резко увеличиваются до максимального значения сравнительно с ёмкостью других образцов (рис.5) Несколько меньше возрастает сорбция

формальдегида на клиноптилолите. Минимальный эффект отмечается на Ат. Форма изотермы для Ат свидетельствует о том, что в системе преобладают взаимодействия сорбат-сорбат.

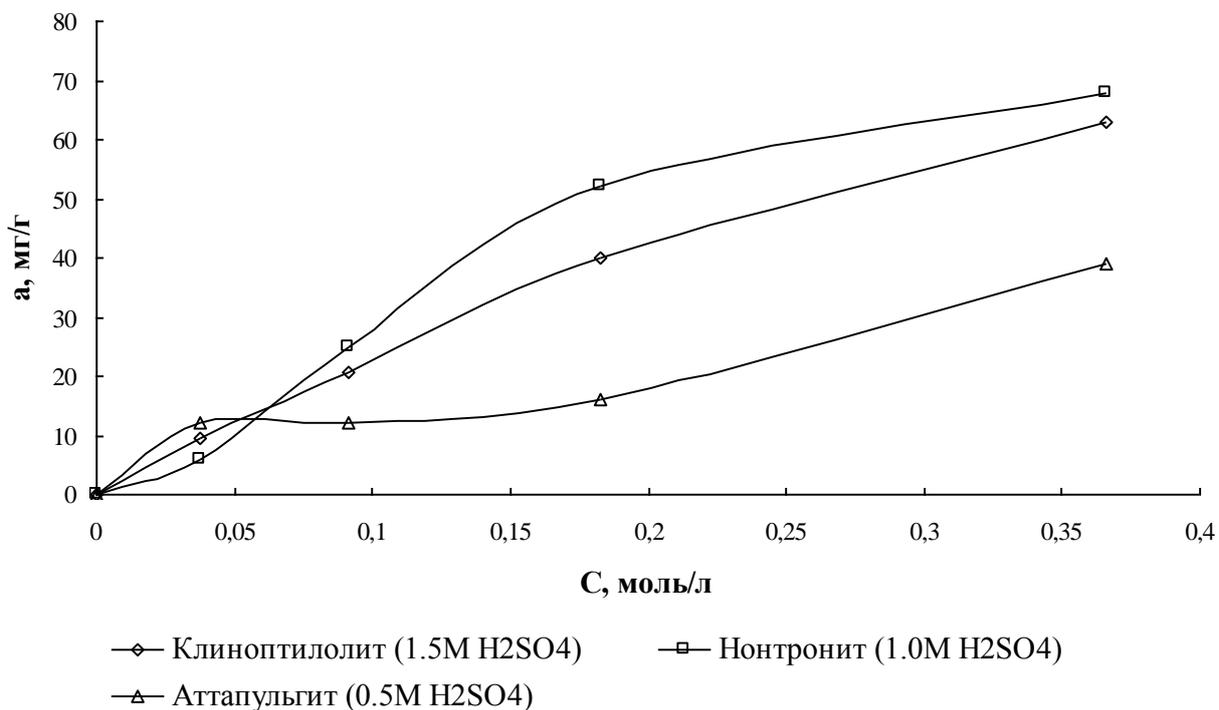


Рис. 5. Изотермы адсорбции формальдегида на модифицированных сорбентах

Известно [21], что в процессе кислотной активации клиноптилолита происходят структурные изменения, влияющие на катионную плотность каркаса и размеры входных окон каналов. Разрушение решетки не происходит, и её параметры сохраняются. Атомы алюминия в тетраэдрическом положении по данным Тарасевич [21] являются местом действия кислоты. Водородные формы цеолитов рассматриваются как твердые кристаллические алюминиево-кремневые поликислоты. Согласно литературным данным [22] при обработке минерала растворами минеральных кислот средних концентраций (до 4 моль-экв/л) в раствор извлекаются обменные ионы Na^+ и Ca^{2+} и октаэдрические катионы Al^{3+} , Fe^{3+} и Mg^{2+} , но кристаллическая структура алюмосиликатного каркаса не затрагивается. Значительно развивается поровое пространство, увеличивается удельная поверхность и объем пор, вероятно, это приводит к росту сорбционной способности исследуемых минералов.

Кислотная активация аттапульгита приводит к устранению примесей, изменяет состав минерала, способствует образованию более активных OH^- групп на его поверхности, увеличивает площадь поверхности и объем пор [23]. Также результатом кислотной активации может быть активизация значительных количеств силанольных групп (Si-OH) на поверхности аттапульгита [24]. В присутствии кислоты протоны (H^+) реагируют с октаэдрическими катионами, такими как Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} и выводят их в раствор. Под действием серной кислоты структурные каналы очищаются, в результате сорбционная способность аттапульгита возрастает [25].

Заключение. Определено значительное влияние структуры при выборе концентрации модифицирующего агента (раствор серной кислоты). Установлены концентрации раствора кислоты, используемой для модифицирования сорбентов и достижения максимальной сорбции формальдегида: для Нт – 1,0 моль/л, при этом ёмкость возрастает в 2,3 раза, модификация 1,5 М серной кислотой Кт и 0,5 М раствором Ат способствует росту сорбции в 1,5 и 1,6 раза соответственно. Следовательно, наибольшее влияние кислотная предобработка

оказывает на минералы слоистой структуры, затем на каркасные алюмосиликаты и еще в меньшей степени на минералы слоисто-ленточной структуры

Установлено, что кислотная модификация природных минералов различной структуры отражается на величине сорбционной емкости и на механизме сорбции формальдегида. Наиболее существенное возрастание сорбции происходит при концентрации формальдегида более 0.1 моль/л: Сорбция формальдегида при концентрации 0.37 моль/л возрастает в ряду: Ат – Кт – Нт с 32 до 68 мг/г

Следовательно, кислотная модификация значительно повышает способность алюмосиликатов к поглощению формальдегида и, вероятно, может иметь место при сорбции формальдегида из смол на водной основе и из формальдегидосодержащих сточных вод и в большей степени минералом слоистой структуры

Список литературы

1. Murray НН. Applied clay mineralogy today and tomorrow. Clay Miner. 1999; P. 34-39.
2. Ходосова Н.А., Бельчинская Л.И., Анисимов М.В. Использование природных сорбентов для получения экологичных изделий из древесины - Актуальные вопросы экологии : материалы VIII Межрегиональной конференции, 24 мая 2012 г. / Администрация городского округа город Воронеж ; Управление по охране окружающей среды департамента общественной безопасности. – Воронеж, 2012. С.158-162.
3. Акимова, М.К. Влияние кислотной и щелочной активации на сорбционно-структурные свойства глин: Автореферат дисс. . канд. хим. наук.- Фрунзе. 1973. – 24 с.
4. Арипов, Э.А. Кислотная обработка алюмосиликатов с целью улучшения их адсорбционных свойств / Э.А. Арипов, Н.Ф. Абдуллаев, Р.Г. Гафуров и др. // Кислотная переработка алюминийсодержащего сырья на глинозем.- Ташкент: ФАН, 1974. - С. 69-88.
5. Гончарук, В.В. Влияние термической и кислотной обработки на физико-химические свойства Сокирницкой цеолитной породы / В.В. Гончарук, А.Д. Биба, М.А. Бунтова, А.А. Насонович // Использование природных цеолитов Сокирницкого месторождения в народном хозяйстве: Сб. докл. Респ. науч.-практ. конф. - Черкассы, 1991. С. 26-57.
6. Хорохордина Е.А. Сравнительная характеристика методик контроля свободных фенолов в строительных полимерах / Хорохордина Е.А., Чан Х.Д., Рудаков О.Б. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2015. № 1 (37). С. 124-130.
7. L. J. Michot, I. Bihannic, S. Maddi, S. S. Funari, C. Baravian, P. Levitz and P. Davidson, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, **103**, 16101-16104.
8. S. Sinha Ray and M. Okamoto, Progress in polymer science, 2003, 28, 1539-1641.
9. E. Tombacz and M. Szekeres, Applied Clay Science, 2004, 27, 75-94.
10. Bradley W.F. The structural scheme of attapulgite. American Mineralogist, 25, P. 405-410.
11. Челищев, Н.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. / Н.Ф. Челищев, Б.Г. Беренштейн, В.Ф. Володин. – М.: Недра, 1987. 176 с.
12. Грим, Р.Е. Минералогия глин. – М.: Изд-во ин. лит-ры., 1959. 452 с.
13. Сендеров, Э.Э. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе / Э.Э. Сендеров, Н.И. Хитаров. – М.: Наука, 1970.
14. Sua´rez-Barrios M et al. Acid activation of a palygorskite with HCl: Development of physico-chemical, textural and surface properties. - Sua´rez-Barrios M, Flores-González L.V., Vicente-Rodríguez M.A. (1995) Applied Clay Science, 10, P. 247-258.
15. Rodrí´guez M.A. et al. Comparative FT-IR study of the removal of octahedral cations and structural modifications during acid treatment of several silicates. - Rodrí´guez M.A., Suarez M., Munoz M.A. & Gonzalez J. de Dios. (1996) Spectrochimica Acta; Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 52, P. 1685-1694.

16. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975. 350 с.
17. Бондаренко, А. В. Адсорбционные свойства активированного монтмориллонита: Дисс. канд. хим. наук : 02.00.04 / А. В. Бондаренко. Липецк, 2002. 174 с.
18. Бельчинская, Л. И. Комплексная природозащитная технология использования лаковых композиций и смол в деревообрабатывающей промышленности: Дис. д-ра техн. наук: 11.00.11 / Л. И. Бельчинская. Екатеринбург, 1996. 530 с.
19. Арипов Э.А. Природные минеральные сорбенты, их активирование и модифицирование, Ташкент: Фан, 1970. С. 56-62.
20. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. - Л., Химия, 1982, 168 с.
21. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев: Наукова думка, 1981. 207 с.
22. Стрельникова, О. Ю. Адсорбция формальдегида из водного раствора на природных и модифицированных минеральных сорбентах / О. Ю. Стрельникова, Л. И. Бельчинская, Н. А. Ходосова // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2011. № 15 (110). Вып. 16. С. 103-108.
23. Myriam M. et al. Structural and textural modifications of palygorskite and sepiolite under acid treatment. - Myriam M., Sua´rez M. & Marti´n-Pozas J.M. (1998) Clays and Clay Minerals, 46, P. 225-231.
24. Gala´n E. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. (1996) Clay Minerals, 31.
25. Oliveira, R. et al. The increase of surface area of a Brazilian palygorskite clay activated with sulfuric acid solutions using a factorial design / Oliveira, R. N.I, Acchar, W.; Soares, G. D. A.; Barreto, L. S // Mat. Res. 2013. Vol.16 № 4.

Ходосова Наталия Анатольевна - к.х.н, доцент кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: nhodosova@mail.ru Тел. 89155846434

Бельчинская Лариса Ивановна – д.т.н., проф., заведующая кафедрой химии Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. E-mail: chem@vglta.vrn.ru Тел. 8(473)2-53-76-59

Фролов Вадим Юрьевич – студент 2 курса строительного факультета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: frol656@ya.ru

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

УДК 539.319: 539.219.2

А.А. Трещёв, А.В. Морозова

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТИПА КИРША ДЛЯ ПЛАСТИНЫ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА

Произведена постановка задачи типа Кирша для одноосно сжатой пластины конечных размеров с отверстием из ортотропного разнородного материала, адаптированы определяющие соотношения, представленные в монографии А.А. Трещёва [1] для данного класса задач, приведён вывод разрешающих уравнений. На основе построенной модели с использованием метода конечных элементов решена конкретная задача.

Ключевые слова: задача Кирша, одноосное сжатие, плоское напряжение, ортотропный разнородный материал, концентрация напряжений, перфорированная пластина

А.А. Treshchev, A.V. Morozova

THE SOLUTION OF THE TASK LIKE THE KIRSCH'S PROBLEM FOR A PLATE MADE OF ANISOTROPIC MATERIAL WITH MULTIMODULUS BEHAVIOR

The solution of the task like the Kirsch's problem for the plate of eventual sizes with hole made of orthotropic material with multimodulus behavior is raising, the defining relations submitted in the monograph of A.A. Treshchov [1] are adapted for this class of problems. The article contains the conclusion of resolving equations. The concrete problem is decided on the basis of the built model with the use of method of finite elements.

Keywords: Kirsch's problem, monoaxial stretching, flat tension, ortotropic material with multimodulus behavior, concentration of tension, perforated plate.

Введение. Концентрация напряжений является одним из основных факторов, влияющих на прочность перфорированных элементов, поэтому исследование влияния различных концентраторов на напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов из анизотропных разнородных материалов является одной из актуальных задач механики деформированного твёрдого тела.

Теоретическая часть. Рассматривается равновесие тонкой физически нелинейной пластины с отверстием радиусом r и толщиной h в направлении оси X_3 . Она имеет конечные размеры $2a$ и $2b$ по направлению основных осей декартовой системы координат X_1, X_2 и нагружена в своей плоскости сжимающей равномерно распределённой по толщине нагрузкой p_x , которая приложена к внешнему контуру Γ_2 в соответствии с рисунком 1. Нагружение считается простым при активной деформации, поэтому для описания свойств материала принимаются нелинейные уравнения состояния, представленные через параметры нормированного пространства.

Здесь все функции, описывающие напряженно-деформированное состояние, зависят только от координат X_1 и X_2 . Вектор перемещений имеет при этом две основные ненулевые составляющие $u_1 = u$ и $u_2 = v$ в направлении осей X_1 и X_2 , соответственно. Перемещения $u_3 = w$ в направлении оси X_3 есть, но они имеют второстепенное значение и определяются после решения краевой задачи тривиально: $w = e_{33}x_3$. При этом деформации e_{33} не зависят от координаты X_3 и настолько малы, что в дальнейшем рассматриваться не будут.

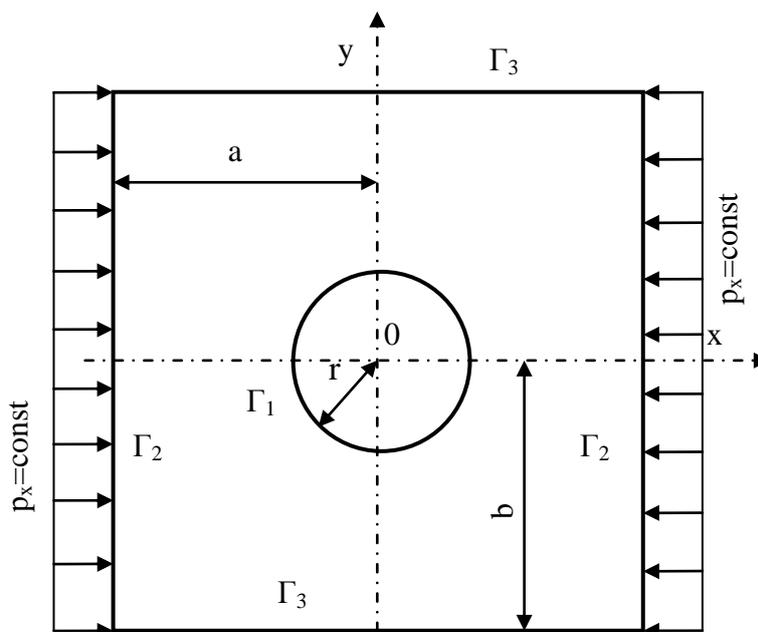


Рис. 1. Расчетная схема пластины

В рамках теории механики сплошных сред принимаются уравнения связи между основными компонентами тензора малой деформации и перемещениями в условиях плоского напряженного состояния для пластинки в виде:

$$e_{11} = u_{,1}; \quad e_{22} = u_{,2}; \quad \gamma_{12} = u_{,2} + u_{,1}. \quad (1)$$

По всей толщине пластинки и на обеих её плоских поверхностях имеем равенство:

$$\sigma_{33} = \tau_{13} = \tau_{23} = 0 \quad (2)$$

Остальные компоненты тензора напряжений σ_{ij} ($i, j = 1, 2$) не зависят от координаты X_3 и имеют постоянное по толщине h ненулевое значение.

Уравнения связи между компонентами тензора малых деформаций и напряжениями в условиях плоского напряженного состояния с учетом равенства (2) в форме метода переменных «параметров упругости» Биргера приводятся к виду [2]:

$$\{e\} = [C]\{\sigma\}, \quad (3)$$

где $\{e\} = \{e_{11}e_{22}\gamma_{12}\}^T$ – вектор-столбец ненулевых деформаций; $\{\sigma\} = \{\sigma_{11}\sigma_{22}\tau_{12}\}^T$ – вектор-столбец ненулевых напряжений; $[C]$ – матрица податливостей ортотропного разносопротивляющегося материала, зависящих от вида напряженного состояния и от достигнутого уровня напряжений, компоненты которой определяются через тензорные параметры:

$$C_{kkkk} = A_{kkkk} + B_{kkkk} \cdot \alpha_{kk} \text{ (здесь и далее по индексам не суммировать);}$$

$$C_{ijij} = A_{ijij} + B_{ijij} \cdot (\alpha_{ii} + \alpha_{jj}) \text{ при } i \neq j; \quad C_{ijij} = A_{ijij} + B_{ijij} \cdot \sqrt{2}\alpha_{ij} \text{ при } i = j,$$

где A_{ijklm} , B_{ijklm} – константы, определяемые из экспериментов по деформированию образцов материала [1]; α_{ij} – нормированные напряжения, $\alpha_{ij} = \sigma_{ij} / S = \sigma_{ij} / \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}}$ [1].

Независимых констант будет 8 и они запишутся так [1]:

$$\begin{aligned}
 A_{1111} &= 0,5 \left(1/E_1^+ + 1/E_1^- \right); B_{1111} = 0,5 \left(1/E_1^+ - 1/E_1^- \right); A_{2222} = 0,5 \left(1/E_2^+ + 1/E_2^- \right); \\
 B_{2222} &= 0,5 \left(1/E_2^+ - 1/E_2^- \right); A_{1122} = -0,5 \left(v_{12}^+/E_1^+ + v_{12}^-/E_2^- \right); \\
 B_{1122} &= -0,5 \left(v_{12}^+/E_1^+ - v_{12}^-/E_2^- \right); A_{1212} = \left(1/E_{12}^+ + 1/E_{12}^- \right) - \frac{1}{4} \left(\left[1/E_1^+ + 1/E_2^+ + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + 1/E_1^- + 1/E_2^- \right] - 2 \left[v_{21}^+/E_1^+ + v_{21}^-/E_1^- \right] \right); \\
 B_{1212} &= \sqrt{2} \left(1/E_{12}^+ - 1/E_{12}^- \right) - 0,125 \cdot \sqrt{2} \left(\left[1/E_1^+ + 1/E_2^+ - 1/E_1^- - 1/E_2^- \right] - \right. \\
 &\quad \left. - 4 \left(v_{21}^+/E_1^+ - v_{21}^-/E_1^- \right) \right); v_{ij}^+/E_j^+ = v_{ji}^+/E_i^+; v_{ij}^-/E_j^- = v_{ji}^-/E_i^- \text{ здесь } (i, j=1,2),
 \end{aligned}$$

где E_j^\pm – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главных осей анизотропии; v_{ij}^\pm – коэффициенты поперечной деформации при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главных осей анизотропии; E_{ij}^\pm – модули упругости при сжатии и растяжении в направлениях под углом 45° к соответствующим главным осям анизотропии.

Для плоского напряженного состояния в ортотропном теле через каждую точку проходят две взаимно перпендикулярные плоскости упругой симметрии, в силу чего на основании закона упругости для однородного упругого разнсопротивляющегося материала запишем:

$$\begin{aligned}
 e_{11} &= (A_{1111} + B_{1111} \cdot \alpha_{11}) \cdot \sigma_{11} + [A_{1122} + B_{1122} \cdot (\alpha_{11} + \alpha_{22})] \cdot \sigma_{22}; \\
 e_{22} &= [A_{1122} + B_{1122} \cdot (\alpha_{11} + \alpha_{22})] \cdot \sigma_{11} + (A_{2222} + B_{2222} \cdot \alpha_{22}) \cdot \sigma_{22}; \\
 e_{12} &= (A_{1212} + B_{1212} \cdot \sqrt{2} \cdot \alpha_{12}) \cdot \tau_{12}.
 \end{aligned}$$

Обращая уравнения (3) с учетом геометрических соотношений (1) получим зависимость между напряжениями и деформациями при плоском напряженном состоянии:

$$\{\sigma\} = [D(\sigma)]\{e\}, \quad (4)$$

где $[D(\sigma)] = [C]^{-1}$ – матрица жесткостей материала, зависящая от вида напряженного состояния и степени нагружения

Принимая за основу те или иные физические соотношения, мы не изменяем уравнения статико-геометрической природы [1]. Основные положения и зависимости классической теории упругости остаются справедливыми, поэтому уравнения равновесия для данной задачи при условном отсутствии объемных сил представим следующим образом [3]:

$$\sigma_{11,1} + \tau_{12,2} = 0; \quad \tau_{12,1} + \sigma_{22,2} = 0. \quad (5)$$

При статических граничных условиях на контуре пластинки имеем:

$$\begin{aligned}
 p_{1v} &= \sigma_{11} \cos(vx_1) + \tau_{12} \cos(vx_2); \\
 p_{2v} &= \sigma_{22} \cos(vx_2) + \tau_{12} \cos(vx_1),
 \end{aligned} \quad (6)$$

где $\cos(vx_k)$ – косинусы углов между осями x_k и внешней нормалью к площадке, на которую действуют усилия с проекциями p_{kv} , ($k=1,2$).

Сохраняется одно из общих уравнений неразрывности деформаций Сен-Венана:

$$e_{11,22} + e_{22,11} = \gamma_{12,12} \quad (7)$$

Выражения (1), (5), (3) содержат восемь уравнений с восьмью неизвестными, которые можно решить по методу сил или по методу перемещений. Для метода сил заменив в зависимостях (7) деформации через напряжения (3) в сочетании с уравнениями равновесия (5) получим систему трех уравнений, имеющую три неизвестных напряжения. Таким образом придём к третьему уравнению из разрешающей системы:

$$C_{1212} \cdot \tau_{12,12} + C_{1212,12} \cdot \tau_{12} + C_{1212,2} \cdot \tau_{12,1} + C_{1212,1} \cdot \tau_{12,2} = (C_{1111,22} + C_{1122,11}) \sigma_{11} + (C_{1122,22} + C_{2222,11}) \sigma_{22} + C_{1111} \cdot \sigma_{11,22} + C_{1122} (\sigma_{11,11} + \sigma_{22,22}) + C_{2222} \cdot \sigma_{22,11} + 2(C_{1111,2} \cdot \sigma_{11,2} + C_{1122,2} \cdot \sigma_{22,2} + C_{1122,1} \cdot \sigma_{11,1} + C_{2222,1} \cdot \sigma_{22,1}). \quad (8)$$

Для метода перемещений в два уравнения равновесия (5) подставляем выражения напряжений (4), в которых сразу заменяем деформации согласно зависимостям (1). В результате этих преобразования получаем два уравнения с двумя неизвестными перемещениями [4]:

$$\begin{aligned} D_{11}u_{,11} + D_{11,1}u_{,1} + D_{12}v_{,12} + D_{12,1}v_{,2} + D_{33}(u_{,22} + v_{,12}) + D_{33,2}(u_{,2} + v_{,1}) &= 0 \\ D_{22}v_{,22} + D_{22,2}v_{,2} + D_{12}u_{,12} + D_{12,2}u_{,1} + D_{33}(u_{,12} + v_{,22}) + D_{33,1}(u_{,2} + v_{,1}) &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где D_{ij} – компоненты матрицы жесткостей материала.

Для решения задачи принимается плоская конечно-элементная модель с двумя степенями свободы в узле. Вся область, ограниченная контуром пластинки разбивается треугольными симплекс конечными элементами [4]. В месте ожидаемой концентрации напряжений, т.е. около отверстия сетка конечных элементов сгущается. Перемещения в произвольной точке элемента $u(x_1, x_2)$ и $v(x_1, x_2)$ представляются через перемещения узлов элемента $\{U\}$ следующим образом:

$$\{u \ v\}^T = [N]\{U\}, \quad (10)$$

где $\{U\} = \{u_i \ v_i \ u_j \ v_j \ u_k \ v_k\}^T$; i, j, k – номера узлов конечного элемента.

