



ISSN 2587-9006

Воронежский государственный
технический университет

Химия, физика и механика
материалов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск № 3 (26), 2020

ISSN 2587-9006

*ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»*

**ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА
МАТЕРИАЛОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- АНАЛИТИКА И КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ
- ПЕРСОНАЛИИ
- БИБЛИОГРАФИЯ, ИНФОРМАЦИЯ

Выпуск № 3 (26), 2020

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ****Выходит 4 раза в год**

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»
Адрес учредителя и издателя: 394026 Воронеж, Московский проспект, 14

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 77347 от 05.12.2019).

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 техн. наук, проф. В.А. Небольсин
Ответственный секретарь – канд. техн. наук, доц. О.Б. Кукина

Редакционная коллегия:

Д-р техн. наук, проф. О.В. Артамонова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Д.Е. Барабаш (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. В.В. Белов (г. Тверь, ТвГТУ); д-р техн. наук, проф. М.С. Гаркави (г. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова); д-р техн. наук, проф. С.С. Глазков (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ФСИН); д-р техн. наук, проф. В.Я. Манохин (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. К.К. Полянский (г. Воронеж, Воронежский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова); 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. Г.В. Славинская (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. О.В. Тараканов (г. Пенза, ПГУАС); д-р техн. наук, проф. А.А.Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Шитикова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. В.П. Ярцев (г. Тамбов, ТГТУ).

В издании публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам химии и физики строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химических методов диагностики, контроля качества и безопасности материалов, применяющихся в строительстве и технике; по технософной безопасности. Номер посвящен 90-летию ВИСИ-ВГАСА-ВГАСУ-ВГТУ.

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

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции.

Дизайн обложки Н.И. Мироненко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419
тел.: (473) 2369350, (473)2717617
E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru, lgkkn@rambler.ru

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Чернышев Е.М., Артамонова О.В.

Успех – это, прежде всего, результат колоссального труда, и лишь потом – врожденного таланта... 4

Сергуткина О.Р., Артамонова О.В.

О роли химии в подготовке инженеров-строителей 14

Figovsky O.L.

Advanced methods of nanomembranes' producing (review) 23

Барабаш А.Д., Барабаш Д.Е.

Полимерные пластификаторы механического типа в производстве радиационно-стойких композитов 50

Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю.

Базальтовый продукт пылеудаления в составе органоминерального комплекса для производства бетонных смесей 60

Гаврикова Р.Ю., Артамонова О.В.

Современные добавки для получения дисперсных систем в условиях строительной 3D-печати 73

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Накашидзе Б.В., Накашидзе Д.-К.Г.

Проблемы использования композитной арматуры в строительных конструкциях 95

Буйлов Н.Б., Шулекин В.А.

Обзор основных технологий устройства подпорных стен 119

АНАЛИТИКА И КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ

Черноусова О.В., Черепихина Р.Г., Рудаков Я.О., Стрункина К.Н.

Оценка стойкости пигментов в цветных цементах с помощью мобильных устройств 136

ПЕРСОНАЛИИ

Рудаков О.Б., Сташина Г.А., Седишев И.П., Каботянская Е.Б., Яковлева И.И.

К 90-летию со дня рождения профессора Жулина Виктора Михайловича 150

Рудаков О.Б., Кукина О.Б., Колосов А.И., Небольсин В.А.

К юбилею Черепихиной Раисы Георгиевны 153

Козлов В.А., Габриелян Г.Е., Ефреушин С.В., Панфилов Д.В.

К юбилею профессора Сафронова Владимира Сергеевича 156

БИБЛИОГРАФИЯ, ИНФОРМАЦИЯ

Кукина О.Б.

Энциклопедический справочник «Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications» 160

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УСПЕХ – ЭТО, ПРЕЖДЕ ВСЕГО, РЕЗУЛЬТАТ КОЛОССАЛЬНОГО ТРУДА, И ЛИШЬ ПОТОМ – ВРОЖДЕННОГО ТАЛАНТА...

*Е.М. Чернышев, О.В. Артамонова**

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Ольга Владимировна Артамонова,*

E-mail: ol_artam@rambler.ru



Чернышов Евгений Михайлович – доктор технических наук, профессор, академик Российской академии архитектуры и строительных наук; в 1960 г. с отличием закончил Воронежский инженерно-строительный институт по специальности «Производство

строительных материалов, изделий и конструкций». В 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1989 г. – докторскую диссертацию по специальности «Строительные материалы и изделия», в 1994 г. избран член-корреспондентом, а в 2002 г. – академиком РААСН. Прошел путь от старшего инженера до проректора по научной и инновационной работе ВГАСУ, а сегодня директор Научно-исследовательского института Академии развития строительного комплекса ВГТУ.