Поля перемещений в пределах выбранного в задаче треугольного элемента определяются с помощью интерполяционного полинома первой степени [5]: $u = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 x_2$; $v = \alpha_4 + \alpha_5 x_1 + \alpha_6 x_2$. Функции формы $[N]$ принимаются в следующем виде:

$$[N] = \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_k & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_k \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где $N_i = (a_i + b_i x_1 + c_i x_2)/(2\Delta)$, ($i \rightarrow j \rightarrow k$), Δ – площадь треугольного элемента; $a_i = x_{1j}x_{2k} - x_{1k}x_{2j}$; $b_i = x_{1i} - x_{2k}$; $c_i = x_{1k} - x_{2j}$.

Пользуясь уравнениями (1) и продифференцировав матрицу $[N]$, получим зависимости между деформациями и перемещениями узлов элемента:

$$\{e\} = [B]\{U\}, \quad (12)$$

$$\text{где } [B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix}; \quad 2\Delta = \det \begin{vmatrix} 1 & x_{1i} & x_{2i} \\ 1 & x_{1j} & x_{2j} \\ 1 & x_{1k} & x_{2k} \end{vmatrix}.$$

Уравнение связи между напряжениями и деформациями в матричной форме примем в виде (4). Общая формулировка принятого МКЭ основана на вариационном принципе возможных перемещений, сформулированном Лагранжем. Потенциальная энергия тела Π есть разность внутренней энергии деформации W и работы внешних сил A : $\Pi = W - A$. Энергия деформации элемента объема dV определяется таким образом: $dW = \{e\}^T \{\sigma\} / 2$. Без учета массовых силовых компонентов для выражения работы внешних сосредоточенных и поверхностных сил получаем:

$$A = \{U\}^T \{P\} + \int_S \{U\}^T [N]^T \{p\} dS, \quad (13)$$

где $\{p\}$ – вектор внешней поверхностной нагрузки в проекциях на декартовы оси координат; S – контур внешней границы конечного элемента.

С учетом вышеприведенного потенциальная энергия конечного элемента приводится к виду:

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \{e\}^T \{\sigma\} dV - \{U\}^T \{P\} - \int_S \{U\}^T [N]^T \{p\} dS \quad (14)$$

а с учетом формул (13) и (5) к виду:

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \{U\}^T [B]^T [D(\sigma)] [B] \{U\} dV - \{U\}^T \{P\} - \int_S \{U\}^T [N]^T \{p\} dS. \quad (15)$$

После минимизации функционала (15) по вектору $\{U\}$ и приведения распределенной поверхностной нагрузки к сосредоточенным узловым силам, для плоского напряженного состояния конечного элемента с толщиной h имеем общее уравнение метода конечных элементов:

$$[K]\{U\} = \{P\}, \quad (16)$$

где $[K] = [B]^T [D(\sigma)] [B] h \Delta$ – матрица жесткости конечного элемента.

Сложение матриц жесткости отдельных конечных элементов приводит к получению глобальной матрицы жесткости. Векторы $\{U\}$, $\{P\}$ (16) рассматриваются как вектор неизвестных узловых перемещений и вектор внешней узловой нагрузки на пластину.

Решение системы алгебраических уравнений рассматриваемой задачи с учетом полученной глобальной матрицы жесткости и соответствующих граничных условий производится методом Гаусса. Исходная нелинейная задача решается методом «переменных параметров упругости» в сочетании с пошаговыми нагружениями.

На каждом шаге нагружения параметры НДС твердого тела уточняются итерационно с проверкой сходимости вычислительного процесса. Сходимость оценивалась по величинам узловых перемещений смежных этапов приближения:

$$\left| (\{U\}^k - \{U\}^{k-1}) / \{U\}^{k-1} \right| < \delta_u \quad (17)$$

где k – номер итерации; δ_u – устанавливаемая точность $\delta_u = 0,001$.

Решение конкретной задачи. В качестве объекта расчета выбрана квадратная пластина размером 120x120 мм, толщиной $h = 20$ мм с круговым отверстием диаметром 40 мм, нагруженная равномерно распределенной сжимающей нагрузкой интенсивностью P (см. рисунок 1) и выполненная из полимера ПЗ6-50 с характеристиками, представленными в таблице.

Таблица

Константы материала ПЗ6-50

ПЗ6-50 [5]	E_1^+	E_1^-	E_2^+	E_2^-	ν_{12}^+	ν_{12}^-	E_{12}^+	E_{12}^-	ν_{21}^+	ν_{21}^-	G_{12}
	10,3 ГПа	11,77 ГПа	17,6 ГПа	18,54 ГПа	0,188	0,215	5,25 ГПа	5,47 ГПа	0,110	0,136	3,14 ГПа

Принимая во внимание симметричность задачи, в расчете рассматриваем четвертую часть пластины, а отброшенные части заменяем соответствующими граничными условиями симметрии. Расчетная схема задачи с разбиением на конечные элементы приведена на рисунке 2 (числами обозначена нумерация узлов). Количество треугольных конечных элементов составило 1440, число узлов – 778.

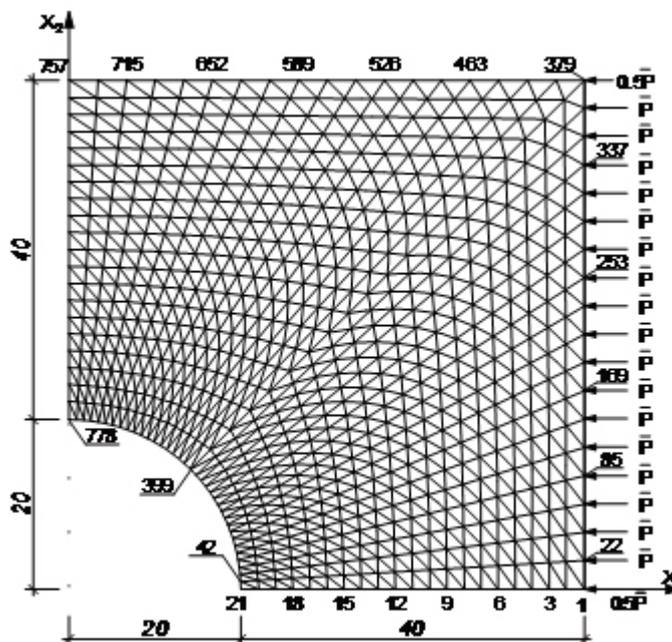
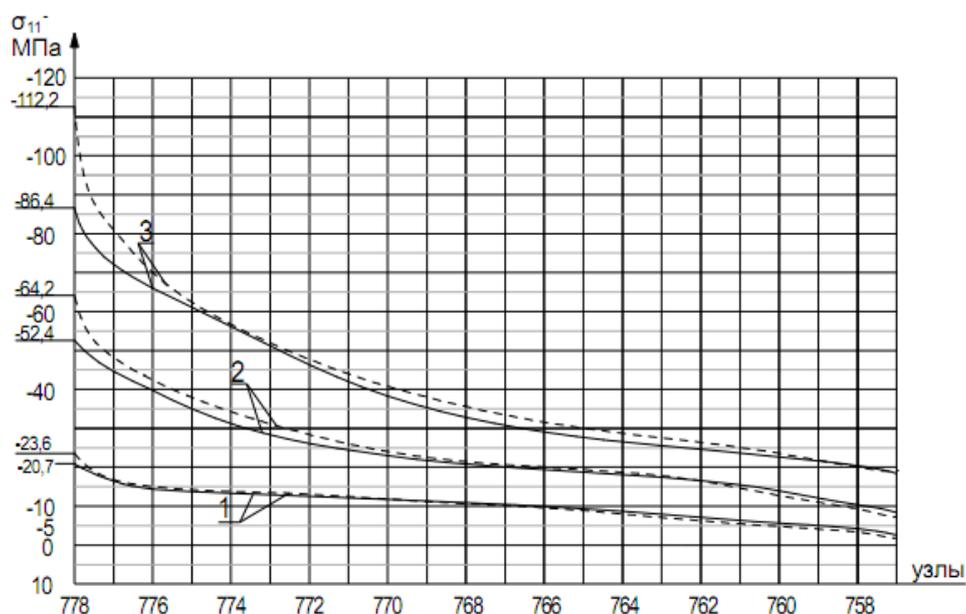
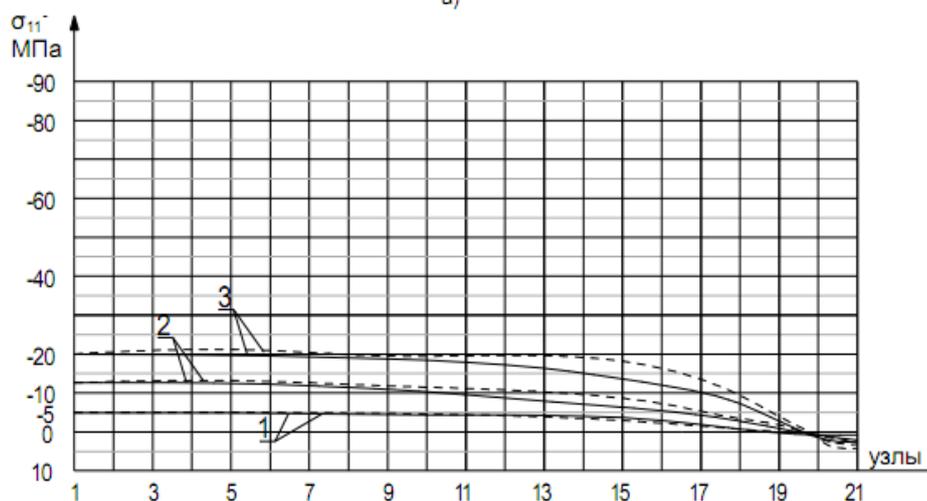


Рис. 2. Расчетная схема задачи с сеткой конечных элементов

Для анализа результатов были приняты три характерных уровня нагрузки с интенсивностью $P_1 = -5$ МПа, $P_2 = -12,5$ МПа, $P_3 = -20$ МПа. Такой выбор основывался на том, чтобы оценить влияние усложненных механических свойств трехармированного тканного полимера ПЗ6-50 на разных уровнях их проявления. Интенсивности нагрузки P_1 на рисунке 3 соответствуют кривые, обозначенные цифрой 1, P_2 – цифрой 2, P_3 – цифрой 3. Распределение напряжений, представленное на рисунке 3 сплошными кривыми соответствует решению, полученному при обнулении нелинейных членов математической модели, разработанной в данной работе, что соответствует классическому решению для однородных ортотропных материалов. Штриховые кривые – решения, полученные при сжатии пластины на основе разработанной в данной работе математической модели, учитывающей разнотропность материала и его дилатацию.



а)



б)

Рис. 3. Нормальные напряжения вдоль X_1 при сжатии: а) по узлам 757-778; б) по узлам 1-21.

Обсуждение результатов. На рисунках 3а и 3б видно, что на начальных этапах нагружения интенсивностью P_1 при деформировании слабо проявляются свойства разносопротивляемости полимера П36-50. При этом уровне нагрузки напряжения σ_{11} и σ_{22} слабо отличаются от данных классической теории для ортотропных материалов. Максимальная разница при уровне нагрузки P_1 в значениях напряжений σ_{11} по узлам 757-778 не превышает 14,0 %, при P_2 – 22,5 %, при P_3 – 29,9 %. На узлах 1-21 разница в напряжениях при нагружении силой P_1 более заметна при приближении к элементу 21, находящемуся у отверстия. Максимальная разница напряжений составит 10,2 %. По мере увеличения действующей нагрузки влияние нелинейной разносопротивляемости полимера на распределение напряжений прослеживается более явно и становится существенным.

Около отверстия, непосредственно в зоне концентрации напряжений отличие напряжений σ_{11} при сжатии от данных классической теории достигает 11,2- 31,8 % при значении нагрузки P_2 , а при нагрузке P_3 – 13,9 -37,6 %. Разница напряжений σ_{22} в аналогичной зоне может достигать 43,4 %, но величины этих напряжений существенно ниже σ_{11} (в 2 - 2,8 раза).

Результаты решения задачи типа Кирша без учета разнсопротивляемости материала, полученные с помощью разработанной в данной работе математической модели (при обнулении нелинейных членов), и решение, полученное для однородного ортотропного материала с помощью конечно-элементного пакета ANSYS 16.0, неплохо согласуются между собой. Разница в полученных результатах для σ_{11} в зоне концентрации не превышает 6,4 %, что объясняется небольшим отличием применяемых сеток конечных элементов. Данные сравнения подтверждают реальность и физическую непротиворечивость построенной модели.

Заключение. Из приведённых результатов сделан вывод о том, что неучет явления разнсопротивляемости приводит к существенным погрешностям при вычислении основных характеристик напряженно–деформированного состояния пластины, особенно в районе концентрации напряжений.

Список литературы

1. Трещёв А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография. М:РААСН;Тула: ТулГУ, 2008. 264 с.
2. Петров В.В., Кривошеин И.В. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала: учеб. пособие. М: Издательство Ассоциации строительных Вузов, 2009. 208 с.
3. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости. М.:Наука, 1982. 320 с.
4. Неделин А. В., Трещёв А.А. Концентрация напряжений при плоском напряженном состоянии для дилатирующего материала // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии: сборник материалов Международной конференции. Тула:ТулГУ. 2001.С.105–106
5. Розе А.В., Жигун И.Г., Душин М.Н. Трехармированные тканые материалы // Механика полимеров, 1970.№3.С. 471–476.

Трещёв Александр Анатольевич - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ССМиК Тульского государственного университета. Email:taa58@yandex.ru. Тел.:(84872) 25-71-08

Морозова Анастасия Викторовна - аспирант кафедры ССМиК Тульского государственного университета. Email:rediso4kkka@mail.ru. Тел.:+79207540922

УДК 691.33:620.3.002.35

О.В. Артамонова, Г.С. Славчева, М.А. Шведова

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНЫМИ НАНОДОБАВКАМИ

Изучены кинетика гидратации и микроструктура цементного камня, модифицированного комплексными нанодобавками на основе SiO_2 в сочетании с суперпластификаторами с различными структурными фрагментами полимерной цепи. Установлено, что комплексные нанодобавки ускоряют процессы гидратации, при этом существенно не изменяют структуру модифицированного цементного камня.

Ключевые слова: комплексные добавки, модифицирование цементного камня, нано размерные частицы SiO_2 , суперпластификатор

O.V. Artamonova, G.S. Slavcheva, M.A. Shvedova

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF CEMENT STONE MODIFIED COMPLEX NANO-ADDITIVE

The kinetics of cement hydration and microstructure stone complex modified nanoadditives based on SiO_2 in combination with various superplasticizers structural fragments of a polymer chain. Found that the complex of nanoadditive accelerates the hydration process thus does not significantly alter the structure of the modified cement paste.

Keywords: complex supplement, modification of cement stone, nano-sized particles of SiO_2 , superplasticizer

Введение. Одним из современных направлений получения высокопрочных цементных бетонов является модифицирование структуры связующих наночастицами различного состава и морфологии [1 – 3]. Среди применяемых в технологии цементных систем современных добавок особое место занимают две большие группы – активные минеральные добавки и добавки-пластификаторы. Многочисленные исследования добавок на основе современных суперпластификаторов (СП) отечественных и зарубежных ученых содержат противоречивые данные. Так, в работе [4] отмечают, что пластифицирующий эффект и замедление гидратации цемента в присутствии поликарбоксилатных добавок обусловлены электростатически-стерическим механизмом их действия, а не химическим взаимодействием с ионами Ca^{2+} , Na^+ , K^+ . Исследования проведенные в работах [5,6], напротив показывают, что молекулы поликарбоксилатов образуют метастабильные комплексы с ионами Ca^{2+} , что вызывает понижение основности образующихся гидросиликатных фаз, при взаимодействии с C_3A встраиваются в структуру формирующихся гидратов с образованием стабильных органо-минеральных фаз.

Анализ литературных данных, а также результатов собственных исследований (например, [1]) позволил установить, что при модифицировании цементного камня наиболее оптимальна комплексная добавка, содержащая родственные по кристаллохимическому строению неорганические наночастицы (например, SiO_2) и СП.

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование микроструктуры цементного камня модифицированного комплексными добавками на основе наноразмерных частиц кремнезема, стабилизированных суперпластификаторами с различными структурными фрагментами полимерной цепи.

Экспериментальная часть. Синтезировали комплексные нанодобавки (КД) с содержанием SiO_2 0,01 % от массы цемента и различными СП. Для этого использовали силикат натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) марки ХЧ (ГОСТ 50418–992), соляную кислоту марки ХЧ (ГОСТ 3118), дистиллированную воду (ГОСТ 6709), Sika[®] ViscoCrete[®] 20HE (система 1) на основе поликарбосилатных эфиров и Sikament – FF (система 2) на основе меламин сульфата.

На первом этапе КД получали методом обратного титрования исходного раствора силиката натрия соляной кислотой. При постоянном перемешивании коллоидные агрегаты SiO_2 стабилизировали раствором СП (система 1 – Sika[®] ViscoCrete[®] 20 HE; система 2 – Sikament – FF). Содержание СП составляло 0,2 % от массы цемента. Золь синтезировали при постоянной температуре 25 °С (более подробно методика изложена в работе [7]). Затем полученный золь оставляли созреть в течение 7 суток в термостате.

На втором этапе изучали кинетику гидратации и микроструктуру модифицированного цементного камня в сравнении с эталонной цементной системой без добавок (для ее изготовления использовали техническую воду). Модифицированные цементные системы получали путем тщательного перемешивания из портландцемента ЦЕМ I 42,5 (ГОСТ 31108-2003) и воды затворения с различными комплексными добавками; водоцементное соотношение составляло 0,33.

Кинетику гидратации и фазовый состав модифицированного цементного камня контролировали рентгенодифрактометрическим методом (CuK_α -излучение, $\lambda = 1,541788 \text{ \AA}$). Степень гидратации модифицированных систем рассчитывали по содержанию $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) путем сравнения их дифрактограмм с дифрактограммами образца из цементного клинкера [8]:

$$\text{СГ}(\text{C}_3\text{S}) = \left(1 - \frac{I_{\text{мод}}}{I_0}\right) 100\% .$$

Для оценки морфологии структуры цементного камня использовали сканирующий зондовый микроскоп JEOL JSM-7001F.

Обсуждение результатов. Согласно данным рентгенофазового анализа для всех модифицированных цементных систем характерна ускоренная гидратация (табл.). При этом для системы 1 уже через 3 суток достигается максимальная степень гидратации цемента, которая оказывается в три раза выше, чем в эталонной системе в аналогичный период твердения. В системе 2, по сравнению с эталоном (системой 0), зафиксировано повышение степени гидратации цемента через 3 сут твердения на 40 %, а через 28 сут – на 10 %.

Таблица

Результаты зависимости степени гидратации от времени и вводимой комплексной добавки НРЧ – СП – В (В/Ц = 0,33)

№ системы	Прекурсоры системы, суперпластификатор	Степень гидратации, % (по C_3S)				
		1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
0	H_2O	21	35	65	58	75
1	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HCl, Sika [®] ViscoCrete [®] 20HE	76	90	92	93	94
2	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HCl, Sikament – FF	41	58	75	79	85

Таким образом, при введении комплексных модификаторов процесс гидратации может быть ускорен в 5-7 раз, при этом существенное влияние на кинетику процесса оказывает вид СП в составе модификатора. Наибольшее ускорение процесса наблюдается при использовании суперпластификатора на основе поликарбоксилатных эфиров (Sika® ViscoCrete® 20HE).

По данным СЭМ установлено, что на микроуровне (рис.1) структура эталонной и модифицированных систем практически не отличается. При этом в модифицированных системах отмечается уменьшение содержания остаточных зерен цемента, что соответствует значениям степени гидратации цемента в данных системах.

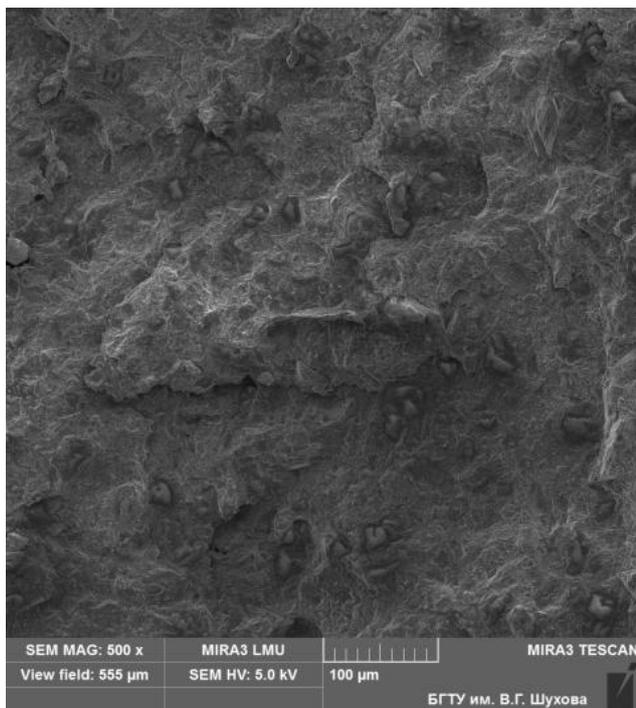
На ультрамикроуровне структуры (рис.2) данные СЭМ позволяют заключить, что морфология частиц немодифицированного цементного камня (рис. 2а) и модифицированной системы 1 (рис.2б) является подобной. В сформировавшейся структуре цементного камня систем 0 (эталон) и 1 (СП - Sika® ViscoCrete® 20HE) содержится преимущественно гидросиликатный гель аморфно-кристаллической и дендритоподобной морфологии пластинчатые кристаллы, портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ не фиксируются. В модифицированной системе 2 (СП - Sikament – FF), напротив, наблюдается присутствие значительного количества портландита (рис. 2в).

На наноуровне структуры (рис.3) наблюдается аналогичное предыдущим структурным уровням подобие структур в эталонной системе и модифицированной системе 1 по форме и размеру гелевидных агломератов и, соответственно, по размеру гелевых пор. При этом в системе 1 также отмечается формирование отдельных сростков волокнисто-игольчатых кристаллов. В системе 2 гидросиликатный гель характеризуется отсутствием выраженных агломератов и кристаллических сростков.

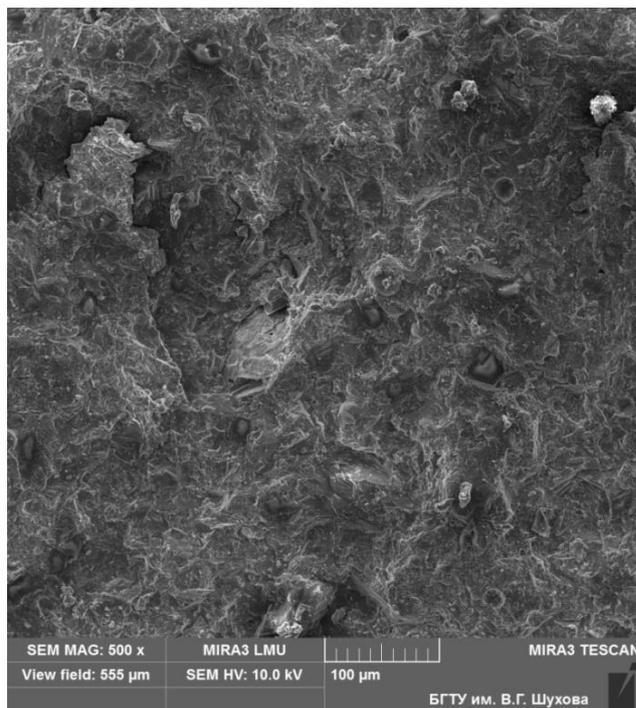
Заключение.

1. Модифицирование структуры цементного камня комплексными добавками на основе наноразмерных частиц кремнезема, стабилизированных суперпластификаторами с различными структурными фрагментами полимерной цепи, позволяет ускорить процесс гидратации в 5-7 раз.

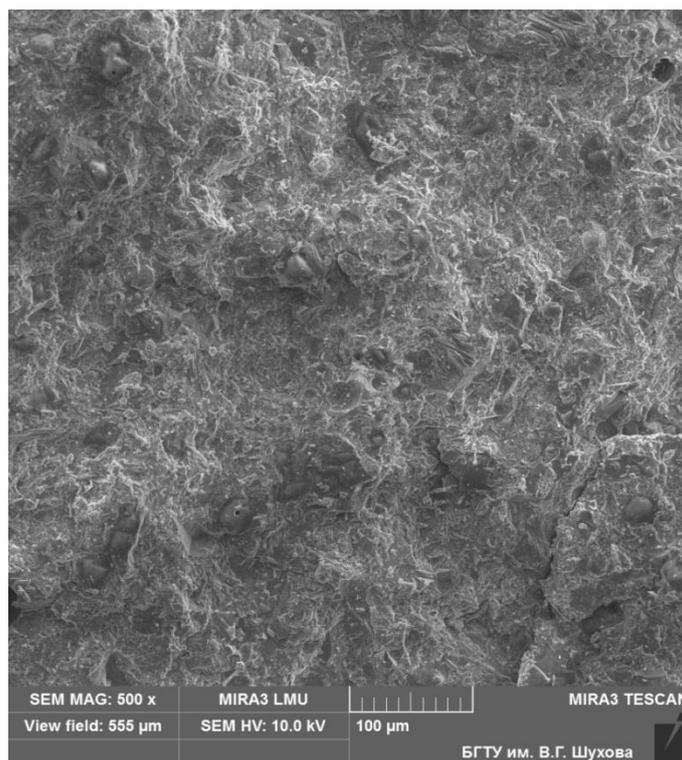
2. С точки зрения влияния на кинетику процесса и структуру цементного камня наилучший положительный эффект достигается при использовании в составе модификатора суперпластификатора на основе поликарбоксилатных эфиров. При его применении через 3 суток степень гидратации цемента оказывается в три раза выше, чем в немодифицированной системе, при применении СП на основе меламина сульфата повышение степени гидратации цемента через 3 суток твердения составляет 40 %. Использование СП на основе меламина сульфата также приводит к негативному эффекту образования значительного количества портландита, который является наименее прочным и коррозионностойким минералом цементного камня.



а) система 0

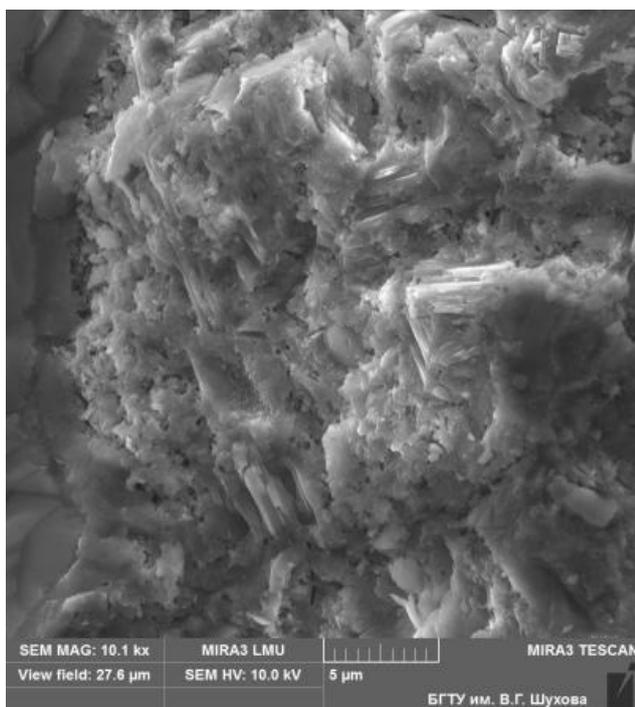


б) система 1

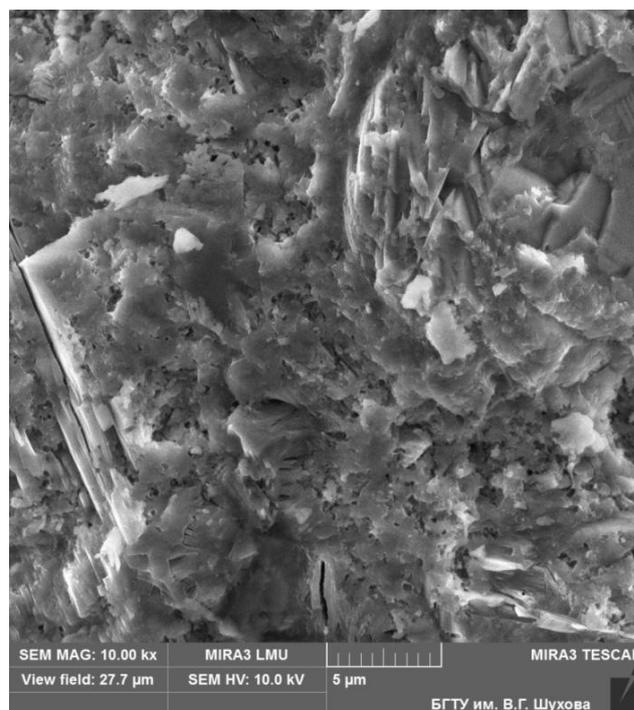


в) система 2

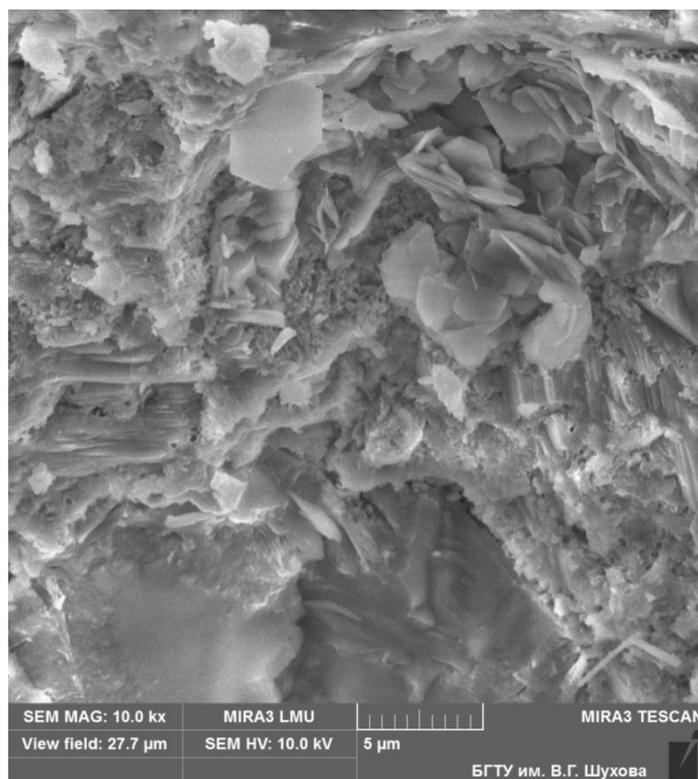
Рис. 1. Типичные фрагменты структуры цементных систем по данным сканирующей электронной микроскопии (×500)



а) система 0

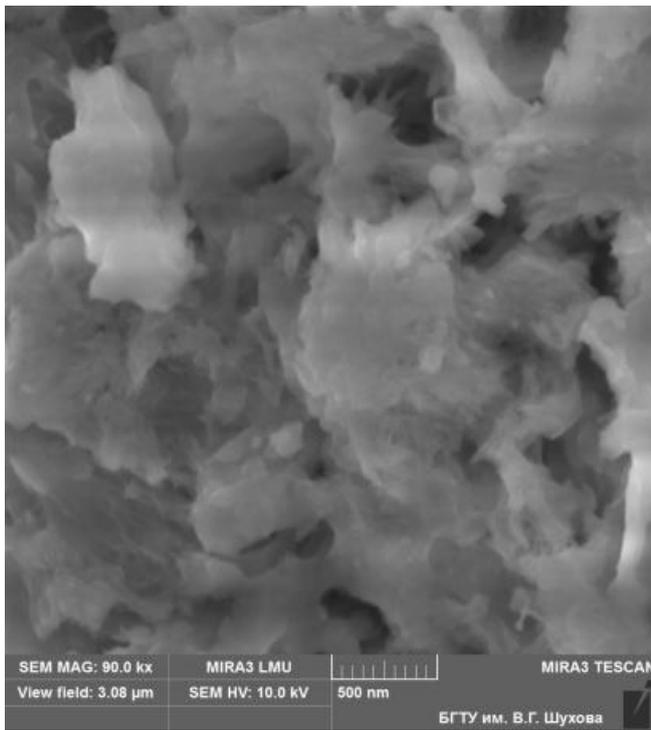


б) система 1

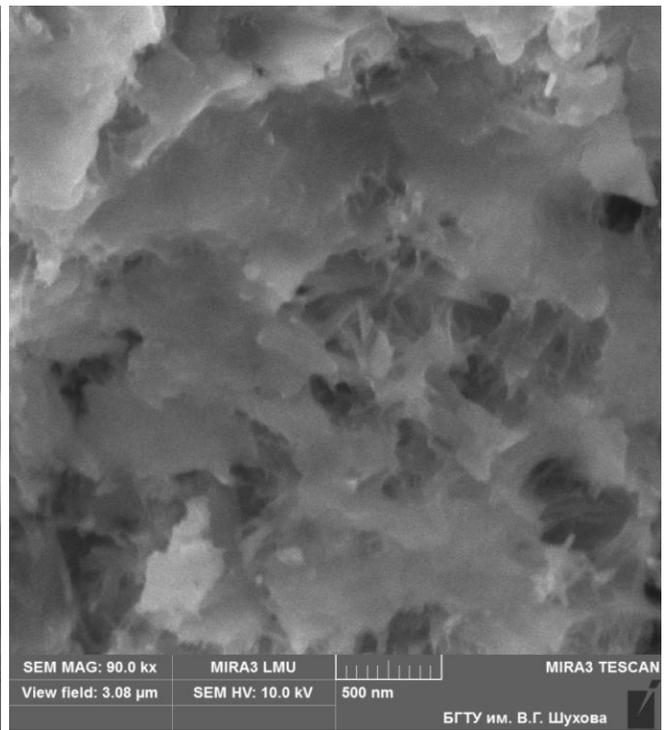


в) система 2

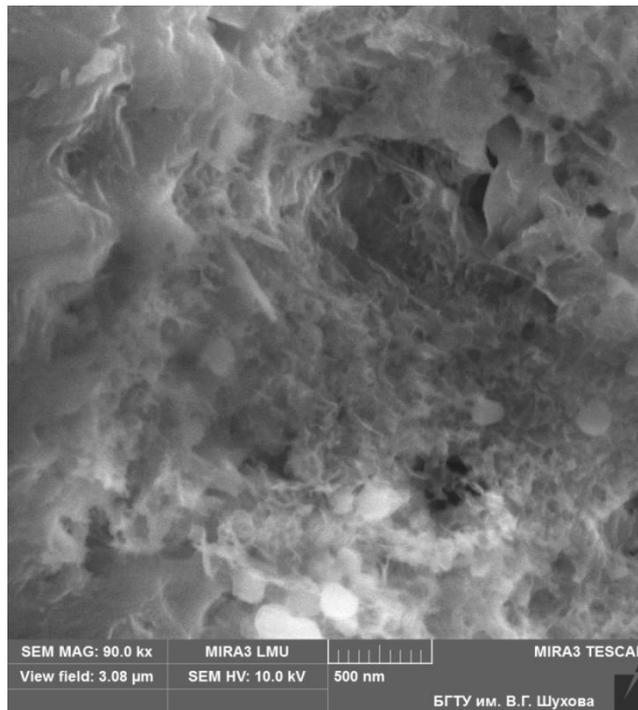
Рис. 2. Типичные фрагменты структуры цементных систем по данным сканирующей электронной микроскопии ($\times 10000$)



а) система 0



б) система 1



в) система 2

Рис. 3. Типичные фрагменты структуры цементных систем по данным сканирующей электронной микроскопии (×90 000)

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Коротких Д.Н. и др. Применение нанохимии в технологии твердофазных строительных материалов научно - инженерная проблема, направление и примеры реализации // Строительные материалы. 2008. №2. С. 32 – 36.
2. Ушеров-Маршак А. В. Химические и минеральные добавки в бетон – Харьков: Колорит, 2005. 281 с.
3. Артамонова О.В., Кукина О.Б. Исследование кинетики набора прочности модифицированного цементного камня / Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 2 (9). С. 83-93.
4. Lothenbach B., Winnefeld F., Figi R. The influence of superplasticizers on the hydration of Portland cement // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. P. 211-233.
5. Koizumi K., Umemura Y., Tsuyuki N. Effects of chemical admixtures on the silicate structure of hydrated portland cement // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. P. 64-71.
6. Plank J., Bassioni G., Dai Z., Keller H., Sachsenhauser B., Zouaoui N. Neues zur wechselwirkung zwischen zementen und polycarboxylat-fliefimitteln // Proceedings der 16 Internationalen Baustofftagung. Weimar, 2006. Band 1. Seite. 579 – 598.
7. Артамонова О.В., Сергуткина О.Р., Останкова И.В., Шведова М.А. Синтез нанодисперсного модификатора на основе SiO₂ для цементных композитов // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Т. 16. № 1. С. 152–162.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд. М.: Технопроект, 1998. 768 с.

Артамонова Ольга Владимировна, к.х.н., доцент кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: Ol_artam@rambler.ru.

Тел. 8(473) 2-71-76-17

Славчева Галина Станиславовна, д.т.н., профессор кафедры технологии строительных изделий и конструкций Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: gslavcheva@yandex.ru, тел.: +7(4732) 71-52-35

Шведова Мария Александровна, студентка строительного факультета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, группа 30416

УДК 543. 42

В.И. Барсуков, М.В. Гребенников, О.С. Дмитриев, А.А. Емельянов

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПЛАМЕННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Рассматриваются аспекты применения метода планирования эксперимента Бокса-Уилсона для выбора оптимальных параметров работы атомно-абсорбционного пламенного спектрофотометра при определении железа в растворах различной природы.

Ключевые слова: анализ, планирование эксперимента, матрица, факторы, параметр оптимизации, оптическая плотность.

V.I. Barsukov, M.V. Grebennikov, O.S. Dmitriev, A.A. Emeliynov

SEARCH THE OPTIMAL CONDITIONS FOR FLAME SPECTROSCOPY

This study discusses the aspects of Box-Wilson experimental planning method applications to select the optimal parameters of the flame atomic absorption spectrophotometer when determining the iron in different solutions.

Key words: analysis, planning of experiment, matrix, factors, parameter of optimization, optical density

Введение. В работах [1-3] было показано, как можно использовать методы математического планирования эксперимента при определении ряда элементов в различных объектах методом спектрального анализа.

В настоящей работе применён метод крутого восхождения Бокса – Уилсона [4-6] с целью определения оптимальных параметров работы спектрофотометра при нахождении железа в растворах различной природы (воды, электролиты гальванических ванн, кровь животных и др.).

Экспериментальная часть. Использовался нестандартный пламенный спектрофотометр, изготовленный на базе монохроматора ДМР-4 с регистрацией аналитического сигнала на пирующий потенциометр [7].

Переменными факторами при планировании эксперимента были выбраны: расход горючего газа (пробан-бутановая смесь), расход окислителя (воздух), напряжение на фотоэлектронном умножителе (ФЭУ) и размер щелей монохроматора (входная, средняя и выходная). Параметром оптимизации служила величина выходного аналитического сигнала – оптическая плотность.

Параметры основного (нулевого) уровня выбраны исходя из ранее приобретённого опыта работы с пламенным спектрофотометром.

Матрица планирования и результаты, полученные на первом этапе эксперимента, представлены таблицей 1. Здесь расходы горючего газа и воздуха с целью удобства выражены в делениях ротаметров. Так, начальный расход газа в 80 делений соответствовал 53,0 л/час, а 65 делений расхода воздуха - 270 л/час, что соответствовало давлению воздуха в распылителе горелки 1,05 кг/см² по образцовому манометру МО-1,6 [7].

Выбранная двухуровневая матрица планирования представляла 1/8 реплики полного факторного эксперимента типа 2^6 ($k=6$), т.е. позволяла учесть только эффекты взаимодействия смешанные с линейными эффектами [4-6]. Каждый опыт повторялся три раза ($n=3$). Всего на начальном этапе проведено восемь опытов ($N=2^6/8$).

Коэффициенты вариации (регрессии) определялись по формуле

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} D_i}{N},$$

где $x_{ji} = \pm 1$ – значения верхнего (+1) и нижнего (-1) уровней фактора, j – номер фактора, N – число опытов (от 1 до 8), D_i – оптическая плотность.

Так

$$b_1 = \frac{(-1)0,015 + (+1)0,020 + (-1)0,010 + (+1)0,012 + (-1)0,009 + (+1)0,090 + (-1)0,004 + (+1)0,110}{8} = 24,25 \cdot 10^{-3};$$

$$b_2 = \frac{(-1)0,015 + (-1)0,020 + (+1)0,010 + (-1)0,012 + (+1)0,009 + (+1)0,090 + (-1)0,004 + (+1)0,110}{8} = 21,00 \cdot 10^{-3};$$

$$b_3 = \frac{(-1)0,015 + (-1)0,020 + (+1)0,010 + (+1)0,012 + (-1)0,009 + (-1)0,090 + (+1)0,004 + (+1)0,110}{8} = 0,25 \cdot 10^{-3};$$

$$b_4 = \frac{(-1)0,015 + (+1)0,020 + (-1)0,010 + (-1)0,012 + (+1)0,009 + (-1)0,090 + (+1)0,004 + (+1)0,110}{8} = 2,00 \cdot 10^{-3};$$

$$b_5 = \frac{(-1)0,015 + (+1)0,020 + (+1)0,010 + (-1)0,012 + (-1)0,009 + (+1)0,090 + (+1)0,004 + (-1)0,110}{8} = -2,75 \cdot 10^{-3};$$

$$b_6 = \frac{(-1)0,015 + (-1)0,020 + (-1)0,010 + (+1)0,012 + (+1)0,009 + (+1)0,090 + (+1)0,004 + (-1)0,110}{8} = -5,00 \cdot 10^{-3}.$$

Дисперсия параметра оптимизации одного опыта (построчная дисперсия) рассчитывалась по формуле

$$S^2_i = \frac{\sum \Delta D_i^2}{n-1} = \frac{\sum \Delta D_i^2}{2}.$$

Дисперсия для всех опытов (дисперсия воспроизводимости) вычислялась по формуле

$$S^2_D = \frac{1}{N(n-1)} \sum \sum (D_{ji} - \bar{D}_i)^2.$$

Дисперсия коэффициентов регрессии определялась как

$$S^2_{b_j} = \frac{S^2_D}{N},$$

откуда средняя квадратичная ошибка коэффициентов регрессии b_j рассчитывалась как

$S_{b_j} = \sqrt{S^2_{b_j}}$, после чего проводилась проверка значимости каждого коэффициента регрессии по одному из способов: по t – критерию Стьюдента или построением доверительного интервала. При первом способе оценки значимости коэффициентов регрессии составлялось неравенство

$$b_j > S_{b_j} t_p(f),$$

где S_{b_j} – ошибка коэффициента регрессии ($8 \cdot 10^{-3}$), $t_p(f)$ – коэффициент Стьюдента, находимый по таблицам для заданной достоверности $p = 0,95$ и числе степеней свободы $f = N(n-1)$. В нашем случае $f = 8(3-1) = 16$ и $t_p(f) = 2,12$. Тогда $S_{b_j} t_p(f) = 16,8 \cdot 10^{-3}$, коэффициенты регрессии b_j так же показаны в таблице 1.

Анализ вычислений, по полученным экспериментальным данным, показал, что наиболее значимым фактором в данной серии опытов являлись расходы горючего газа и воздуха.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты первой серии опытов

Параметры эксперимента		Расход пропан-бутана, дел	Давление воздуха, дел ²	Напряжение на ФЭУ, В	Ширина щели, мк			Функция отклика - (оптическая плотность D)
					Входная	Средняя	Выходная	
Основной уровень.		80	65	900	50	50	50	0,030
Шаги варьирования- <i>J</i>		8	10	50	10	10	10	
Верхний уровень		88	75	950	60	60	60	
Нижний уровень		72	55	850	40	40	40	
№ п.п.	Порядок проведения опытов	-	-	-	-	-	-	0,015
1	6	-	-	-	-	-	-	0,020
2	2	+	-	-	+	+	-	0,010
3	1	-	+	+	-	+	-	0,012
4	5	+	-	+	-	-	+	0,009
5	3	-	+	-	+	-	+	0,090
6	8	+	+	-	-	+	+	0,004
7	4	-	-	+	+	+	+	0,110
8	7	+	+	+	+	-	-	
Коэффициенты регрессии уравнения поверхности отклика для параметра оптимизации – b_j		$24,25 \times 10^{-3}$	$21,0 \times 10^{-3}$	$0,25 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$-2,75 \times 10^{-3}$	$-5,0 \times 10^{-3}$	$\bar{D} = 33,8 \cdot 10^{-3}$
Коэффициенты регрессии, умноженные на интервал варьирования – $b_j J$		194×10^{-3}	210×10^{-3}	$12,5 \times 10^{-3}$	20×10^{-3}	$-27,5 \times 10^{-3}$	-50×10^{-3}	

Для нахождения нового линейного приближения вновь выбраны шаг варьирования и основной (нулевой) уровень, в качестве которого, как наилучшего, взяты параметры восьмого опыта. Матрица планирования второго этапа эксперимента и расчёты представлены таблицей 2.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты второй серии опытов

Параметры эксперимента		Расход пропан-бутана, дел	Давление воздуха, дел ²	Напряжение на ФЭУ, В	Ширина щели, мк			Функция отклика - (оптическая плотность D)
					Входная	Средняя	Выходная	
Основной уровень		88	75	950	60	40	40	0,110
Шаги варьирования- <i>J</i>		2	2	0,1	0,2	0,3	0,2	
Верхний уровень		90	77	950	60,2	40,3	40,2	
Нижний уровень		86	73	950	59,8	39,7	39,8	
№ п.п.	Порядок проведения опытов	-	-	-	-	-	-	0,110
1	6	-	-	-	-	-	-	0,150
2	2	+	-	-	+	+	-	0,030
3	1	-	+	+	-	+	-	0,090
4	5	+	-	+	-	-	+	0,010
5	3	-	+	-	+	-	+	0,070
6	8	+	+	-	-	+	+	0,040
7	4	-	-	+	+	+	+	0,090
8	7	+	+	+	+	-	-	
Коэффициенты регрессии уравнения поверхности отклика для параметра оптимизации – b_j		$26,25 \times 10^{-3}$	$-23,75 \times 10^{-3}$	$-11,25 \times 10^{-3}$	$-1,25 \times 10^{-3}$	$-1,25 \times 10^{-3}$	$-21,25 \times 10^{-3}$	$\bar{D} = 73,8 \cdot 10^{-3}$

Сравнение коэффициентов регрессии дополнительно проведённых опытов показал, что значения b_2 , b_3 , b_4 изменили свой знак на противоположный, b_5 и b_6 изменились не существенно.

Это означает, что движение по градиенту, задаваемому коэффициентами регрессии, позволило почти приблизиться к стационарной области с параметрами: напряжение на ФЭУ – 950 В; ширина входной, средней и выходной щелей - 60, 40 и 40 мк, соответственно; расход горючего газа ≈ 1 л/мин; воздуха $\approx 5,4$ л/мин (вторая строчка табл. 2), что соответствует наилучшим восстановительным свойствам пламени, реакции горения которого описываются уравнениями



Из уравнений видно, что соотношение горючего газа и воздуха пропорционально молекулярным отношениям $\approx 1:5$.

Полученные в ходе эксперимента параметры находятся в хорошем соответствии с исследованиями, проведенными при определении лития, рубидия, натрия и калия, описанными ранее на страницах 8-10 монографии [7], но без использования математического планирования эксперимента.

Заключение. Таким образом, математическое планирование эксперимента позволило подобрать такие параметры работы спектрофотометра, что величина оптической плотности возросла с 0,03 до 0,15, что соответствует увеличению чувствительности в пять раз. При этом существенно были сокращены время проведения исследования и расходные материалы.

Полученные параметры были применены при анализе выше перечисленных объектов на содержание в них железа.

Список литературы

1. Барсуков, В.И. Математическое планирование эксперимента при определении состава проб методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии / В.И. Барсуков, Е.М. Бучнева // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. - 2014. - Т. 20, № 4. - С.793-800.
2. Барсуков, В.И. Расчёт электротермического атомизатора / В.И. Барсуков, О.С. Дмитриев, В.В. Худяков // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. - 2015. - Т. 21, № 1. - С.148-155.
3. Барсуков, В.И. Планирование эксперимента для фотометра с активной интегрирующей ячейкой / В.И. Барсуков, О.С. Дмитриев, А.А. Коробов // Труды Естественнонаучного и гуманитарного факультета Тамбовского государственного технического университета: сб. науч.-метод. ст./ редкол.: А.В. Богословский [и др.]. - Тамбов: Изд-во Першина Р.В. - 2014. - С. 9-16.
4. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1971. - 284 с.
5. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
6. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. - М.: Наука, 1969. - 288 с.
7. Барсуков, В.И. Пламенно-эмиссионные и атомно-абсорбционные методы анализа и инструментальные способы повышения их чувствительности / В.И.Барсуков. – М.: “Изд-во Машиностроение-1”, 2004. - 172 с.