Чернышов Е.М. – автор более 500 научных работ; научные результаты его деятельности защищены 10 авторскими свидетельствами и патентами. В

качестве руководителя научной школы системно-структурного материаловедения и высоких строительных технологий осуществлял выполнение более 20 тем по программам Министерства образования и науки РФ, Российской академии архитектуры и строительных наук, Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Воронежской области и более 30 внебюджетных тем по заказам промышленных предприятий. Работы Чернышова Е.М. широко известны в России и за рубежом. Ряд из выполненных инновационных разработок включались в каталоги Госстроя «Научно-технические достижения, рекомендуемые для использования в строительстве», РААСН, экспонировались и отмечены медалями на ВДНХ, выставлялись на международных ярмарках в Югославии, Финляндии. Чернышов Е.М. награжден многими национальными наградами, например, медалью «За заслуги перед Отечеством» II-й степени, Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники за 2012 г.

Область научно-инженерных интересов связана: с разработкой методологических и теоретических проблем материаловедения строительных композитов; с развитием научно-практических основ управления химико-технологическими процессами структурообразования и качеством неорганических вяжущих веществ, строительных материалов и изделий на основе нанотехнологических решений; с разработкой концепции, методологии и научно-инженерных решений комплексной переработки промышленных отходов и техногенного сырья; с анализом и разработкой региональных технико-экономических проблем и эффективных направлений развития архитектурно-строительного комплекса. Под его руководством и при его научных консультациях подготовлено и защищено более 20 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

Высокий профессиональный уровень академика Е.М. Чернышова и его авторитет как крупного ученого не подлежит сомнению, поэтому накануне 90-летнего Юбилея ВИСИ-ВГАСА-ВГАСУ-ВГТУ мы встретились с ним, чтобы поговорить о его сотрудничестве с нашей кафедрой (кафедра химии и химической технологии материалов), о его взглядах на развитие строительного

материаловедения в современных условиях, и конечно, о том, как стать профессионалом и личностью, и добиться высоких профессиональных успехов.

Ольга Владимировна Артамонова (О.В.): Евгений Михайлович, расскажите, пожалуйста, о Вашем взаимодействии с кафедрой химии и химической технологии материалов?

Евгений Михайлович (Е.М.): Моя жизнь уже 65 лет неразрывно связана с нашим университетом и столько же лет я взаимодействую с кафедрой химии (теперь кафедрой химии и химической технологии материалов). Своё обучение я начал на кафедре химии с первого курса, а моя научная работа началась на кафедре технологии вяжущих веществ и бетонов со второго курса – это моя кафедра! Хочу отметить, что на протяжении всей моей профессиональной деятельности определяющее место занимали кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов, проблемная лаборатория силикатных материалов и изделий, кафедра химии. И вообще, работа нашего Строительно-технологического факультета по проблемам материаловедения и технологии строительных материалов представляла из себя постоянную, совместную деятельность с кафедрой химии от получения образования в Вузе, работой над кандидатскими диссертациями до выполнения докторских диссертаций.

В работе по решению прикладных вопросов в области строительного материаловедения, в связи с этим можно назвать имена тех, кто составлял лицо кафедры химии в то время: первое значимое имя – Ольга Владимировна Нейман, специалист по общей и коллоидной химии; Надежда Михайловна Тарасова, специалист в области органической химии; и почти мои ровесники – Мария Ильинична Беликова, которая кандидатскую диссертацию выполнила на стыке материаловедения и физической химии гипсовых систем твердения; Генриетта Викторовна Либерман, которая заканчивала аспирантуру в Московском инженерно-строительном институте и занималась процессами гидратации клинкерных минералов цемента. У неё учителем был В.А. Киреев – автор учебника по «Химии» для строительных вузов.