Барсуков Владимир Иванович – к.х.н., доцент кафедры “Физика” ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ). E-mail: phys@nnn.tstu.ru, Тел.: (4752)-63-03-69

Гребенников Михаил Владимирович – зам. директора Испытательного центра ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Дмитриев Олег Сергеевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой “Физика” ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Емельянов Анатолий Алексеевич - директор Испытательного центра ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

E-mail: Test-Centr@asp.tstu.ru www.tstu.ru

ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 504.03

Е.А. Жидко, В.С. Муштенко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДОВ (На примере г. Воронежа)

В статье рассматривается современная экологическая ситуация г. Воронежа. В качестве примера рассматривается производственный сектор экономики и военная деятельность, их негативное влияние на безопасность для жизни и здоровья населения. Предложены рекомендации по путям решения проблемы глобальной оптимизации с учётом экологического фактора.

Ключевые слова: экологические проблемы, загрязнение окружающей среды, вредные выбросы.

Е.А. Zhidko, V.S. Mushtenko

ENVIRONMENTAL SAFETY OF MODERN CITIES (On an example of Voronezh)

The modern ecological situation in Voronezh is considered in article. As an example, the manufacturing sector of the economy and military activities is considered and their negative impact on the safety of life and health of the population. Recommendations on how to address the problem of global optimization, taking into account environmental factors is offered.

Keywords: ecological problems, environmental pollution, harmful emissions.

Согласно требованиям ООН экологический аспект рассматривается как один из главных аргументов международного аспекта [1,2]. Современные масштабы экологических изменений создают реальную угрозу жизни и здоровью населения. Наиболее тревожным симптомом является даже не крайне неблагоприятное экологическое состояние, сложившееся в стране к настоящему времени, а тенденции, ясно свидетельствующие о том, что положение не только не улучшается (или хотя бы стабилизируется), но заметно ухудшается. Скорость увеличения интенсивного вредного воздействия внешних факторов вышла за пределы скорости биологического приспособления живых систем к среде обитания.

Отсутствие стратегического видения у лиц, принимающих решение (ЛПР), а именно прогнозирования и моделирования реально складывающейся обстановки в краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном периодах новых условий в XXI веке, приводит к печальным последствиям [3-5]. Примером служит аэродром «Балтимор» в г. Воронеже. Его постройка была начата еще в тридцатые годы прошлого века, а завершена окончательно в 1953-м. В тот момент Воронеж еще не успел обрасти обширной агломерацией, поэтому аэродром располагался на городских окраинах. Сегодня «Балтимор» территориально принадлежит Советскому району Воронежа. Самолетам, чтобы приземлиться на взлетно-посадочную полосу просто необходимо пролетать над жилыми массивами. Его эксплуатация доставляла массу неудобств жителям соседних домов, т.к. на настоящий момент аэродром расположен в плотном кольце жилой застройки города, на территории которой проживает многотысячное население. Удаленность авиабазы от домов в настоящее время составляет порядка 1,5 км. На головы живущих неподалеку горожан сбрасываются тонны отработанного топлива.

Это топливо оседает и на деревьях, и на земле, и на одежде, что не способствует укреплению здоровья воронежцев. Уровень шума в близлежащих районах по данным Роспотребнадзора, превышает предельно допустимый. А ведь авиационная база – это:

- круглосуточные полеты реактивных самолетов;
- склады авиационных боеприпасов и топлива;
- серьезная экологическая опасность.

От Воронежа к аэродрому идёт железная дорога, по которой на регулярной основе завозится авиационное топливо, страшное токсинное вещество – Несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил, 1,1-диметилгидразин). Самолёты регулярно сбрасывают топливо. Всё это оказывается во вдыхаемом воздухе, почве воде и соответственно в нашем организме. Гептил – это ракетное топливо на основе несимметричного диметилгидразина (НДМГ) – высокотоксичного вещества 1-го класса опасности. Всемирной организацией здравоохранения НДМГ внесен в список особо опасных химических соединений. Гептил оказывает на организм человека общетоксическое и кожнораздражающее действие. Он может поступать в организм через органы дыхания, кожный покров, желудочно-кишечный тракт. В организме гептил распределяется равномерно, поражая печень, центральную нервную, сердечно-сосудистую и кровеносную системы. Его характерные свойства: летуч, растворяется в воде в любом соотношении, способен к накоплению в организме, легко окисляется, образуя при этом более опасные соединения и все это – в черте города!

В связи с чем деятельность аэродрома:

1. Оказывает негативное влияние на безопасность для жизни и здоровья населения вследствие превышения предельно допустимого уровня шума, предусмотренного [6,7], что подтверждено заключениями Управления Роспотребнадзора по Воронежской области.

2. Противоречит требованиям ст.72 Воздушного Кодекса РФ, ст.103 Федеральных Правил использования воздушного пространства РФ, утв. Постановлением Правительства РФ №1084, поскольку большое количество жилых домов города находится под линией взлета и посадки самолетов.

3. Противоречит требованиям п.4 Положения об установлении запретных зон и запретных районов при арсеналах, базах и складах ВС РФ, утвержденного Постановлением Правительства РФ №135, поскольку в запретном районе, который должен быть создан в силу закона и составляет не менее 3 км, уже находится развитая инфраструктура города: многоэтажная и малоэтажная жилая застройка города, крупнейшие улицы. На данной территории проживает, работает и проводит обучение и лечение многотысячное население города.

И только в 2014 году на эту серьезную проблему обратило внимание Министерство обороны РФ.

Угрозы и экологические последствия для ЦЧР от производственного сектора экономики и военной деятельности представлены на рис. 1.

Анализ причин противоречивости и несовершенства правового регулирования общественных отношений в информационной сфере в экологическом аспекте показал, что на момент формирования норм экологической безопасности объектов были совершены серьезные промахи и ошибки в трактовке сущности антропогенных воздействий человека на природу, отношений между ними, их последствий в социально-эколого-экономическом аспекте [3,4].

Отсюда недоговорённости сторон в вопросах нормирования таких воздействий, противоречивость и неразвитость механизмов регулирования и санкций за нарушения норм экологической безопасности (ЭБ).

Анализ реально полученной информации [3] об уровнях загрязнения окружающей среды в зоне действия исследуемых объектов и сопоставление с принятыми нормами ЭБ показал следующее:

- противоречивость нормативов на санитарно-защитные зоны в реально складывающейся обстановке и тенденциями её развития в районе исследуемых объектов;
- как следствие, снижение возможностей природы поддерживать качество и безопасность жизни населения на нормальном уровне в названных районах;

- потери конкурентоспособности объектов, находящихся в экологически неблагоприятной зон, их продукции на внешних и внутренних рынках.

В результате появляются угрозы устойчивости их развития как функции меры исходной информации, которой располагает ЛПР по адекватной реакции на них. Причины такого положения дел были выявлены с помощью теоретических и эмпирических методов исследования недостатков принятых ранее математических моделей антропогенного воздействия человека на ОС [8-13].

Проанализировав современное состояние ОС ЦЧР, можно отметить, что назрела необходимость введения мер, способствующих изменению экологического поведения организаций. При включении природоохранного аспекта в проекты модернизации и реконструкции многие экологические проблемы решались бы гораздо эффективнее. Новые технологии позволяют применять прогрессивные методы обработки сточных вод, включающие повторное использование воды и замкнутые циклы, предотвращать образование отходов, экономить энергию, встраивать систему мониторинга.

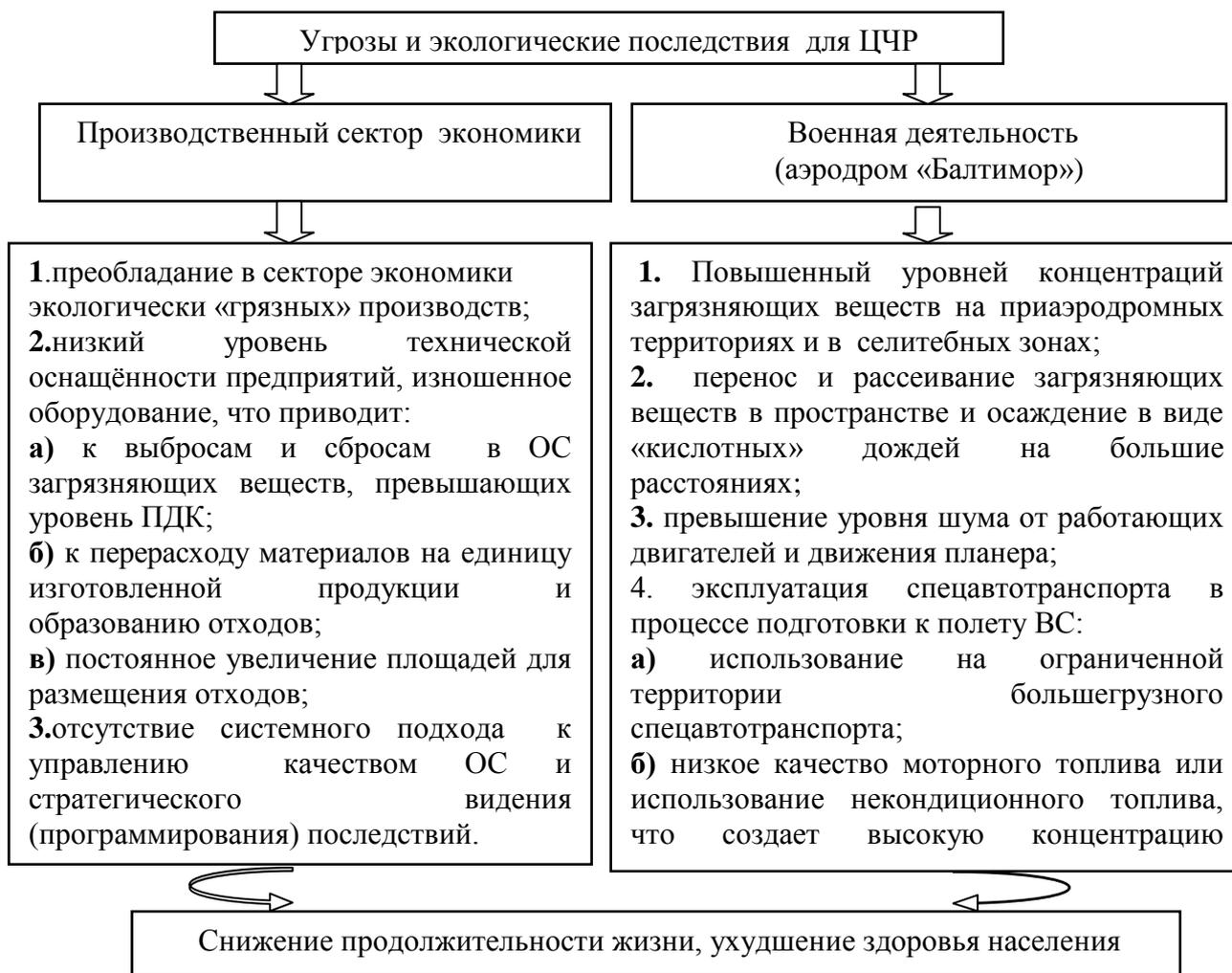


Рис. 1. Угрозы и экологические последствия для ЦЧР

Таким образом, прогнозирование загрязнения, получение достоверной информации о состоянии ОС возможно только при условии наличия большого количества данных. В результате представляется возможным сформулировать рекомендации по путям решения проблемы глобальной оптимизации с учётом результатов проведенных выше исследований и экологического фактора. Проведенный анализ позволяет предложить следующую стратегию перспективного развития ЦЧР (рис. 2.).

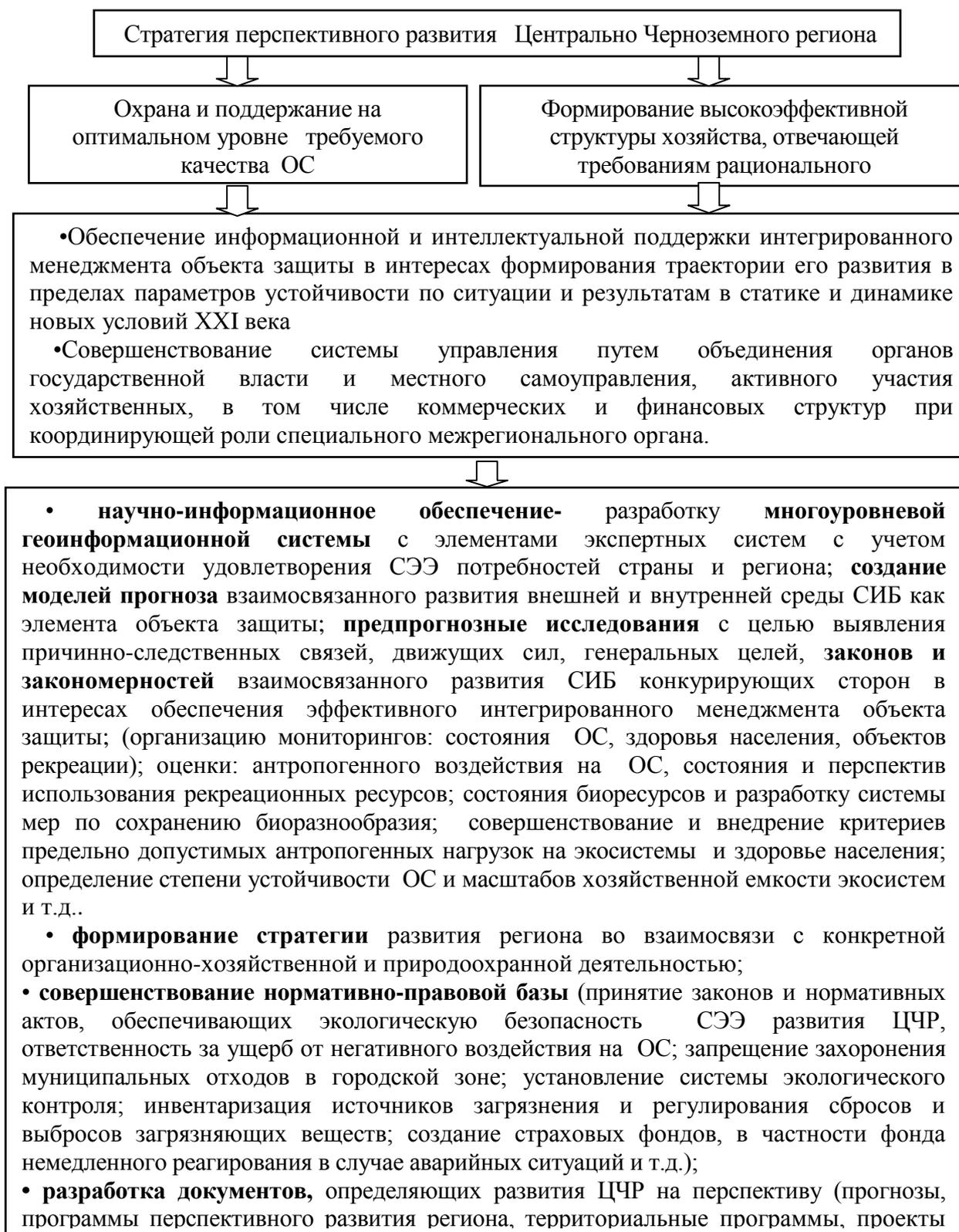


Рис. 2. Стратегия перспективного развития ЦЧР

Таким образом, будет создана постоянно действующая система управления на основе взаимосвязанных моделей, обеспечивающих решение широкого круга задач по улучшению экологической обстановки.

Список литературы

1. Концепция безопасности и устойчивости развития планеты Земля (принята ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году).
2. Повестка дня ООН на XXI век.
3. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Информационные риски в экологии XXI века: концепция управления // Информация и безопасность. 2010. Т. 13. № 2. С. 175-184
4. Жидко Е.А. Экологический менеджмент как фактор эколого-экономической устойчивости предприятия в условиях рынка: монография / Е.А. Жидко; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т.- Воронеж, 2009. 160 с.
5. Жидко Е.А. Менеджмент. Экологический аспект: курс лекций / Е.А. Жидко; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т.-Воронеж., 2010. 180 с.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ 22283-88 Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения.
8. Жидко Е.А., Черных Е.М. Динамика частиц золы в выбросах дымовых труб // Экология и промышленность России. 2004. № 7. С. 38-39.
9. Жидко Е.А. Управление техносферной безопасностью / Воронеж, 2013.
10. Жидко Е.А., Колотушкин В.В., Соловьева Э.В. Теоретические основы проектирования и конструкции жидкостных пылеулавливающих устройств // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 2. С. 8-11.
11. Сазонова С.А. Разработка модели структурного резервирования для функционирующих систем теплоснабжения / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 082-086.
12. Сазонова С.А. Результаты вычислительного эксперимента по апробации метода решения задачи статического оценивания для систем теплоснабжения / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 93-99.
13. Головина Е.И., Манохин В.Я. Экологические факторы среды обитания и здоровье населения Воронежской области. Комплексные проблемы техносферной безопасности - материалы X Международной научно-практической конференции. Часть III. г. Воронеж, 2014, 257 с.

Жидко Елена Александровна – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

E-mail: lenag66@mail.ru. Тел. 8(910)345-46-13

Муштенко Владимир Сергеевич – к.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: moucht@inbox.ru. Тел. (473)2-22-04-26

УДК 628.162.9

В.Г. Гадиятов, О.Б. Кукина, О.В. Сибирских

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБОГАЩЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ КРЕМНИЕМ

Представлены данные о химическом составе природного кремня из Валук, исследована активность природного кремня чёрного цвета относительно водного раствора соды. Установлено, что чёрный кремень опал-халцедонового состава может использоваться для получения активированной кремнем воды.

Ключевые слова: *питьевая, активированная кремнем вода, химическая активность природного кремня.*

V.G. Gadyatov, O.B. Kukina, O.V. Sibirskih

THE DEVELOPMENT OF WAYS TO ENRICH DRINKING WATER WITH SILICON

Presents data on the chemical content of the natural silicon from Valuyek, the activity of the black natural silicon has been researched with regard to the water solution of soda. Established that black silicon with opal-chalcedony content can be used to achieve silicon activated water.

Keywords: *drinking, silicon activated water, chemical activity of natural silicon.*

Введение. Ещё в двадцатых годах прошлого столетия академик В.И. Вернадский говорил: «Никакой организм не может существовать без кремния». Около 70 элементов не усваивается в организме человека, если в нём не хватает кремния. Кремний необходим для минерализации костной ткани, построения эпителиальных нервных клеток, способствует свёртыванию крови, предохраняет от атеросклероза, развития мочекаменной болезни и др. Недостаток кремния в организме вызывает выпадение волос, приводит к расстройству некоторых функций головного мозга, заболеваниям суставов, кожи, хрусталика глаз [1,2]. Поэтому так важно постоянно пополнять организм человека этим биогенным микроэлементом, принимающим участие в жизнедеятельности клеток и многих органов.

Теоретическая часть. Наиболее удобным источником кремния в организме человека считается кремниевая вода. Для получения насыщенной кремнием воды можно применять лекарственный препарат «Полисорб» [3], представляющий собой высокодисперсный кремнезём (неорганический, неселективный, полифункциональный энтеросорбент). Однако этот препарат довольно дорогой и предназначен не для обогащения организма кремнием, а для того, чтобы выводить из него токсические вещества, вследствие чего его применение для этих целей нецелесообразно. Существуют также другие способы, основанные на применении химических веществ (препаратов).

Более простой способ пополнения дефицита кремния в человеческом организме - употребление активированной кремнем воды (АКВ) - воды, настоянной на природном кремне. Кремень – природное минеральное образование, состоящее из кристаллического и аморфного кремнезёма – халцедона, кварца и опала. В волокнах халцедона, занимающего основное место в его составе, находятся микропоры или трубчатые каналы, вытянутые вдоль волокон. Благодаря этому минерал обладает высокой пористостью и более низкой (по сравнению с кварцем) плотностью. Способ насыщения воды кремнем был рекомендован белорусским ученым А.Д. Малярчиковым [4] и быстро нашёл последователей [5,6].

К сожалению, в рекомендации по употреблению кремня не нашли отражения его технические параметры (минералого-геохимический состав, размер кусочков, способы насыщения воды и др.).

Экспериментальная часть. Ранее был изучен природный кремний из Валуек [7], имеющий следующий химический состав (табл. 1, массовые доли %): SiO₂ – 91,59 – 99,3; Al₂O₃ – 0,43 - 0,9; Fe₂O₃ – 0,03 – 0,29; CaO – 0,19 - 5,14; BaO – 0,003 - 0,04. Кроме того, в виде примесей присутствуют V, Zn, Ni, Sr, установлены включения апатита, калиевого полевого шпата и сульфидов. В чёрных кремнях содержания кремнезёма (99,02 – 99,3 массовые доли, %), Al₂O₃(0,43 – 0,52) и Fe₂O₃ (0,08 – 0,1) соответствуют содержаниям аналогичных компонентов в кремнях из разных районов мира [8, 9]. По данным рентгеноструктурного анализа чёрные кремни характеризуются практически кварцевым составом с незначительным количеством опала [10].

Таблица 1

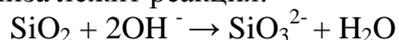
Химический состав кремней из Валуек, массовые доли, %

Компоненты	Номера проб							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	98,57	91,59	97,96	99,02	99,25	99,3	99,09	99,27
Al ₂ O ₃	0,63	0,9	0,55	0,52	0,46	0,46	0,49	0,43
Fe ₂ O ₃	0,063	0,29	0,066	0,1	0,08	0,034	0,1	0,08
MgO	0,011	-	-	-	-	-	0,001	-
CaO	0,68	5,14	1,41	0,34	0,19	0,19	0,26	0,20
V ₂ O ₅	-	0,013	-	-	-	-	-	0,01
BaO	0,02	0,013	0,003	0,004	-	0,015	0,045	0,003
NiO	0,01	0,013	0,005	0,007	0,005	0,006	0,006	0,006
ZnO	0,008	1,99	0,005	0,001	0,008	0,009	0,007	0,005
SrO	0,007	0,05	0,006	0,003	0,003	0,005	0,012	0,003
Σ	99,999	99,999	100,005	99,995	99,996	100,019	100,011	100,007

Номера проб: 1 – кремний серого цвета; 2 – кремний светло-серый; 3 – кремний серого цвета; 4-8 – кремний чёрный.

Мониторинг содержания кремния в питьевой воде – сложная физико-химическая задача. Оксид кремния, который содержится в природном кремне, обладает кислотным характером, а значит, может проявлять химическую активность по отношению к щелочным и амфотерным системам. Это свойство может быть использовано как для разработки способа насыщения кремнием питьевой воды, используемой в лечебно-профилактических целях, так и получения АКВ для получения наноструктурированных строительных систем твердения минерального и органо-минерального происхождения.

Нами были проведены исследования по изучению химической активности чёрного кремня различных классов крупности для самопроизвольного насыщения раствора соды кремнием. Исследуемый чёрный кремний был измельчён на щековой дробилке и с помощью стандартного набора сит разделён на 5 следующих классов крупности (мм): >5; 2,5-5; 1,25-2,5; 0,63-1,25; <0,63. Известно, что химическая активность кремния увеличивается с увеличением щелочности растворителей, поэтому оценка химической активности кремния в зависимости от степени измельчения определялась по способности реагировать с раствором Na₂CO₃. В основе химического анализа лежит реакция:



К одному грамму навески кремня каждого из указанных 5-ти классов крупности добавляли по 100 см³ раствора Na₂CO₃, тщательно перемешивали и оставляли на 1-1,5 часа, встряхивая каждые 10 мин. Полученные суспензии фильтровали. Для анализа отбирали пипеткой 10 см³ фильтрата, переносили в соответствующую мерную колбу на 100 см³, добавляли к раствору молибдат аммония и восстановительную смесь. Концентрацию перешедшего в раствор SiO₂ определяли по оптической плотности с помощью спектрофотокориметра КФК-2 методом калибровочного графика [11, 12]. Для построения калибровочного графика готовили 7 мерных колб объёмом 100 см³ и отмеряли в них из бюретки 1, 2, 4, 6, 8, 10 см³ стандартного раствора силиката натрия с титром 0,0100 мг/см³

SiO₂, в седьмую колбу - растворитель (нулевой раствор), при отсутствии силиката натрия. Во все семь колб наливали по 50 см³ дистиллированной воды, 5 см³ раствора молибдата аммония, перемешивали и выдерживали в течение 10 мин. Затем заливали по 5 см³ раствора восстановителя, доводили до метки дистиллированной водой, перемешивали и давали настояться 15 мин. до образования комплексного соединения, окрашенного в синий цвет (рис. 1).



Рис. 1. Стандартные и исследуемые растворы для определения химической активности природного кремня

Результаты химического анализа по определению химической активности природного кремня представлены в табл. 2, 3 и на рис. 2, 3.

Таблица 2

Зависимость оптической плотности растворов, насыщенных кремнием от концентрации стандартного раствора силиката натрия

Объем стандартного раствора силиката натрия, мл	Концентрация SiO ₂ в стандартном растворе, мг/дм ³	Оптическая плотность, А
0	0	0
1	0,1	0,025
2	0,2	0,040
4	0,4	0,150
6	0,6	0,240
8	0,8	0,390
10	1,0	0,420

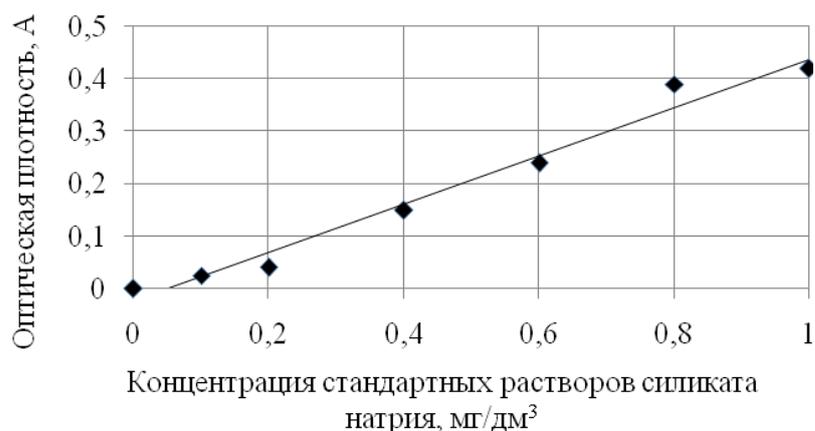


Рис. 2. Калибровочный график для определения оптической плотности стандартных растворов силиката натрия

Результаты определения оптической плотности исследуемых растворов с природным кремнем по калибровочному графику

Номер пробы	Класс крупности, мм	A(оптическая плотность)	Концентрация активного кремня, перешедшего в раствор, мг/дм ³
1	>5	0,07	0,15
2	2,5-5	0,25	0,55
3	1,25-2,5	0,3	0,65
4	0,63-1,25	0,34	0,74
5	<0,63	0,6	1,3

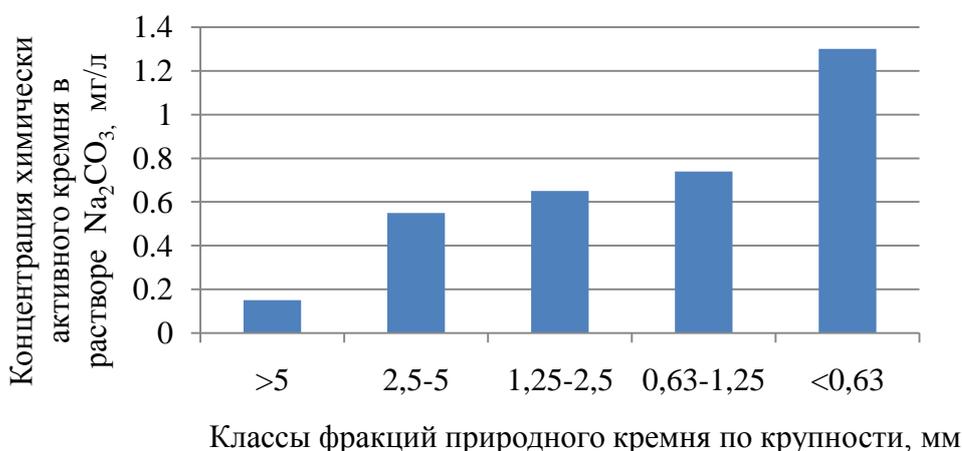


Рис. 3. Зависимость концентрации химически активного кремня в растворе Na₂CO₃ от крупности фракций измельченного природного кремня

Обсуждение результатов. Как видно из приведённых данных, природный кремнь взаимодействует с раствором соды. При этом степень насыщения зависит от размера частиц применяемого кремня, и выражается обратно пропорциональной зависимостью по отношению к его крупности. Максимальное насыщение питьевой воды кремнием (1,3 мг/л) в течение 1-1,5 часа достигается при взаимодействии раствора соды с кремнем фракции <0,63 мм. Содержание кремния в растворе Na₂CO₃, настоянном на кремне фракций (мм): 2,5-5; 1,25-2,5; 0,63-1,25 различаются незначительно. Соответственно, оно равно (мг/л): 0,55; 0,65; 0,74), минимальное значение кремния (0,15 мг/л) установлены в растворе, насыщенном кремнем фракции > 5мм. Вследствие этого фракции кремня 2,5-5; 1,25-2,5; 0,63-1,25 можно не выделять, а применять одну усреднённую фракцию 5,0 – 0,63 мм. Для быстрого обогащения раствора соды кремнием следует использовать фракцию < 0,63 мм.

Заключение. Таким образом, можно предположить, что для насыщения питьевой воды кремнием, применяемой в лечебно-профилактических целях и для получения наноструктурированных строительных систем твердения минерального и органо-минерального происхождения, можно использовать чёрный кремнь опал-халцедонового состава. При настаивании воды на кремне происходит её обогащение кремнием, при этом получается активированная кремнем вода. Для быстрого получения АКВ оптимальным является кремнь размером до 5 мм. Максимальное насыщение питьевой воды кремнием достигается при использовании самой мелкой фракции кремня размерностью < 0,63 мм.

Список литературы

1. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. Новосибирск: Наука, 1984. – 160 с.
2. Кривенко В.В., Хмелевская А.В. и др. Литотерапия: лечение минералами. – М.: Педагогика-Пресс, 1994. – 224 с.
3. Сергеева О.И. Кремниевая вода в считанные секунды. // Газета Лечебные письма. – 14, 2009.
4. Малярчиков А.Д. Кремень и человечество или Кремень вновь обретает славу. – М.: АНК «ИТМО им. А.В. Лыкова», 1998, 352 с.
5. Гадиятов В.Г., Дмитриев Д.А. Применение кремней в литотерапии. - Актуальные вопросы здоровьесберегающих технологий на основе природных и минеральных ресурсов Воронежской области. Инновационный и инвестиционный потенциал развития бальнеологии в регионе : материалы регион. науч.практ. конф., Воронеж, 28-29 апр. 2011 г. — Воронеж, 2011 .— С. 35-37 .
6. Ветштейн В., Сухин В. Феномен кремния и здоровье людей. <http://nashiprava.by.ru/Internet3.html/>.
7. Гадиятов В.Г. Кремни из меловых отложений Воронежской антеклизы. - Новые идеи в науках о Земле : докл. 10-й междунар. конф. — М., 2011 .— Т. 1. - С. 150.
8. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных). - Выпуск 14. Окаменелое дерево и кремень. Министерство Геологии СССР. Всесоюзное шестое производственное объединение. Москва, 1976. - 59 с.
9. Технические условия «Камни-самоцветы природные в сырье». ТУ 41-07-060-90. НПО Кварисамоцветы. - М.: 1990. - 56 с.
10. Дмитриев Д.А., Савко А.Д., Жабин А.В. Сантонские отложения правобережья среднего течения реки Дон. - Воронеж, 2004. - 104 с. - (Тр. НИИ геологии ВГУ; Вып. 21).
11. Кукина О.Б., Степанова М.П., Потамошнева Н.Д. Оценка механо-химической активности карбонатных, силикатных и алюмосиликатных составляющих для композитов на основе систем твердения портландитового типа // Вестник Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. Материалы академических научных чтений «Проблемы развития регионов в свете концепции безопасности и живучести урбанизированных территорий» [Текст]/РААСН; ЮЗГУ, Курск-Воронеж; 2013. Вып. 12. – С. 169.
12. Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д., Кукина О.Б., Сергуткина О.Р. Диагностика и тестирование сырья как этапы технологий производства строительных материалов // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии» 2008, выпуск 3-4.

Гадиятов Виталий Галиаскарович - д.г.-м.н., профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

E-mail: gadiatovvg@mail.ru. Тел. 8 (473)2-71-53-84 (раб.)

Кукина Ольга Борисовна - к.т.н., доцент, доцент кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: lgkkn@rambler.ru. Тел. 8-910-345-28-88

Сибирских Олег Валерьевич – инженер Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, E-mail: sova193@yandex.ru. Тел. 8-961-184-59-12

УДК 614.841

Е.В. Калач, А.В. Любарь, И.В. Кузива

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШКИ И КИПЕНИЯ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ПРОНИЦАЕМОСТИ БИНАРНЫХ ЖИДКИХ СИСТЕМ

Изучены взаимосвязи температур вспышки и кипения с коэффициентом проницаемости 5 бинарных жидких систем вода – ацетонитрил, вода – изопропиловый спирт, вода – этанол, гексан – изопропиловый спирт и гексан – хлороформ.

Ключевые слова: бинарные жидкие системы, ацетонитрил, вода, гексан, изопропиловый спирт, этанол, хлороформ, температура кипения, температура вспышки, проницаемость, пожарная безопасность

E.V. Kalath, A.V. Lyubar, I.V. Kuziva

RELATIONSHIP OF THE FLASH POINT AND THE BOILING POINT WITH THE PERMEABILITY COEFFICIENT OF BINARY LIQUID SYSTEMS

Relationship between the flash point and the boiling point with the permeability coefficient of 5 binary liquid system water – acetonitrile, water – isopropyl alcohol, water – ethanol, hexane – isopropyl alcohol and hexane – chloroform were studied.

Keywords: liquid binary system, acetonitrile, water, hexane, isopropyl alcohol, ethanol, chloroform, boiling point, flash point, penetration, fire safety

Изучение влияния состава бинарных жидких систем на их температуры кипения и вспышки является актуальным с точки зрения обеспечения техники безопасности в технологических процессах, в которых используются смешанные водно-органические и органо-органические растворители [1-10]. К таким процессам можно отнести сорбционные, хроматографические, экстракционные процессы, органический синтез и т.д.

Коэффициент проницаемости $\psi = \sigma / \eta$ (где σ – поверхностное натяжение, а η – вязкость жидкости) имеет размерность м/с и характеризует постоянную потока жидкости через капилляр [6]. Он позволяет прогнозировать расстояния, проходимые фронтом конкретного растворителя за определенное время в конкретном пористом слое, смачиваемость поверхности материала. Этот коэффициент активно используется в планарной хроматографии. С точки зрения пожарной безопасности он может быть увязан со скоростью распространения ЛВЖ, или, наоборот негорючей жидкости в пористом материале.

Целью работы стало выявление количественных взаимосвязей между температурой кипения ($T_{\text{кип}}$), температурой вспышки ($T_{\text{всп}}$), коэффициентом проницаемости (ψ) и составом типичных бинарных жидких систем, применяемых в жидкостной хроматографии, жидкостной экстракции, синтезе и сорбционном концентрировании органических веществ.

Результаты и их обсуждение. Экспериментальные значения изучаемых физико-химических параметров для индивидуальных растворителей и их смесей: вода – ацетонитрил, вода – изопропиловый спирт (ИПС), вода – этанол, гексан – ИПС, гексан – хлороформ; взяли из литературных источников [3-9]. Как было установлено ранее, величины $T_{\text{кип}}$, $T_{\text{всп}}$ и ψ зависят от состава не линейно, проявляя в большей или меньшей степени отклонения от аддитивности – от долей до десятков процентов, зависимости $X_{12} = f(\varphi_2)$, где X_{12} – физико-химический параметр бинарной системы, а φ_2 – объемная доля индивидуального более активного растворителя (модификатора), имеют чаще всего вид

вогнутой или выпуклой кривой, некоторые изотермы имеют минимум или максимум или имеют S-образный профиль. В случае водно-органических растворителей, активным является органический компонент, а в случае органо-органического – более полярный растворитель.

Так, коэффициент проницаемости ψ_{12} для бинарных систем хорошо аппроксимируется модифицированным полиномом 3-й степени:

$$\psi_{12} = \psi_1 + A \psi_1 \varphi_2 + (B \psi_2 - A \psi_1 - \psi_1) \varphi_2^2 + (\psi_2 - B \psi_2) \varphi_2^3, \quad (1)$$

где A и B – эмпирические коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1.
Коэффициенты уравнения (1) для изотерм коэффициента проницаемости ψ_{12} (м/с) бинарных жидких систем при 25 °С[6]

Бинарная система	ψ_1	ψ_2	Коэффициенты уравнения (1)	
			A	B
Гексан – изопропиловый спирт (ИПС)	60,17	8,25	-1,45	-0,88
Гексан – хлороформ	60,17	44,72	-1,18	1,83
Вода – ацетонитрил	80,27	81,94	-3,09	2,58
Вода – ИПС	80,27	8,25	-4,89	39,45
Вода – этанол	80,27	17,49	-4,41	15,37

Величина $T_{кип}$ является одним из важных критериев при выборе оптимальных растворителей для химических технологий. Она, например, должна быть достаточно высокой для предотвращения закипания в головках хроматографических насосов, так как паровые пузыри препятствуют работе клапанов насоса. Еще один недостаток легкокипящих жидкостей заключается в том, что при их использовании в многокомпонентных жидких системах состав последних нестабилен из-за испарения низкокипящего компонента, что приводит к невоспроизводимости условий проведения процесса.

В случае высокой токсичности или воспламеняемости летучего компонента возникают проблемы, обусловленные требованиями пожарной безопасности работ. С другой стороны, в препаративной жидкостной хроматографии и экстракции для облегчения выделения образцов из полученных фракций путем испарения сольвента требуется достаточно низкая температура кипения. Температура вспышки – параметр, прямо характеризующий пожарную опасность ЛВЖ, за исключением $T_{всп}$ растительных масел, где он характеризует отсутствие в масле остаточных количеств сольвента после экстракции масла из сырья.

На рис. 1-9 показаны результаты расчетов эмпирических зависимостей в виде 3D-диаграмм. Установлено, что для системы вода – ацетонитрил (этанол, ИПС) $T_{всп}$ нелинейно увеличивается с увеличением доли воды, при этом ψ , проходя через экстремумы, уменьшается, $T_{кип}$ также меняется от состава и во взаимосвязи с проницаемостью сложно, с экстремумами на зависимостях, на летучесть бинарных жидкостей влияет способность к образованию компонентами водородных связей, их поверхностная активность.

Для системы гексан – ИПС характерно резкое возрастание $T_{всп}$ при высоких долях ИПС, напротив, проницаемость смесей в которых преобладает ИПС минимальная. В системе гексан – хлороформ $T_{всп}$ резко возрастает с увеличением объемной доли негорючего хлороформа, при этом максимальная проницаемость характерна для гексана и смесей с низким содержанием хлороформа. Наблюдается общая тенденция – чем ниже проницаемость, тем выше точки вспышки и кипения. Таким образом, чем ниже

проницаемость, чем выше температуры кипения и вспышки, тем меньше пожарная опасность бинарных систем водно-органических и органических растворителей.

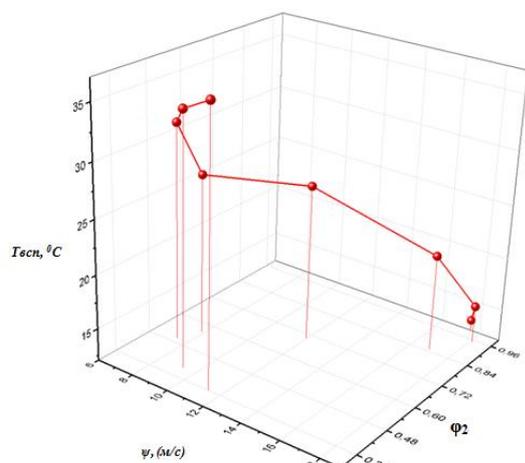


Рис. 1. Зависимость $T_{всп}$ системы этанол – вода от объемной доли этанола (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

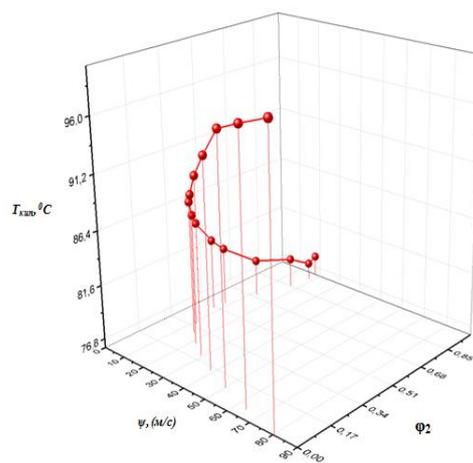


Рис. 2. Зависимость $T_{кип}$ системы этанол – вода от объемной доли этанола (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

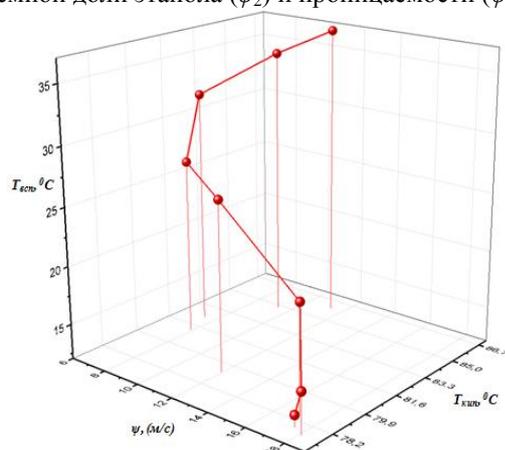


Рис. 3. Зависимость $T_{всп}$ и $T_{кип}$ в системе этанол – вода от проницаемости (ψ , м/с)

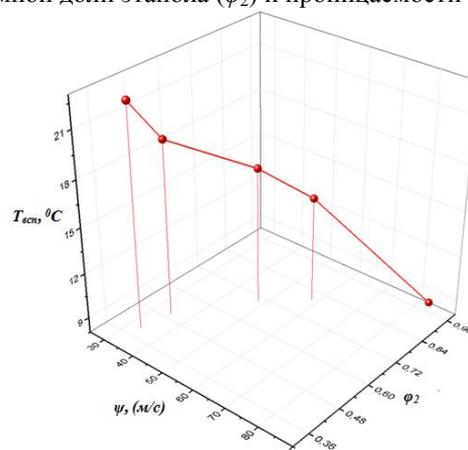


Рис. 4. Зависимость $T_{всп}$ системы ацетонитрил – вода от объемной доли ацетонитрила (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

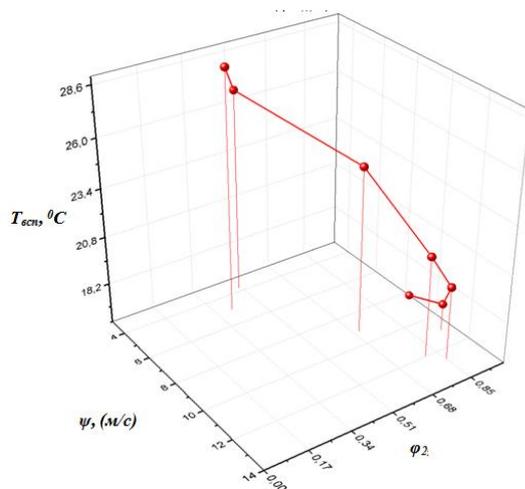


Рис. 5. Зависимость $T_{всп}$ системы ИПС – вода от объемной доли ИПС (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

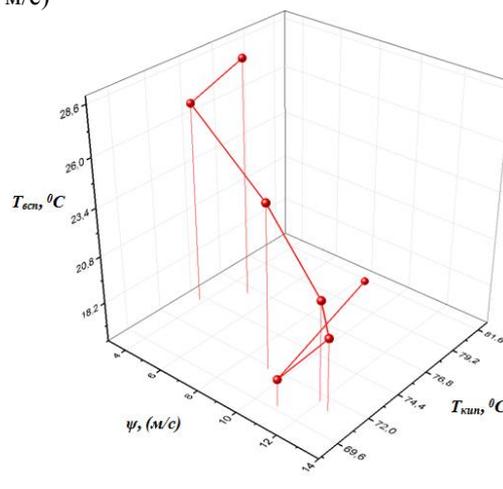


Рис. 6. Зависимость $T_{всп}$ и $T_{кип}$ в системе ИПС – вода от проницаемости (ψ , м/с)

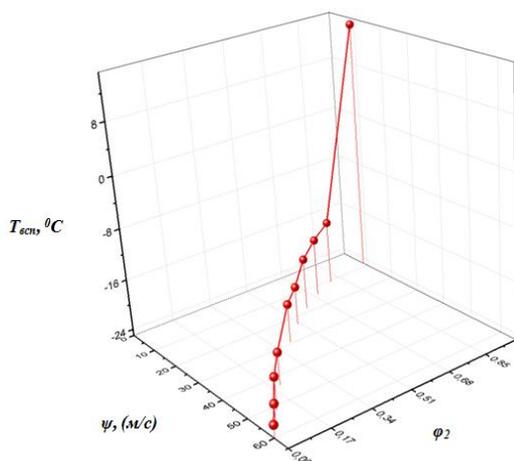


Рис. 7. Зависимость $T_{всп}$ системы ИПС – гексан от объемной доли ИПС (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

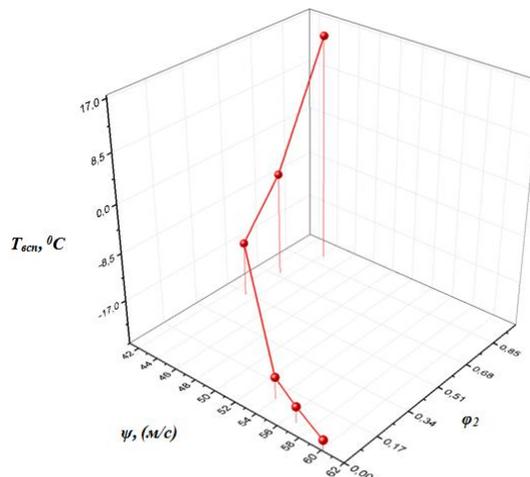


Рис. 8. Зависимость $T_{всп}$ смеси хлороформ – гексан от объемной доли хлороформа (ϕ_2) и проницаемости (ψ , м/с)

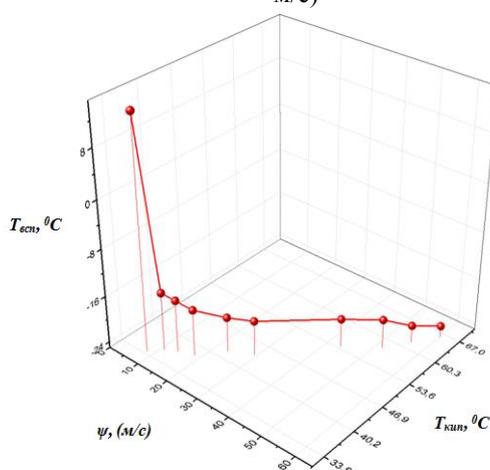


Рис. 9. Зависимость $T_{всп}$, $^{\circ}\text{C}$ и $T_{кип}$ системы ИПС – гексан от проницаемости (ψ , м/с)

Вместе с тем следует отметить, что исследуемые зависимости носят весьма сложный характер, на который оказывает влияние не только поверхностное натяжение, вязкость смесей, обуславливающих величину проницаемости, летучесть компонентов, но и их реакционная способность в реакциях окисления органических веществ кислородом воздуха.

Список литературы

1. Рудаков О.Б., Д.С. Беляев, Паринов Д.Б., Рудакова Л.В. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов//Пожарная безопасность, 2005, №6, с. 81-85.
2. Рудаков О.Б., Беляев Д.С., Хорохордина Е.А., Подолина Е.А. Поверхностное натяжение бинарных подвижных фаз для жидкостной хроматографии//Журнал физической химии, 2007, том 81, № 3. с. 438-441.
3. Преображенский М.А., Рудаков О.Б. Зависимость температуры кипения бинарных водно-органических смесей от состава// Журн. физич. химии, 2015, Т. 89, №1, с. 69-72
4. Рудаков О.Б., Бочарова О.Н. Температура кипения бинарных подвижных фаз для высокоэффективной жидкостной хроматографии//Журнал физической химии, 2000, Т. 74, №6, с. 1059-1064

5. Рудаков О.Б., Черепяхин А.М., Исаев А.А., Рудакова Л.В., Калач А.В. Температура вспышки бинарных растворителей для жидкостной хроматографии// Конденсированные среды и межфазные границы, т. 13, №2, 2011, с.191-195.

6. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Подолина Е.А., Барсукова Л.Г. Изотермы проницаемости бинарных подвижных фаз для жидкостной хроматографии//Журн. физич. химии. 2009. Т. 83. № 11. С. 2165-2168.

7. Рудаков О.Б., Калач А.В., Бердникова Н.В. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их водных растворов//Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 1. С. 31-32.

8. Рудаков О.Б., Калач А.В., Черепяхин А.М., Исаев А.А. Пожарная опасность бинарных органических растворителей для жидкостной хроматографии // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 8. С. 9-11.

9. Черепяхин А.М., Исаев А.А., Барсукова Л.Г., Рудаков О.Б. Пожарная опасность бинарных растворителей для жидкостной экстракции и хроматографии // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2011. № 3-4. С. 144-149.

10. Черепяхин А. М., Хорохордина Е. А., Рудаков О. Б., Калач Е. В. Поверхностное натяжение и пожароопасные свойства смешанных растворителей // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 10.

Калач Елена Владимировна – доцент кафедры физики Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, к.т.н.

Любарь Александр Викторович – ведущий инженер управления научной деятельности Воронежского ВГАСУ, к.т.н.

Кузива Ирина Вячеславовна – студент 30416 Строительно-технологического факультета Воронежского ВГАСУ.

УДК 699.814.6:697.92

В.И. Буянов, В.А. Чертов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ДЫМОУДАЛЕНИЯ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ ПРИ ПОЖАРЕ

Приведены результаты модельных испытаний элементов противодымной защиты лестничной клетки высотного здания при пожаре с одновременным воздействием ветра. Предложены рекомендации для комплексного повышения эффективности и снижения затрат на эксплуатацию противодымных систем зданий.

Ключевые слова: *противодымная защита, вентиляция, моделирование, ветровая нагрузка, высотные здания, лестничные клетки, люки дымоудаления.*

V.I. Buianov, V.A. Chertov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMOKE REMOVAL SYSTEMS IN HIGH-RISE BUILDINGS IN CASE OF FIRE

The results of model tests elements smoke protection of the stairwell of a high-rise building In a fire with a simultaneous effect of the wind. Recommendations for comprehensive improve efficiency and reduce operating costs smoke protection systems of buildings.

Keywords: *smoke protection, ventilation, modeling, wind load, high-rise buildings, stairwell, smoke hatches.*

Введение

При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий повышенной этажности (10 и более этажей) основное значение придается обеспечению безопасной эвакуации людей при пожарах. Особенностью зданий повышенной этажности является то, что при пожаре существенно возрастает время эвакуации людей по лестницам. Кроме того, каналы и неплотности в перекрытиях способствуют задымлению всего здания по высоте [1].

По данным опубликованной открытой статистики главными причинами гибели людей при пожарах являются:

- действие продуктов горения (до 76% от общего числа погибших);
- высокая температура (до 19% от общего числа погибших).

Большинство применяемых в быту для отделки помещений полимерных материалов имеют теплостойкость 40-100 °С. Согласно противопожарным нормам проектирования зданий и сооружений [2] при открытом горении в помещении температура 556 °С может быть достигнута через 5 мин после возникновения пожара. Таким образом, уже в начальной стадии пожара, происходит интенсивное образование токсичных паров и газов.

Продукты горения, выделяемые при пожарах, содержат от 50 до 100 химических соединений, которые могут оказывать токсическое воздействие на человека за счет многократного превышения допустимого санитарными нормами уровня их концентрации в воздухе помещений, создают нарушение (потерю) видимости на путях эвакуации из здания и движутся в сторону лестничных клеток и шахт лифтов, при этом скорость их распространения по вертикали может составлять 10 м/мин и более. В течение нескольких минут здание полностью задымляется, поэтому людям находиться в помещениях без специальных средств защиты органов дыхания невозможно.

Попадая в сильно задымленное помещение, человек теряет ориентировку, не может быстро отыскать выходы из здания и нередко гибнет от содержащихся в дыму токсичных веществ.

Незадымляемость лестничной клетки 2-го типа с подпором воздуха при пожаре может быть достигнута, если в нее нагнетать воздух в верхнюю зону с помощью вентиляторов. Эффективность незадымляемости лестничных клеток зависит от правильного выбора величины давления, производительности вентиляторов и безотказности работы вентиляционных агрегатов при пожаре. Избыточное давление создается величиной не менее 20 Па в нижней части отсека лестничной и не более 150 Па в верхней части отсека лестничной клетки при одной открытой двери [3]. Производительность вентиляторов для нагнетания воздуха определяют расчетом, основанном на данных экспериментов.

Результаты опытов, проведенных в пожарно-технической Академии МВД РФ (ВНИИПО) с моделью лестничной клетки типового 16-этажного жилого дома [4], подтвердили необходимость учета гравитационного и ветрового давлений, а также гидравлического сопротивления маршей и площадок лестничных клеток при расчетах расхода воздуха для поддержания заданного уровня избыточного давления.

Экспериментальная часть. При проведении вышеназванных лабораторных исследований действие ветрового напора не моделировалось. Поэтому авторами, с целью уточнения существующих рекомендаций по расчету незадымляемых лестниц 2-го типа, были проведены лабораторные эксперименты по исследованию работы элементов противодымной защиты лестничной клетки высотного здания при пожаре с одновременным воздействием ветра [5].

В экспериментах использовалась модель лестничной клетки 12-ти этажного здания размерами 130x260x560(h) мм, выполненная из оргстекла толщиной 3 мм в масштабе 1:60. Площадь миделевого сечения модели составляет $0,073 \text{ м}^2$ ($d_{\text{экр}}=0,15 \text{ м}$), что менее 10 % от площади поперечного сечения потока в рабочей части установки ($F_{\text{п}}=1,57 \text{ м}^2$), и соответствует условиям автомодельности ($Re=4025 > Re_{\text{кр}}=2300$). Модель лестничной клетки устанавливалась на геодезическом штативе, закрепленном в рабочей части установки. Внутреннее давление в полости модели создавалось с помощью центробежного вентилятора и регулировалось поворотной заслонкой. Суть экспериментов заключалась в продувке модели лестничной воздушно потоком со скоростью 5...10 м/с и определении изменения значения давления в полости модели с одновременным подсчетом расхода воздуха для поддержания давления в модели не ниже 20 Па.

В соответствии с указаниями СНиП [2] направление ветра принималось на фасад, противоположный эвакуационному выходу из здания, а избыточное давление в лестничной клетке определялось по отношению к давлению наружного воздуха на наветренной стороне здания. Проведенные эксперименты и расчеты позволили определить зависимость изменения величины расхода воздуха от высоты здания и скорости ветра для поддержания заданного уровня давления 20 Па в лестничной клетке (рис. 1), причем расчетный расход воздуха в зимний период (43...75 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ для разных высот зданий) более чем в 2 раза превышает расход для летнего периода (20...35 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$).

Влияние скорости ветра существенно проявляется при скоростях более 7 м/с и высоте здания более десяти этажей. Полученные результаты весьма точно аппроксимируются линейными функциями (значения R^2), уравнения которых приведены на графиках. Были также получены данные для различных соотношений линейных размеров натурального объекта и модели, что позволяет использовать их для большего количества объектов. Аппроксимирующие зависимости также приведены на графике (рис. 2).

Полученные данные применимы для многоэтажных и высотных зданий (от 10 до 24 этажей) при значении $m=60...120$ (m - отношение линейного размера натурального объекта к модели) [5].

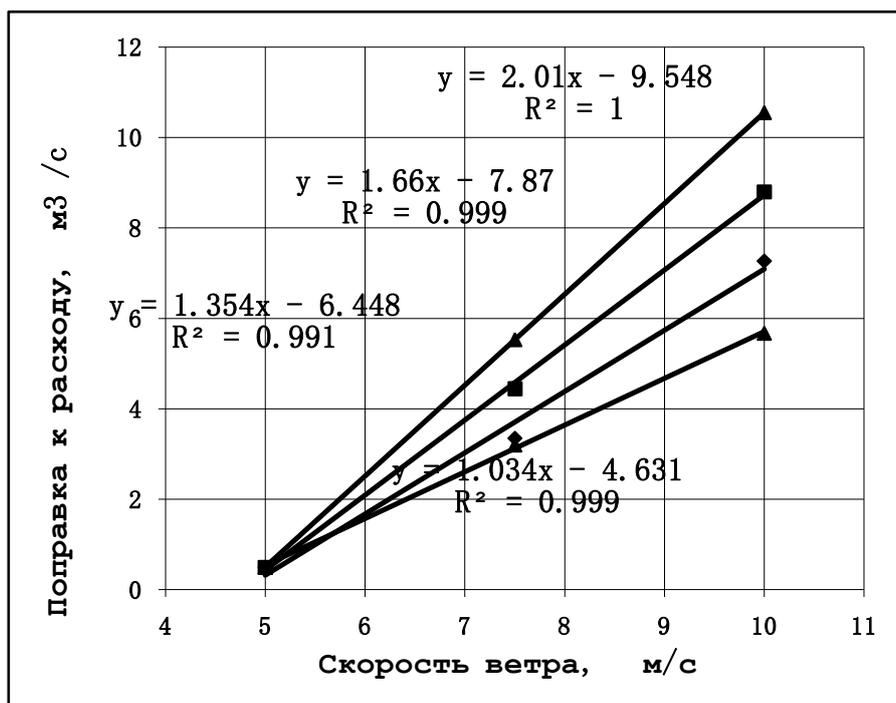


Рис. 1. Изменение расхода при увеличении высоты здания для значений $V = 5, 7.5$ и 10 м/с

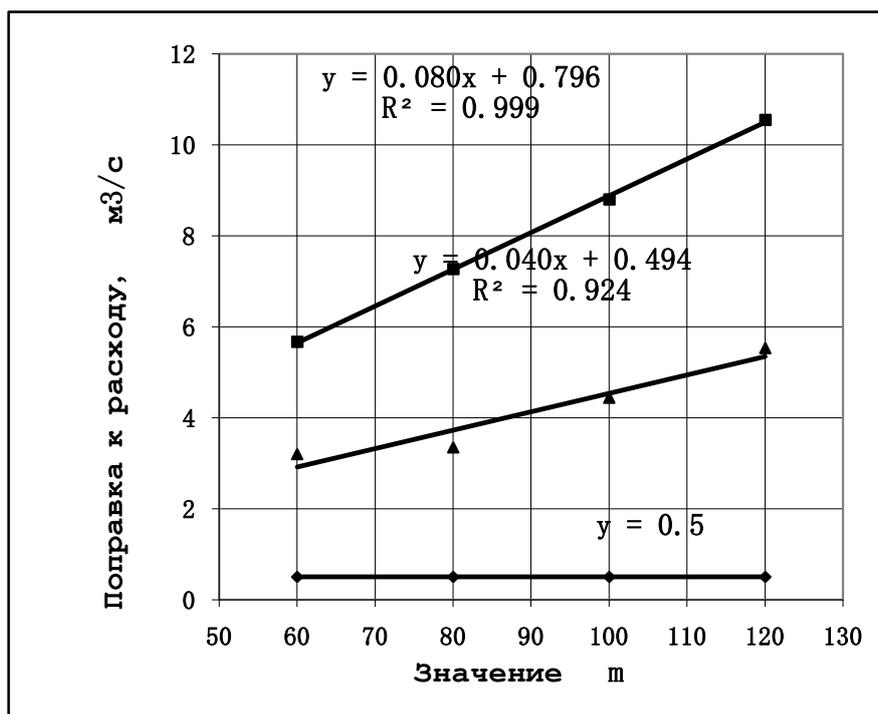


Рис. 2. Изменение расхода при увеличении скорости ветра для значений $m = 60, 80, 100$ и 120

Для перехода к натурным объектам используются формулы теории подобия для условий автомодельности:

$$L_n = L_m m^2 \sqrt{m},$$

где L_n - расход воздуха для натурального объекта;

L_m - расход воздуха для модели;

m - отношение линейного размера натурального объекта к модели.

Обсуждение результатов. Задымление одноэтажных зданий, верхних этажей многоэтажных зданий и подвалов также можно снизить или ликвидировать путем устройства люков для дымоудаления (удаление дыма естественной тягой через кровельные люки или вентиляционные каналы). При возникновении пожара центральная пожарная сигнализация (дымовые извещатели) посылает на пульт управления сигнал «Тревога», после чего происходит автоматическое открывание люков на кровле (или перекрытии). Это обеспечивает вывод основного объема дыма и токсичных веществ, а также способствует притоку необходимого объема свежего воздуха, достаточного для того, чтобы на незадымленных участках в течение определенного времени сохранялись условия для безопасной эвакуации людей.

Известная (и широко применяемая в практике строительства) конструкция вентиляционной дымовой шахты (ДВШ) для бесчердачного покрытия (разработчик – Госхимпроект) предполагает автоматически или вручную открывающийся поворотный клапан (люк) для дымоудаления и обеспечения незадымления путей эвакуации либо полного удаления дымовых газов из помещения. Данная конструкция, хотя и выполняет свое основное назначение в период пожара (если её параметры соответствуют расчетным [4]), то всё остальное время эксплуатации здания она не участвует в его функционировании, оставаясь почти неостровобанной (исключая весьма трудоемкий вариант ручного открытия для создания дополнительной аэрации помещения), если пожара никогда не будет. При этом элементы ДВШ усложняют конструкцию кровли за счет необходимости устройства отверстий в ней и возведения дополнительных надстроек шахтного типа с обрамлением, что удорожает себестоимость строительства и эксплуатации зданий.

Альтернативным (но и более функционально эффективным, по нашему мнению) вариантом данной конструкции ДВШ является автоматизированные светопрозрачные люки ВЕЛУКС фирмы ИКОПАЛ, которые постоянно работают как светоаэрационные фонари, при этом выполняют свою функцию и при возникновении пожара в здании [6].

Расчет параметров и количества таких устройств может проводиться по аналогии с известной конструкцией Госхимпроекта, но наличие дополнительных возможностей использования их не только в период чрезвычайных ситуаций (пожара), но в период нормальной эксплуатации здания позволит существенно повысить эффективность применения таких устройств и, соответственно, снизить затраты на эксплуатацию здания, обеспечивая при этом требуемый уровень пожарной безопасности.

Надо отметить, что часто применяемая проводная система связи датчиков с постом сигнализации является достаточно уязвимой (ненадежной) при возникновении пожара, а заполнение всего объема лифтовой шахты воздухом повышенного давления для обеспечения дымоудаления требует значительного времени работы вентиляторов, либо применения высокопроизводительного (и, соответственно, более дорогого) вентиляторного оборудования. Кроме того, в последние годы количество высотных зданий существенно увеличилось при одновременном увеличении их этажности. Эти факторы, с одной стороны, вызывают рост потенциальной опасности возникновения чрезвычайных ситуаций при пожаре, а, с другой стороны, обуславливают повышенные эксплуатационные затраты для таких зданий при использовании традиционных («старых») принципов организации их противодымной защиты.

Заключение. Для снижения эксплуатационных затрат и повышения эффективности работы системы дымоудаления при пожаре авторами предлагается следующих мероприятия:

- установка датчиков направления и скорости ветра на крыше здания и соединение их с вентиляторами дымоудаления;
- установка датчиков ветрового давления (+) или отсоса (-) на верхнем этаже здания и соединение их с противодымными клапанами;
- размещение датчиков на каждом фасаде здания (минимум – 4 шт.);
- оборудование датчиками задымления лифтовых шахт;
- использование беспроводных систем связи между элементами противодымной защиты;
- разделение объема лифтовых шахт (как минимум, на два отдельных объема) для ускорения процесса дымоудаления из шахт, либо работы вентиляторов лишь в том объеме, где имеет место задымление.

Список литературы

1. Рекомендации по противодымной защите при пожаре (к СниП 2.04.05-91*). МДС 41-1.99 / ГПК НИИ Сантехпроект.-М.:ГУП ЦПП, 2000. 37 с.
2. Свод правил пожарной безопасности СП 7.13130.2009 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования». -М.: Проспект, 2010. 48 с.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.-М.: АПП ЦИТП, 1992. 64 с.
4. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий. - М.: ВНИИПО, 2008. 48 с.
5. Буянов В. И., Чертов В. А. Моделирование работы противодымной защиты лестничных клеток высотных зданий при ветровых воздействиях // Научно-техн. проблемы систем теплогасоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения : Межвуз. сборн. науч. тр.; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж, 2002. С.152-156.
6. Буянов В.И., Чертов В.А. Повышение эффективности применения люков дымоудаления при эксплуатации зданий // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций ; Сб. статей по матер. Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, Воронеж, 18 апреля 2014 г. / ФГБОУ Воронеж. ин-т ГПС МЧС России. Воронеж, 2014. С. 467-471.

Буянов Виктор Иванович – доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: ppb@vgasu.vrn.ru. Тел.: 8 (473) 271-30-00
Чертов Вячеслав Алексеевич – к.т.н, доцент, кафедры технологии строительного производства Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: tsp@vgasu.vrn.ru. Тел.: 8 (473) 271-53-62.

УДК 697.95: 726.5

А.Г. Кочев, А.С. Сергиенко

АЭРАЦИЯ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ

В статье изложены данные по нахождению аэродинамических характеристик православных храмов с целью последующего их применения для расчета систем их естественной вентиляции (аэрации).

Ключевые слова: аэродинамические коэффициенты, аэрация, православные храмы.

A.G. Kochey, A.S. Sergienko

AERATION OF ORTHODOX CHURCHES

The article presents data on the determination of the aerodynamic characteristics of the Orthodox churches in order to further their application for the calculation of natural ventilation systems (aeration).

Keywords: aerodynamic coefficients, aeration, Orthodox churches.

Введение. Основной задачей для создания и поддержания требуемых метеорологических условий в помещениях уникальных по своей конструкции православных храмов является ассимиляция избыточной теплоты, водяных паров и углекислого газа, выделяемых от людей, зажжённых свечей и лампад. В холодный период года при температуре в молебном зале $14\div 16$ °С каждый человек выделяет до 40 г/ч, а в тёплый период при температуре $23\div 25$ °С - до 50 г/ч водяного пара, а количество водяного пара, выделяемого при сжигании свечей, составляет 1,3 кг/кг парафина. Процесс сжигания свечей сопровождается и выделением сажи при неполном сгорании парафина. Для более точного расчета выделяемых вредностей необходимо обследование каждого конкретного храма [1].

Для ассимиляции теплоты, влаги (водяного пара) и углекислого газа, выделяющихся в храме во время службы, необходимо конструировать вытяжные фрамуги или системы вентиляции, иначе все эти компоненты начинают переноситься в храме рециркуляционными конвективными потоками. Сажа обладает свойством поляризации, поэтому при движении воздуха образуется статический потенциал на вертикальных ограждающих конструкциях над отопительными приборами, в храме видны следы осевшей сажи (копоты). При отсутствии вытяжной вентиляции это приводит к потемнению стен и свода купола.

В настоящее время известны случаи установки в храмах пластиковых окон и современных уплотнённых деревянных оконных переплётов с однокамерными и двухкамерными стеклопакетами. Эти конструкции оконных переплётов исключают поступление наружного воздуха через неплотности оконных проёмов и создают условия для образования сосредоточенных (компактных) воздушных потоков, врывающихся в храм при открывании наружных дверей. Поэтому в храмах не следует устанавливать современные пластиковые и герметичные деревянные оконные переплеты со стеклопакетами. В храмах, в которых уже установлены данные элементы остекления, следует конструировать в оконных переплетах специальные устройства (аэрационные фрамуги, щелевые зазоры с заслонками) для обеспечения регулируемого воздухообмена в храме для холодного, переходного и тёплого периодов года.

Теоретическая часть. Естественная вентиляция обладает свойством саморегулирования из-за изменения разности удельных весов приточного и удаляемого из помещения храма воздуха, по периодам года и во время службы.

Конструирование систем естественной вентиляции следует осуществлять с учётом исключения образования компактных приточных струй, поступающих в зону дыхания человека и наиболее эффективного удаления загрязнённого воздуха из объёма помещения, с помощью элементов конструкций вытяжных систем, не портящих интерьер и фасады здания храма.

Для расчета систем естественной вентиляции (аэрации) требуется знание аэродинамических коэффициентов храмов, которые в подавляющем большинстве случаев имеют уникальную архитектуру. Это приводит к необходимости нахождения данных коэффициентов экспериментально путем продувки моделей зданий в аэродинамической трубе.

Точное соблюдение условий моделирования практически осуществить достаточно трудно, поэтому применяются методы приближенного моделирования, основанные на особых свойствах движения вязкой жидкости: стабильности и автомодельности.

При этом важнейшим условием является соблюдение подобия лабораторных исследований и природных явлений в отношении определяющих процесс критериев.

Говоря о модели и натуре, прежде всего, подразумевают их геометрическое подобие, то есть пропорциональность всех линейных размеров модели и натуре и равенство их соответственных углов (масштаб модели).

Кроме геометрического подобия при проведении экспериментов необходимо учитывать следующие критерии (числа): число Рейнольдса Re , число Бэрстоу Ba , число Коши Ca , число Эйлера Eu , число Фруда Fr , число Струхала Sh , степень турбулентности потока ε .

Экспериментальная часть. Обсуждение результатов. Аэродинамическая труба позволяет получать в рабочей части, где располагается исследуемая модель объекта, искусственный равномерный поток воздуха, с равномерным и прямолинейным полем скоростей. Помимо этого необходимо обеспечить малый градиент статического давления вдоль оси потока и малую начальную турбулентность потока в рабочей части трубы, что может привести к искажению результатов опытов.

Исследование моделей зданий проводилось нами на установке, показанной на рис. 1.

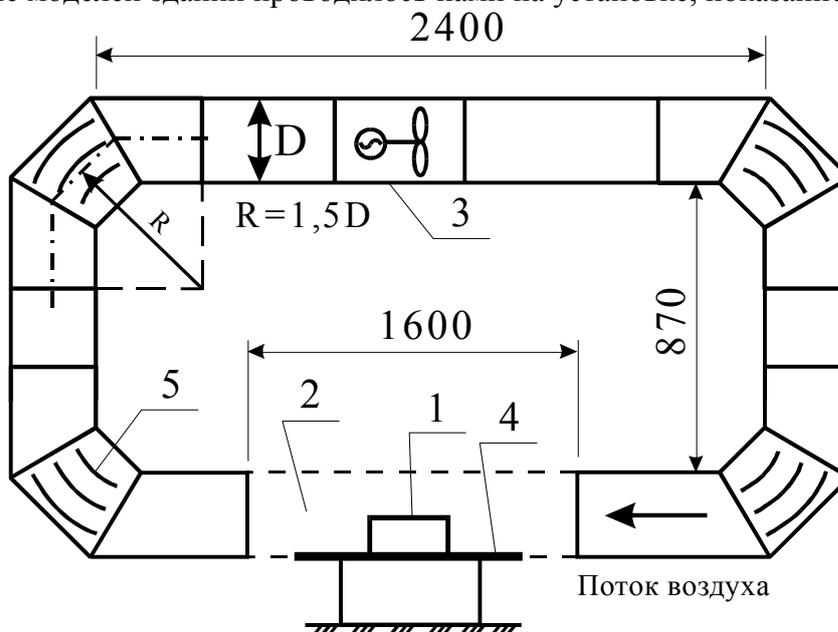


Рис. 1. Установка для исследования аэродинамических характеристик моделей зданий:

1 - исследуемая модель объекта; 2 - рабочая область аэродинамической трубы; 3 - аэродинамическая труба с осевым вентилятором; 4 - подставка под модель здания; 5 - направляющие ребра (размеры даны в миллиметрах)

Для исследования выполняется модель здания в масштабе 1:50 или 1:100, после чего в модели в вероятных местах установки аэрационных фрамуг устанавливаются трубки для фиксации давления на внешней поверхности модели при различных направлениях воздушного потока. Вторые концы трубок соединяются с микроманометром гибкими шлангами.

Нами были проведены эксперименты по определению аэродинамических характеристик следующих моделей православных храмов: собор св. Александра Невского (1867-1881 гг.), г. Нижний Новгород; Троицкая церковь (1784 г.), г. Балахна, Нижегородская область; Крестовоздвиженский собор (1902-1917 гг.), Пермский край.

Расположение точек замеров статического давления в модели собора св. Александра Невского приведено на рис. 2.

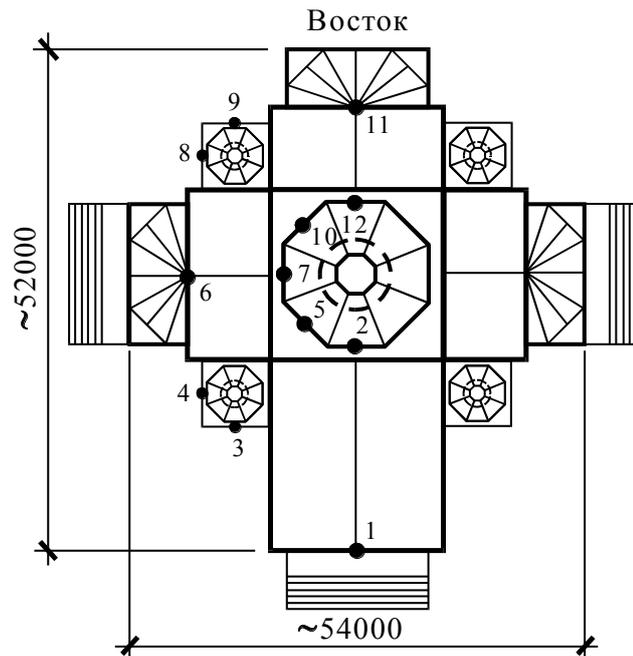


Рис. 2. Расположение точек замеров статического давления на наружной поверхности модели собора св. Александра Невского (1 - верхний ярус; 2 - центральный барабан; 3 - верхний ярус; 4 - верхний ярус; 5 - центральный барабан; 6 - верхний ярус; 7 - центральный барабан; 8 - верхний ярус; 9 - верхний ярус; 10 - центральный барабан; 11 - верхний ярус; 12 - центральный барабан)

Динамическое давление потока воздуха P_d , Па, определялось по формуле

$$P_d = \frac{\rho_v \cdot v_v^2}{2}, \quad (1)$$

где ρ_v - плотность воздуха, кг/м^3 , v_v - скорость потока воздуха, м/с.

Статическое давление в i -ой точке замера P_{ci} , Па, с учетом коэффициента микроманометра k определяется по соотношению

$$P_{ci} = 9,81 \cdot k \cdot h. \quad (2)$$

В данном случае под h подразумевается высота подъема жидкости по шкале микроманометра ММН-240(5), мм, k - коэффициент прибора. Аэродинамический коэффициент C_{vi} равен

$$C_{vi} = \frac{P_{ci}}{P_d}. \quad (3)$$

Измерения для каждой точки проводились для восьми направлений воздушного потока: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ.

Полученные значения C_v принимаются равными аэродинамическим коэффициентам соответствующих моделям натуральных православных храмов (табл. 1).

Таблица 1

Значения C_v на поверхности собора св. Александра Невского (г. Нижний Новгород) при различных направлениях воздушного потока

Номер точки замера	C_v при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	-0,18	-0,21	-0,38	-0,57	+0,93	-0,57	-0,38	-0,21
2	-0,39	-0,31	-0,35	+0,46	+0,95	+0,46	-0,35	-0,31
3	-0,17	-0,39	-0,39	+0,83	-0,55	-0,44	-0,34	-0,28
4	-0,33	+0,44	+0,84	+0,81	-0,51	-0,55	-0,20	-0,26
5	-0,32	-0,43	+0,35	+0,25	-0,26	-0,53	-0,37	-0,46
6	-0,41	-0,47	+0,89	-0,54	-0,39	-0,38	-0,29	-0,36
7	-0,35	+0,42	+0,92	+0,42	-0,73	-0,39	-0,42	-0,32
8	-0,39	+0,81	+0,84	+0,44	-0,35	-0,26	-0,21	-0,33
9	+0,84	+0,77	-0,49	-0,36	-0,21	-0,24	-0,36	+0,45
10	+0,35	+0,23	+0,28	-0,43	-0,28	-0,47	-0,36	-0,43
11	+0,92	-0,41	-0,41	-0,20	-0,20	-0,20	-0,41	-0,41
12	+0,92	+0,33	-0,38	-0,35	-0,27	-0,35	-0,38	+0,33

Характер движения воздушных потоков в помещении православного храма для некоторых случаев представлен на рис. 3-5.

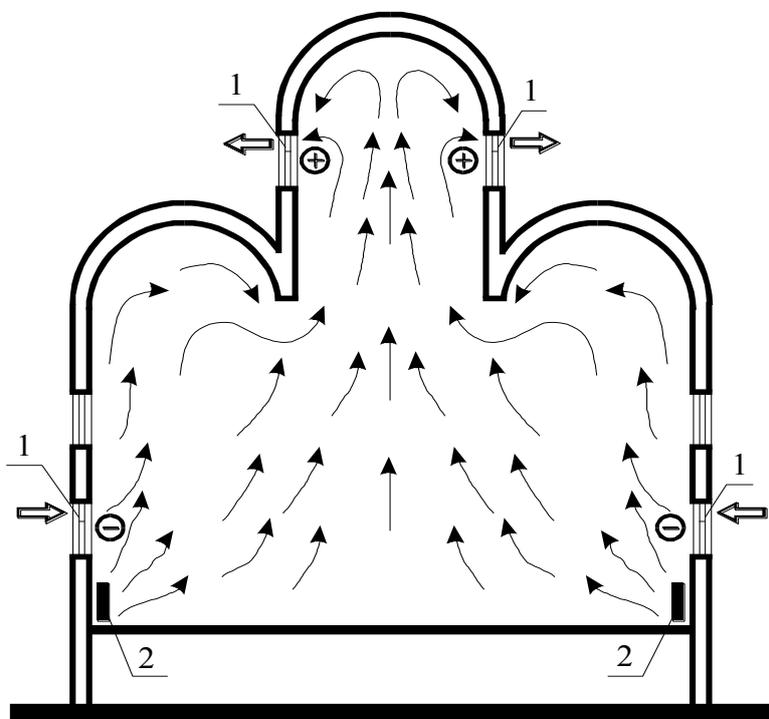


Рис. 3. Схема движения воздушных потоков в православном храме при учете только гравитационного напора (при безветрии): 1 - аэрационная фрамуга; 2 - нагревательный прибор

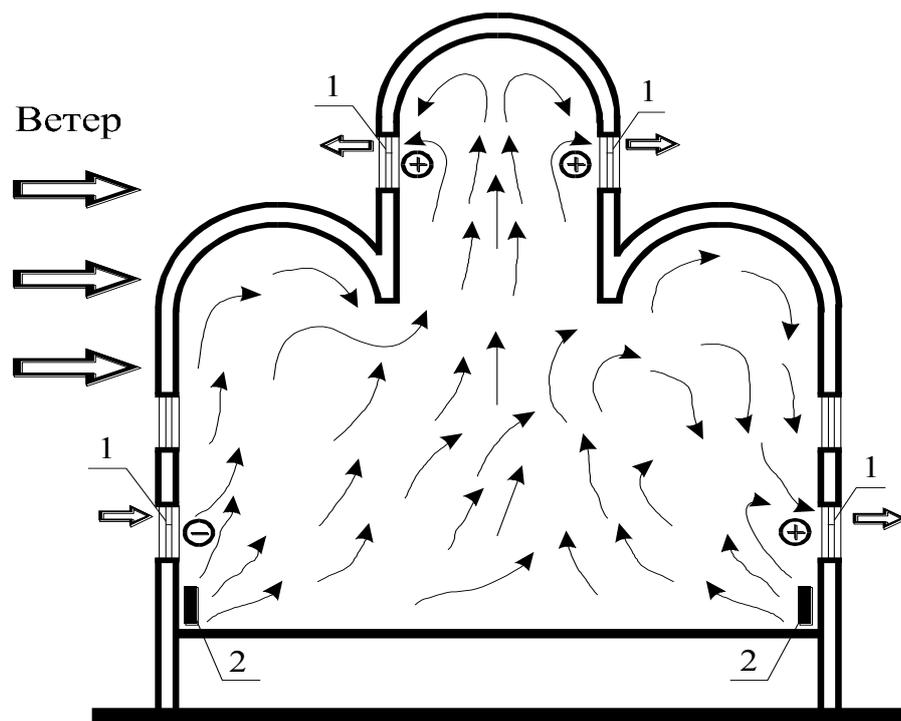


Рис. 4. Схема движения воздушных потоков в православном храме при учете тепловой и ветровой нагрузки: 1 - аэрационная фрамуга; 2 - нагревательный прибор

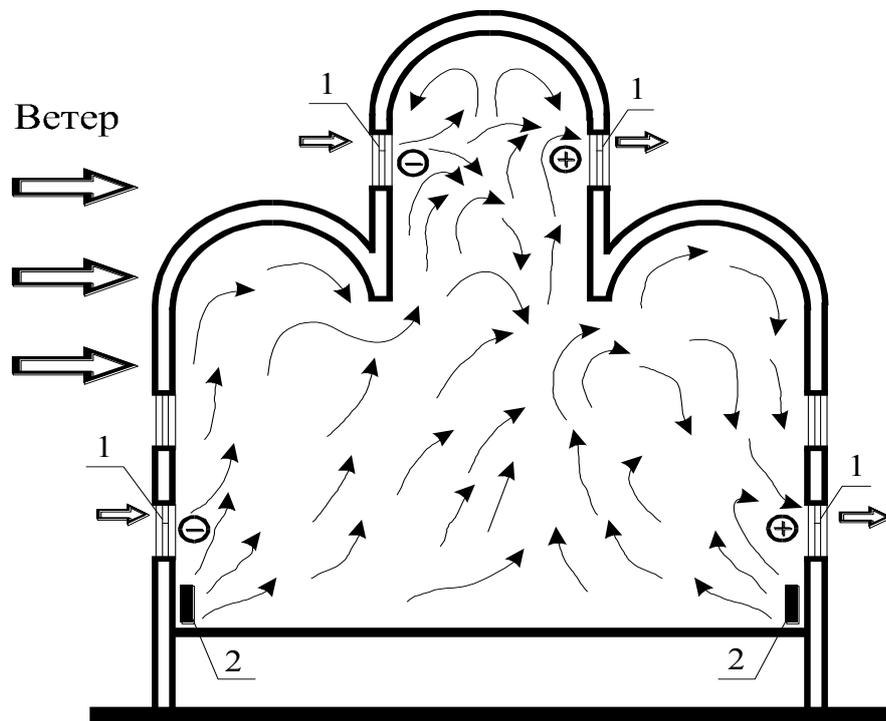


Рис. 5. Схема движения воздушных потоков в православном храме при учете тепловой и значительной ветровой нагрузки: 1 - аэрационная фрамуга; 2 - нагревательный прибор

Выводы. Полученные значения аэродинамического коэффициента C_v дают возможность рассчитать аэрационный воздухообмен помещений церквей для создания и поддержания требуемых параметров микроклимата.

Точные значения аэродинамических коэффициентов C_v позволяют организовать расчетный воздухообмен за счёт аэрации внутри уникальных зданий и сооружений. Для удаления влагоизбытков из храмов рекомендуется использовать естественный воздухообмен из-за акустических требований и минимальной энерговооружённости таких сооружений, особенно для зданий, в которых не проводится генеральная реконструкция.

Расчет систем естественной вентиляции рекомендуется производить для 3-х расчетных периодов года: тёплого, переходного и холодного при различной заполняемости помещений людьми (минимальной, средней и максимальной).

В дополнение к изложенному следует сказать, что учет внутренней аэродинамики храмов и факторов, на нее влияющих, позволяет комплексно решить вопрос организации воздухообмена помещений здания [2].

Исследуемый материал представляет ценность при восстановлении разрушенных зданий и сооружений, а также для нормализации воздухообмена в действующих зданиях для предотвращения конденсации влаги на различных элементах ограждающих конструкций, на поверхностях икон, фресок и предметах культовых обрядов.

Список литературы

1. Кочев, А.Г. Анализ полей аэродинамических коэффициентов православных храмов Нижнего Новгорода [Текст] / А.Г.Кочев, М.М.Соколов, А.С.Сергиенко, М.А.Кочева // Приволжский научный журнал. - 2014. - № 4. - С. 146-151.

2. Кочев, А.Г. Исследование влияния внешней и внутренней аэродинамики на естественную вентиляцию в православных храмах [Текст] / А.Г.Кочев, М.М.Соколов, А.С.Сергиенко // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы XI Международной научной конференции, 23 марта-5 апреля 2013 г., Ханой / сост. А.Н.Гвоздков; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград: ВолгГАСУ, Нац. строит. ун-т. Ханой, Рос. академия арх. и строит. наук. - 2013. - С. 200-205.

Кочев Алексей Геннадьевич - д. т. н., профессор кафедры "Теплогазоснабжение" ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет", заведующий кафедрой. E-mail: tgs@nngasu.ru. Тел.: (831) 433-45-35.

Сергиенко Алексей Сергеевич - к. т. н., доцент кафедры "Отопление и вентиляция" ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет". E-mail: sergienko@veza.ru. Тел.: (831) 430-54-85.

УДК 666.965.2

Г.И. Черноусенко

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «МОНОПОР»

Приведены результаты разработок инновационных технологий строительной системы «Монопор», выполненные автором, обобщен многолетний опыт строительства и эксплуатации опытно-экспериментальных объектов в ракурсе ресурсо- и энергосбережения, предлагается вариант преодоления препятствий на пути использования эффективных проектно-конструкторских и технологических решений.

Ключевые слова: ресурсо- и энергосбережение, поризованный бетон, строительство.

G.I. Chernousenko

RESOURCE AND ENERGY SAVING ON THE BASIS OF CONSTRUCTION SYSTEM “MONOPOR”

The results of elaboration of innovative technologies of construction system “Monopor”, performed by the author are given, summarizes many years of experience of the construction and exploitation of pilot objects in foreshortening of resource and energy conservation, the variant of overcoming obstacles to the effective use of project design and technological decisions.

Keywords: resource and energy saving, porous concrete, construction

Во всем мире предоставление максимально широких возможностей для развития малого и среднего бизнеса является актуальным. В этих условиях легко реализуются и инновационные проекты, как в промышленности, так и сельском хозяйстве.

В данной работе приведены результаты авторских разработок, обеспечивающие эффективное ресурсо- и энергосбережение в области строительства.

Строительство жилья, объектов производственного и социального назначения, несмотря на высокий уровень материало- и энергоемкости, а также трудоемкости во все времена было необходимым и востребованным. Предлагается сравнительно новый способ строительного производства – возведение зданий и сооружений с массовым применением конструкций из поризованного бетона. Необходимо акцентировать внимание на факторе производительности труда. На основе многолетней опытно-экспериментальной работы можно отметить, что по этому интегральному показателю эффективности строительного производства предлагаемый способ превосходит все известные и широко используемые в несколько раз.

Суть предлагаемых проектно-конструкторских и технологических решений состоит в использовании мелкозернистого поризованного бетона различной плотности как универсального строительного материала. Универсальность его состоит, прежде всего, в том, что из него возможно исполнить все конструктивные и ограждающие элементы любых зданий и сооружений различного назначения. При этом набор эксплуатационных параметров этих элементов: прочность, теплозащита, влаго- и морозостойкость можно обеспечить на уровне близком к расчетному.

При строительстве одного из экспериментальных жилых домов в 2010 году трудозатраты на создание 1 кв.м полезной площади без учета отделочных работ составили около 3 человеко/дней, а средняя выработка на рабочего среднего уровня квалификации составила 1 м³/день готовых монолитных железобетонных конструкций таких как

фундамент, стены, двускатная крыша и др. Достигнутый уровень производительности труда рабочего при выполнении полного набора общестроительных работ - земляных, монолитная заливка фундамента, несущих стен, перекрытий, крыши, балконов, отмостки и других превосходит аналогичные показатели, достигаемые при других схемах производства. Главной отличительной особенностью предлагаемого способа строительного производства является кратчайшая технологическая цепочка превращения исходного строительно-сырьевого материала (песок, цемент, вода, воздух) в железобетонные элементы каркаса зданий и сооружений в монолитном исполнении. Можно заявить, что использование наработанных проектно-конструкторских решений и технологий позволяет при возведении любых объектов малоэтажного строительства (до 6-ти уровней) обходиться без традиционных строительных материалов и конструкций - кирпича, стеновых и фундаментных блоков, плит-перекрытий.

Остановимся на экономических аспектах приготовления поризованных бетонных смесей с заданными свойствами, которые должны обеспечивать монолитное исполнение несущих и ограждающих элементов различных объектов с требуемым набором эксплуатационных свойств. В себестоимости приготовления смесей большую долю составляет наиболее доступное и эффективное вяжущее – портландцемент. В зависимости от вида конструкций и выполняемых строительных работ расход цемента составляет 250-350 кг/м³ и не превышает его расходы при производстве традиционных строительных железобетонных конструкций.

Физико-механические свойства поризованной смеси регулируется количеством песка, который является доступным и сравнительно недорогим видом заполнителя в бетоне. При этом для широкого перечня пенобетонных смесей допускается использование песков пылеватых и с большим содержанием глинистых частиц, что не допускается в традиционном строительном производстве.

К воде затворения смесей тоже особых требований нет. Возможно использование даже морской и минерализованной.

Примененные в работе синтетические комплексные воздухововлекающие добавки отечественного производства доказали свою эффективность, они разрешены специальными службами к применению в строительстве, доступны по цене и экономичны по расходу в рецептурах смесей.

Входящая в состав бетона фибра, также отечественного производства, является структурообразующим компонентом, повышающим устойчивость смеси, трещиностойкость и итоговые прочностные параметры бетона и конструкций в целом. Применение фибры, как показывают экономические расчеты, является сравнительно недорогим и эффективным элементом затрат при подсчете себестоимости.

В заключении автор имеет право заявить, что основным и главным компонентом смесей является атмосферный воздух, представленный в виде мельчайших пузырьков при диаметре менее 1 мм. Он может занимать в объеме бетона от 10 до 90% и до настоящего времени является бесплатным строительным материалом.

Установлено, что материально затраты на приготовление смеси в денежном выражении находятся в диапазоне 40 – 50% от стоимости 1 тонны цемента, что в 2-3 раза ниже, чем при приготовлении смеси для исполнения аналогичных видов общестроительных работ по традиционным технологиям.

Опытно-экспериментальное строительство ряда объектов по предлагаемой технологии продемонстрировало затраты электроэнергии при строительстве жилых домов на уровне 3-5 кВт/ч на 1м³. Это в десятки раз ниже, чем при строительстве по любым другим технологиям при сопоставимых характеристиках элементов зданий и сооружений. Поэтому можно говорить об энергосбережении в строительстве не только на стадии эксплуатации энергоэффективных объектов, но и на стадии их возведения, что немаловажно для заказчиков и подрядных строительных организаций. А что касается уровня эксплуатационной энергоэффективности ряда экспериментальных объектов, возведенных из

пенобетона, то их смело можно относить к классу «пассивных» в лучшем значении этого современного понятия. Проще говоря, в возведенных жилых объектах тепло зимой и комфортно летом без затрат дополнительных энергоресурсов. Тепловые и электрические затраты в построенных домах в 3-4 раза ниже по сравнению с типовыми домами в расчете на полезную площадь или кубатуру.

С энерговооруженностью тесно увязана механовооруженность объектов строительства. Затраты на работу крановой техники и транспортные услуги сейчас составляют в среднем около 10% в себестоимости готовой строительной продукции. В предлагаемом нами способе строительства можно обходиться без крановой техники и других подъемных механизмов, без специальной техники для транспортировки бетонов к месту укладки. Транспорт используется лишь для поставок на стройплощадку сырьевых материалов. Реальные затраты машино/часов оказываются на порядок ниже.

Таким образом, перечислены почти все основные виды ресурсов, применяемых в строительстве: трудовые, материально-сырьевые, энергетические, транспортные. Опыт строительства более 200 объектов на основе технологий строительной системы «Монопор» показал его высокую конкурентоспособность как на отечественном, так и зарубежном строительном комплексе. Доказательством столь смелых заявлений является сам факт эксплуатации многих объектов различного назначения, построенных с 1994 года в ряде регионов России и Украины.

В завершении следует констатировать ряд трудностей в продвижении этих эффективных технологий в широкую строительную практику:

1. Консерватизм инвесторов и заказчиков, которые отработали механизмы достижения своих экономических интересов на традиционном уровне развития строительного комплекса. Им проще, опираясь на рыночный механизм спроса-предложения, повышать цены, чем снижать затраты на создание готовой строительной продукции за счет технологических нововведений.

2. Естественная осторожность проектировщиков в использовании новых, а потому рискованных решений. Эффективные проектно-конструкторские и технологические решения, которые приводят к снижению сметной стоимости строительства, ведут к понижению уровня оплаты за проекты по сложившимся методикам формирования на них договорной цены.

3. Производственники и проектировщики не хотят финансировать разработку нормативных документов для технологий строительной системы «Монопор». Им не выгодно создавать основу для продвижения в широкую практику конкурентного способа строительного производства. Но заказчики и потребители строительной продукции очень заинтересованы в приходе в строительную практику инноваций, существенно снижающих затраты на возведение жилых, производственных и других объектов различного назначения по ресурсо-энергосберегающим технологиям.

Реально разрешить сложившееся противоречие может государство, которое способно и должно выступить заказчиком и профинансировать разработку необходимых нормативных документов. Наличие нормативной базы минимизирует риски для проектировщиков и проявятся новые возможности в конкуренции строителей на более низком уровне цен на строительную продукцию. Именно в этом заинтересованы потребители и само Государство, провозгласившее инновационную направленность в экономике.

Список литературы

1. Черноусенко Г.И. Эффективность опытно-экспериментального строительства с применением инновационных технологий // Научный вестник. Серия «Экономика, организация и управление строительством». Вып. 3. Воронеж, 2005, С. 120-124.
2. Черноусенко Г.И. Особенности твердения поризованного мелкозернистого бетона при отрицательных температурах. Новые исследования в материаловедении и экологии.// Сборник научных статей. Вып. 5. СПб, 2005, С. 84-87.
3. Перцев В.Т., Черноусенко Г.И. Особенности рецептуры поризованных бетонов.// Технологии бетонов, 2009, №4, С. 74-75.
4. Любомирский Н.В., Черноусенко Г.И. Применение поризованных бетонов в сейсмических регионах.// Технологии бетонов, 2009, №11-12, С. 26-27.
5. Черноусенко Г.И. Эффективные технологии производства и практического применения поризованных бетонов.// Научный вестник. Серия «Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения». Вып. 2(7). Воронеж, 2013, С. 55-59.
6. Ю.М. Борисов, Г.И. Черноусенко. Эффективные инновационные решения при выполнении общестроительных работ. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2008, №7, С. 78-79.
7. Черноусенко Г.И. Принципы конструирования, изготовления и эксплуатации смесителей для производства поризованных бетонов. // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. Всеукраинский сборник научных трудов, Вып. 83. – Киев, 2014, С. 55-60.

Черноусенко Григорий Иванович - генеральный директор ЗАО НПО "Стройтехавтоматика", г. Воронеж

ХРОНИКА, БИБЛИОГРАФИЯ

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МИРОВОЙ НАУЧНОЙ ПЕРИОДИКЕ

Различным аспектам современного строительного материаловедения посвящено достаточно большое количество научных журналов, в том числе ведущих мировых издательств. Ниже приведена общая библиографическая и наукометрическая информация, главным образом, о журналах издательства “Elsevier”.

Правила подготовки статей большинства отечественных научных журналов содержат редакционное указание включать в библиографический список ссылки на работы, опубликованные после 2000 года. Анализ современного мирового уровня является неотъемлемой частью практически любой научной работы, и было бы уместно видеть такой анализ, основанный, в том числе, на статьях из представленных здесь журналов, в публикациях “Научного вестника ВГАСУ”.

Практически все современные мировые журналы имеют собственную поисковую систему (по ключевым словам, дате публикации, автору и т.д.). Указанные журналы предоставляют свободный доступ, как правило, только к аннотациям статей, однако есть возможность получения полного текста выбранных статей (например, через сайт: <http://www.sci-hub.org/>).

Информационное обеспечение проводимых отечественных исследований может и должно быть более полноценным.

Cement and Concrete Research

<http://www.journals.elsevier.com/cement-and-concrete-research/>

The aim of *Cement and Concrete Research* is to publish the best research on **cement**, **cement composites**, **concrete** and other allied materials that incorporate cement.

Journal Metrics

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 3.923

SCImago Journal Rank (SJR): 4.516

Impact Factor: 3.848

5-Year Impact Factor: 4.368

Cement and Concrete Composites

<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp/>

This journal is designed to reflect current developments and advances being made in the general field of **cement-concrete composites** technology and in the production, use, and performance.

Journal Metrics

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 3.230

SCImago Journal Rank (SJR): 3.330

Impact Factor: 2.760

5-Year Impact Factor: 3.300

Construction and Building Materials

<http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat/>

Construction and Building Materials provides an international forum for the dissemination of research and development in the field of **construction** and **building materials** and their application.

Journal Metrics

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 3.010

SCImago Journal Rank (SJR): 1.953

Impact Factor: 2.265

5-Year Impact Factor: 2.769

Building and Environment

<http://www.elsevier.com/locate/buildenv/>

Building and Environment is an international journal that publishes original research papers and review articles related to building science and human interaction with the built environment.

Journal Metrics

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.544

SCImago Journal Rank (SJR): 1.634

Impact Factor: 2.700

5-Year Impact Factor: 3.022

Energy and Buildings

<http://www.journals.elsevier.com/energy-and-buildings/>

Energy and Buildings is an international journal publishing articles with explicit links to energy use in buildings. The aim is to present new research results, and new proven practice.

Journal Metrics

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.381

SCImago Journal Rank (SJR): 1.978

Impact Factor: 2.465

5-Year Impact Factor: 3.076

Magazine of Concrete Research (Impact Factor 0.759)

<http://www.icevirtuallibrary.com/content/serial/macrcr/>

Advances in Cement Research (Impact Factor 0.486)

<http://www.icevirtuallibrary.com/content/serial/adcr/>

Е.А. ТУТОВ

ПЕРСОНАЛИИ

75 лет со дня рождения и 55 лет научной работы профессора Фиговского Олега Львовича

Крупному ученому и изобретателю, профессору Фиговскому Олегу Львовичу в 2015 г. исполнилось 75 лет со дня рождения и 55 лет научной деятельности.

Олег Фиговский родился 9 апреля 1940 г. в Москве в семье инженерной интеллигенции. Работать пошел в 18 лет в НИИ Мосстрой.



В настоящее время он является директором по науке и развитию - международного Нанотехнологического Научно-исследовательского центра "Polymate L.t.d. - INRC", (Мигдаль-ха-Эмек, Израиль) и компании "Nanotechindustries" (Дейли Сити, Калифорния, США).

Главная область научных интересов Фиговского О.Л. – развитие композитных материалов на полимерной основе, силикатной и других матрицах, технологии их создания и достижения высоких функциональных свойств при эксплуатации в чрезвычайных условиях.

Он – автор более 300 научных публикаций и более 500 изобретений. Две книги "Полимерные бетоны и соединения"(США), и "«Наноматериалы на основе растворимых силикатов»(Германия), были изданы в 2014. Он получил много международных наград и призов:

- Золотые и Серебряные медали СССР ВДНХ (Россия);
- Государственный приз кабинета министров СССР (Россия);
- Золотые и Серебряные медали (IENA-98, Нюрнберг, Германия);
- Медаль "Ведущий интеллектуал мира" (Гарвард, США);
- Gold Angel Prize ("Genius 2006", Будапешт, Венгрия);
- Диплом почетного профессора ВГАСУ (Воронеж, Россия)
- Победитель NASA Nanotech Briefs®, Nano50™ Award_ (Бостон, США);
- Диплом уважаемого члена Палаты московского общества исследователей природы (Москва, Россия);
- Знак почета «Инженерная доблесть» (РИА) (Россия)

Фиговский О.Л. – член общества NACE (1992), иностранный член Российской Академии Архитектуры и строительных Наук РААСН (1995), Российской Технической Академии (2001), Европейской Академии наук (2004), главный редактор журнала "Scientific Israel - Technological Advantages" и "Innovation in Corrosion and Materials Science", член редакционных коллегий нескольких международных журналов (польский, Украина, Россия).

В возрасте 18 лет создал свое первое изобретение «Пласт-асфальтовый бетон». В 20 лет сделал первый научный доклад на семинаре вице-президента РААСН С.С. Давыдова.

Фиговский О.Л. окончил технологический факультет ВЗИСИ, продолжая работать во время учебы в НИИ Мосстрой, в этот период он написал книгу «Полиэфирные и полиуретановые смолы в строительстве» и создал более 25 изобретений, в т. ч. клей «Бустилат», выпускаемый более чем 20 предприятиями в СССР. После окончания института перешел на работу в лабораторию антикоррозионной защиты ВНИПИ «Теплопроект»

Минмонтажспецстроя СССР, и создал научную школу по химическому сопротивлению неметаллических материалов. После защиты кандидатской диссертации перешел в ЦНИИ Промзданий Госстроя СССР, где создал серию оригинальных составов и конструкций монолитных покрытий полов, опубликовал 2 книги по полам промышленных зданий и сделал более 40 изобретений в области материалов для защиты от коррозии.

С 1981 г. Фиговский О.Л. возглавил департамент неметаллических материалов Межотраслевого научно-исследовательского комплекса «Антикор» ГКНТ СССР, где уделял особое внимание созданию материалов для экстремальных условий эксплуатации, в том числе для атомной и космической отраслей. Написал книгу «Антикоррозионная служба предприятий» и создал более 50 изобретений, значительная часть которых была освоена промышленностью. Одновременно он преподавал на кафедре оргстройматериалов и пластмасс МИСИ им. В.В. Куйбышева и руководил рядом кандидатских работ. В 1986 году перешел во ВНИИК Минхимпрома СССР зав. отделом «Проблемы защиты от коррозии», одновременно исполнял обязанности зам. директора института по координации всех работ по защите от коррозии в этом министерстве. За время работы во ВНИИК опубликовал несколько обзоров по технике защиты от коррозии и создал более 50 изобретений, а также подготовил докторскую диссертацию.

С 1991 года Фиговский О.Л. работает в Израиле, сначала как зам. директора Израильского коррозионного исследовательского института (Ramat Hasharon) и в дальнейшем как директор технологической компании «Polyadd» (Nazareth Illit), активно публикуясь в иностранных научных журналах и выступая на международных конференциях, в основном в области композиционных материалов специального назначения.

В 1997 году Олег Фиговский создал научно-исследовательский центр «Polymate» (Migdal Haemek), где разрабатываются новые материалы и способы их получения, сосредоточив основное внимание на нанотехнологических процессах. За последние годы им получено более 20 патентов (в основном американских) и опубликовано более 50 оригинальных научных работ, в т.ч. 3 статьи в Encyclopedia of American Colloid and Surface Chemistry. В 2014 г. им были опубликованы две монографии «Полимерные бетоны и соединения» (США) и «Наноматериалы на основе растворимых силикатов» (Германия).

Профессор Олег Фиговский, будучи директором по исследованиям и развитию американской компании «Nanotech Industries, Inc.» (Калифорния, США), активно занимается разработкой новых материалов, в том числе уникальных неизоцианатных полиуретанов. Он совмещает научно-исследовательскую деятельность с большой публикационной и социальной активностью как главный редактор трёх научных журналов в Израиле и в США, и как член редколлегии 4 научных журналов в России, Украине и Польше. Подробную информацию о его работе можно найти на личном веб-сайте: www.figvovsky.com

Олег Фиговский, как почетный профессор Воронежского ГАСУ, проводит регулярно мастер-классы с нашими преподавателями и студентами, привлекает их к совместным научным разработкам, участвует в конференциях, проводимых на базе нашего Университета. Коллектив Воронежского ГАСУ сердечно поздравляет Олега Львовича с Юбилеем, желает ему дальнейших творческих успехов.

Колодяжный С.А., Панфилов Д.В., Рудаков О.Б.

К 65-летию профессора В.Т. Перцева



Известному ученому в области строительного материаловедения, доктору технических наук, профессору кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного архитектурно-строительного университета Виктору Тихоновичу Перцеву 6 февраля 2015 года исполнилось 65 лет.

Виктор Тихонович родился в поселке Новый Буравль Бобровского района Воронежской области. Окончив школу, в 1967 году поступил на специальность «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» строительного технологического факультета Воронежского инженерно-строительного института (ВИСИ), с которым жизнь его связала надолго. После окончания института с 1972 года Виктор Тихонович работал в Проблемной научно-исследовательской лаборатории силикатных материалов и изделий ВИСИ в должности инженера, старшего инженера, а затем заведующего лабораторией кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

В 1976 году Перцев В.Т. поступил в аспирантуру при кафедре технологии вяжущих веществ и бетонов ВИСИ к крупному ученому и видному организатору науки, доктору технических наук, профессору В.В. Помазкову. Педагогическую деятельность Виктор Тихонович начал, еще обучаясь в аспирантуре. В 1983 году после защиты кандидатской диссертации, посвященной исследованию проблем виброреологии и виброуплотнения бетонных смесей, получив ученую степень кандидата технических наук, он продолжил работу на кафедре технологии вяжущих веществ и бетонов в должности ассистента, старшего преподавателя, доцента.

В период с 1990 по 1993 год по приказу Совмина и Минвуза РСФСР Перцев В.Т. был командирован в Благовещенский технологический институт для организации специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». Там он работал в должности заведующего кафедрой технологии вяжущих веществ и бетонов, а также был деканом факультета. Активно сотрудничая с Дальневосточным филиалом АН СССР, он принимал участие в подготовке кадров высшей квалификации. Виктор Тихонович активно сотрудничал с учеными Харбинского технологического университета в организации производств строительных материалов в Хайлудзянской провинции КНР.

В 1993 году Виктор Тихонович получил звание доцента. Результатом упорной кропотливой работы стала защита докторской диссертации в 2002 году на тему «Управление процессами раннего структурообразования бетонов». В настоящее время Виктор Тихонович - профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций. Им опубликовано индивидуально и в соавторстве более 160 научных работ, в том числе 6 научных монографий [1-5], подготовлено и издано свыше 26 учебно-методических пособий и указаний [6-9].

Областью научных интересов профессора Перцева В.Т. является:

- исследование и управление структурно-реологическими свойствами дисперсно-зернистых систем строительных и бетонных смесей;
- исследование, оптимизация и управление процессом формирования строительных изделий, в том числе виброформование, вибропрессование и прессование;

- исследование, оптимизация и управление процессом перемешивания бетонных смесей;
- применение наноматериалов и нанотехнологий в производстве строительных материалов и изделий с использованием золь-гелевого метода и метода самоорганизации;
- разработка технологии бетона повышенной термостойкости для повышения огнестойкости вариатропных железобетонных конструкций;
- разработка технологии получения комплексных органоминеральных добавок и их применение в производстве тяжелых и ячеистых бетонов на основе портландцемента, гипса, полимеров и других вяжущих веществ.

Избранные научные положения и результаты исследований по основным направлениям работы профессора Перцева В.Т. изложены в статьях [10-16].

Огромную часть времени и своего научного потенциала Виктор Тихонович отдает работе с соискателями и аспирантами. Под его научным руководством защищено 7 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук. Виктор Тихонович является членом одного из диссертационных советов при ВГАСУ. Он ежегодно выступает в качестве официального оппонента при защите кандидатских и докторских диссертаций в ведущих вузах строительного профиля.

Перцев В.Т. читает лекции на четырех лекционных бакалаврских курсах и по шести магистерским дисциплинам у студентов трех специальностей: «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций», «Стандартизация и метрология» и «Инноватика в строительстве», успешно руководит курсовым и дипломным проектированием, магистерской подготовкой студентов. Научно-педагогический трудовой стаж В.Т. Перцева более 40 лет.

Виктор Тихонович неоднократно награждался руководством Университета почетными грамотами; администрацией города благодарностями за добросовестный труд, плодотворную учебно-методическую и воспитательную деятельность, за большой вклад в развитие науки и образования, за высокий профессионализм в деле подготовки специалистов для строительной отрасли. В.Т. Перцев имеет федеральную награду – «Почетный работник высшей школы».

Следует отметить, что Виктор Тихонович активно занимался боксом, играет в бадминтон, увлекается рыбалкой.

От имени ректората, членов Ученого совета Университета и Строительно-технологического факультета, кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, кафедры химии Воронежского архитектурно-строительного университета, сердечно поздравляем юбиляра и желаем ему крепкого здоровья и творческого долголетия на многие годы.

Список литературы

1. Перцев В.Т. Управление процессами раннего структурообразования бетонов: монография. - Воронеж, 2006. - 234 с.
2. Усачев С.М., Перцев В.Т. Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов: монография. - Воронеж, 2007. – 142 с.
3. Алексеева Е.В., Бобрышев А.Н., Воронов П.В., Головинский П.А., Лахно А.Н., Перцев В.Т. Структурно-реологические свойства дисперсно-зернистых систем: коллективная монография / Под общ. ред. В.Т. Перцева. – Воронеж, 2010. - 195 с.
4. Ткаченко Т.Ф., Перцев В.Т. Совершенствование технологии неавтоклавных бетонов: монография. – Воронеж, 2011. - 98 с.
5. Перцев В.Т., Леденев А.А. Разработка эффективных органоминеральных добавок для регулирования реологических свойств бетонных смесей: монография. - Воронеж, 2012. – 135 с.
6. Перцев В.Т., Крылова А.В., Козодаев С.П. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: лаб. практикум. - Воронеж, 2007. - 101 с.

7. Перцев В.Т., Зуев Б.М., Уколова А.В. Технология и организация производства арматурных изделий для железобетонных конструкций: учеб.-метод. пособие. - Воронеж, 2009. - 140 с.

8 . Перцев В.Т., Зуев Б.М., Усачев С.М., Козодаев С.П., Акулова И.И. Проектирование смесительных производств: учеб.-метод. пособие. - Воронеж, 2011. - 60 с.

9. Перцев В.Т., Крылова А.В., Ткаченко Т.Ф. Химия цемента и вяжущих веществ: лаб. практикум. - Воронеж, 2011. - 59 с.

10. Перцев В.Т., Пыльнев В.Г., Помазков В.В., Гольденберг Л.Г., Кабанов В.С. Автоматизированная резонансная виброплощадка с электромагнитным приводом // Транспортное строительство. - 1981.- № 2. - С. 23 - 24.

11 . Головинский П.А., Золототрубов Д.Ю., Золототрубов Ю.С., Перцев В.Т. Исследования распространения ультразвукового импульса в дисперсной фрактальной среде // Письма в ЖТФ. – Т. 25. - Вып. 11, 1999. - С. 14 - 18.

12. Перцев В.Т., Суровцев И.С., Никулина Т.Д., Рудаков О.Б., Калач А.В. Экспертная оценка пожарной безопасности в строительстве и на транспорте // Судебная экспертиза. - № 2, 2006. - С. 73 - 79.

13. Перцев В.Т., Ткаченко Т.Ф., Количественные оценки параметров управления процессами получения неавтоклавных пенобетонов // Научный вестник ВГАСУ: Физико-химические проблемы строительного материаловедения, 2008. - Вып. 2. - С. 60 - 67.

14. Перцев В.Т., Усачев С.М., Леденев А.А. Структурно-реологические свойства строительных смесей // Строительные материалы. - № 7, 2009. - С. 68 - 70.

15. Перцев В.Т., Соколов Ю.В., Битюцкая Л.А., Гончарова Н.С. Применение фуллеренов и углеродных нанотрубок для создания композиционных материалов // Физика и химия обработки материалов. - № 6, 2009. - С. 94 - 95.

16. Перцев В.Т., Леденев А.А., Усачев С.М., Рудаков О.Б. Повышение эффективности применения химических добавок для бетонов на основе поликарбоксилатов // Научный вестник ВГАСУ: Строительство и архитектура.- Вып. 2, 2013. - С. 49 - 54.

Козадаев С.П., Власов В.В., Ткаченко А.Н.

Сотрудники кафедры химии поздравляют:

Профессора кафедры химии **Калача Андрея Владимировича** с присвоением ученого звания профессора по научной специальности «Пожарная и промышленная безопасность» (Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 27.04.2015 г. №403/нк «О присвоении ученых званий профессора и доцента и выдаче аттестатов о присвоении ученых званий профессора и доцента»),

Доцента кафедры химии **Хорохордину Елену Алексеевну** с присвоением ученого звания доцента по научной специальности «Аналитическая химия» (Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 27.04.2015 г. №418/нк «О присвоении ученых званий профессора и доцента и выдаче аттестатов о присвоении ученых званий профессора и доцента»).

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зубарев П. А., Бобрышев А.Н. , Ляхно А. В., Кувшинов П.И. Покрытия на основе модифицированных простых полиэфиров.	3
Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренко А.И., Филимонова О.Н., Никулин С.С. Влияние модификаторов на свойства древесно-волоконистых плит.	10

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Ярцев В.П., Струлев С.А., Мамонтов А.А. Обоснование выбора теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций каркасно-щитового здания.	15
Перцев В.Т., Козодаев С.П., Леденев А.А., Бобрышев А.Н. Топологическая оптимизация процессов формирования микроструктуры цементного камня и бетона.	21
Макеев А.И. Методологические основания теории конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов.	29

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Лукин А.А., Тарханов А.К., Лукин О.А. Конструкционные свойства и энергетические параметры разрушения стали 20 при различных температурных и скоростных режимах нагружения.	38
Лукин А.А., Тарханов А.К., Лукин О.А. Характер разрушения стали 20 при различных температурах и скоростях нагружения.	43
Черепашин А.М., Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б., Калач Е.В. Поверхностное натяжение и пожароопасные свойства смешанных растворителей.	47
Павлов Б.Л., Белко В.Н. Двухкомпонентная модель вырожденного твердого тела.	52
Глазков С.С., Файнбайм А.А. Модель устойчивости различных систем с позиции термодинамики, кинетики и информатики.	59
Ходосова Н.А., Бельчинская Л.И., Фролов В.Ю. Влияние кислотной модификации на сорбционную способность алюмосиликатов.	65

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Трещёв А.А., Морозова А.В. Решение задачи типа Кирша для пластины из анизотропного разносопротивляющегося материала.	72
Артамонова О.В., Славчева Г.С., Шведова М.А. Исследование микроструктуры цементного камня модифицированного комплексными нанодобавками.	80
Барсуков В.И., Гребенников М.В., Дмитриев О.С., Емельянов А.А. Поиск оптимальных условий при пламенной спектроскопии.	87

ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Жидко Е.А., Муштенко В.С. Экологическая безопасность современных городов.	92
Гадиятов В.Г., Кукина О.Б., Сибирских О.В. Разработка способа обогащения питьевой воды кремнием.	97
Калач Е.В., Любарь А.В., Кузива И.В. Взаимосвязь температур вспышки и кипения с коэффициентом проницаемости бинарных жидких систем.	102
Буянов В.И., Чертов В.А. Повышение эффективности работы систем дымоудаления в высотных зданиях при пожаре.	107

Кочев А.Г., Сергиенко А.С. Аэрация православных храмов.	112
Черноусенко Г.И. Ресурсо- и энергосбережение на основе строительной системы «Монопор»	118

ХРОНИКА, БИБЛИОГРАФИЯ

Тутов Е.А. Отечественное строительное материаловедение в мировой научной периодике.	122
---	-----

ПЕРСОНАЛИИ

Колодяжный С.А., Панфилов Д.В., Рудаков О.Б. 75 лет со дня рождения и 55 лет научной работы профессора Фиговского Олега Львовича.	124
Козадаев С.П., Власов В.В., Ткаченко А.Н. К 65-летию профессора В.Т. Перцева.	126



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный

университет»

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия

Октября, 84 E-mail:

rudakov@vgasu.vrn.ru

Тел. +7(473)292-66-64, м.т. 8-952-958-06-64

Центр коллективного пользования имени профессора Ю.М. Борисова
Начальник ЦКП - Хорохордин Алексей Митрофанович

Лаборатория физико-химических исследований



ОБОРУДОВАНИЕ

Анализатор гранулометрический FRITISCH (Германия)

Сканирующий зондовый микроскоп NanoEducator (Россия)

Порошковый рентгеновский дифрактометр ARLX'TRA (Швейцария)

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ

Измерение размеров и формы частиц. Измерение трехмерной топологии и параметров микрорельефа поверхности.

Проведение рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов в области химии, минералогии, материаловедении, черной и цветной металлургии, машиностроении, фармакологии.

Проведение химического анализа воды.

Лаборатория грунтоведения, механики грунтов и инженерной геологии



ОБОРУДОВАНИЕ

Комплект Оборудования «ГЕОТЕК» (Россия)

Шкаф сушильный, весы электронные, водонагреватель

Конус Васильева, эксикаторы, бюксы, фарфоровые ступки, выпаривательные чаши, секундомер, набор сит, дистиллятор,

пикнометры, тигли, мерные цилиндры, ареометр

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ

Компрессионные испытания образцов грунта вертикальной нагрузкой от 0 до 10 кН.

Испытание образцов грунта методом одноплоскостного среза.

Испытание образцов грунта в условиях трехосного сжатия вертикальной нагрузкой от 0 до 10 кН.

Проведение инженерно-геологических изысканий при проектировании и строительстве зданий и сооружений, автомобильных дорог, аэродромов и других объектов строительства.

Лаборатория строительных материалов и технологий



ОБОРУДОВАНИЕ

Тепловизор FLIR B425 (Швеция)
Гидравлическая испытательная система INSTRON Satec 1500HDX (Великобритания)
Универсальная напольная электромеханическая испытательная система INSTRON 5982 (Великобритания)
Эмиссионный спектрометр СПАС-02 (Россия)
Испытательная система для динамических и статических испытаний INSTRON 8802 (Великобритания)
Маятниковый электромеханический копер (Великобритания)

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ

Обследования в строительстве и энергетике
Проведение испытаний материалов на растяжение, сжатие и изгиб с усилиями до 1500 кН
Испытания на сжатие, изгиб в статическом и динамическом режимах
Анализ химического состава металлов и сплавов
Испытание на удар образцов Шарпи и Менаже.
Определение морозостойкости и теплопроводности строительных материалов

Дорожная лаборатория

ОБОРУДОВАНИЕ

Вибростол ВСА, прибор CRT-IND Соорег, плотномер динамический КП-150 (Россия)
Анализатор асфальта выжиганием АВА 7/35, смеситель МЛЖ-30 (Россия)
Дуктилометр ДАФ-980, аппарат Фрааса, пенетрометр ПН-10Б (Россия)
Термокриостат ТКС-20, аппарат АТВО-20, прибор КИШ-20 (Россия)
Пресс Uniframe 70-T0108/E, полочный барабан КП 123Ф, печь, морозильный ларь, комплект весов, комплект сит (Россия)

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ

Испытание вяжущих и заполнителей для асфальтобетонов
Определение физико-механических свойств асфальтобетона



ОБОРУДОВАНИЕ

Ферроскан PS 200 HILTI (Швейцария)
Испытательная система INSTRON 600 KN (Великобритания)
Силовой пол с домкратом 200 т (Россия)
Стенды для исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Россия)

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ

Определение расположения арматуры в конструкциях
Испытание строительных конструкций на изгиб с усилием до 60 т
Исследование напряженно-деформированного состояния строительных конструкций
Измерение перемещений и напряжений в основаниях и фундаментах

Центр коллективного пользования Воронежского ГАСУ
Начальник ЦКП - Хорохордин Алексей Митрофанович,
Адрес: 394006, ул. 20-летия Октября 84, e-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru
т. +7(473)292-66-64, м.т. 8-952-958-06-64

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

Воронежского государственного архитектурно-строительного
университета

**Серия «Физико-химические проблемы
и высокие технологии строительного материаловедения»
2015, выпуск 1 (10)**

Научный журнал

Печатается в авторской редакции

*Подписано в печать. 27.05.2015. Формат 60x84 1/8. Уч. - изд. 16,75 л. Усл. - печ. л. 16,8.
Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ №*

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы и
учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84