Далее мне хотелось бы назвать Октябрину Романовну Сергуткину, которая долгие годы заведовала кафедрой химии. Отмечу, что она большое внима-

ние уделяла тем химическим дисциплинам, которые преподавались для будущих специалистов в области технологии строительных материалов и изделий, бетонов и железобетонов. И здесь она была профессионалом! Октябрина Романовна все время способствовала развитию единства, взаимодействия, сотрудничества специалистов кафедры химии и кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, кафедры строительных материалов. И при этом взаимодействии рождались будущие доценты, которые в своей ментальности и концепциях понимали, что они готовят инженеров для соответствующей области деятельности. Под руководством Октябрины Романовны, с моим участием, были выполнены кандидатская диссертация О.Б. Кукиной. Надо отметить, что в то время существовали различные творческие, научные коллективы на стыке двух кафедр, например, д.т.н., проф. Е.И. Шмитько (кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов) взаимодействовал с к.х.н., доц. В.В. Шаталовой (кафедра химии); много работ было выполнено к.т.н., доц. В.В. Власовым (кафедра строительного материаловедения) с к.х.н., доц. Л.Г. Барсуковой, к.х.н., доц. Г.Г. Кривневой (кафедра химии) и т.д.

Все эти люди работали на разных кафедрах, но всё это единый коллектив!

Обновление кафедры химии началось с приходом д.х.н., проф. О.Б. Рудакова. Он нацелился на взаимодействие с различными кафедрами строительного профиля, учитывая существовавший опыт взаимодействия, который накопила Октябрина Романовна. Я считаю, он избрал верное направление своей работы - объединение, взаимодействие со специалистами кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, здесь можно назвать его постоянное взаимодействие с д.т.н., проф. В.Т. Перцевым, с к.т.н., доц. С.М. Усачевым и А.М. Усачевым. Он сформировал коллектив ЦКП им. проф. Борисова Ю.М., придал этому центру импульс к эффективной работе в области материаловедения.

Сейчас на вашей кафедре есть мощный вектор взаимодействия, который демонстрирует д.т.н., проф. О.В. Артамонова, работая совместно с д.т.н., проф. Д.Н. Коротких, д.т.н., проф. Г.С. Славчевой и конечно со мной. И как следствие, появилась ваша докторская диссертация на стыке нанохимии, нанотех-

нологий и строительного материаловедения, хотя Вы получили базовое образование в Воронежском государственном университете и Институте химии силикатов РАН (г. Санкт-Петербург). Нужно сказать, что эта работа касается гидратационно-синтезных, гидротермально-синтезных, термально-синтезных систем твердения. Пришедшее и используемое, ключевое словосочетание и квалификации структур систем твердения и структур композитов стало платформой от которой осуществился прорыв в новое научное знание. При этом новый терминологический словарь мотивирует новую постановку и направление научных исследований, а также тематику диссертационных исследований. В этом есть позитивное. Мы не загниваем, мы расцветаем!

О.В.: Евгений Михайлович, какие дисциплины на Ваш взгляд являются базовыми для формирования специалистов в области строительного материаловедения?

Е.М.: Научными основаниями для строительного материаловедения являются знания химии, физики и механики. Эти базовые знания, составляют основу профессионального уровня специалистов по материалам, изделиям и конструкциям в строительстве. И в связи с этим нужно говорить о том, что обучение, образование и получение квалификации в аспирантуре должно опираться на взаимодействие выпускающих кафедр технологии вяжущих веществ и бетонов, кафедры строительных материалов, изделий и конструкций с кафедрами химии, физики, строительной механике, сопротивления материалов. Эти базовые кафедры как раз и отвечают ключевому словосочетанию «Химия, физика и механика материалов».

Эти кафедры давали студентам и аспирантам необходимые научные знания и надо отметить, изучались эти дисциплины очень глубоко. Вот мы (мое поколение) проходили более основательную подготовку, как раз за счет понимания тех профессоров и доцентов, которые нас обучали. Понимание заключалось в том, что не просто химию нужно прочитать, а нужно преподавать химию так, чтобы она в процессе обучения прилагалась.

И это происходило в вузовском образовании, когда со второго курса наши студенты обязательно выполняли научно-исследовательские работы (мини диссертации), аналог магистерским диссертациям. Тогда они назывались квалификационная работа «Основы методов научных исследований». Эта работа перерастала и в научно-исследовательские дипломные проекты, потом в аспирантуре в кандидатские диссертации и получалась непрерывная цепь.

Тогда в 60-е годы, например, моя кандидатская диссертация 1967 г., опиралась на современные достижения таких дисциплин как петрография, аналитическая и физическая химия, термодинамика, кибернетика; современные методы исследования: химический анализ, рентгенофазовый анализ, ДТА, тогда только зарождавшаяся, и приходившая в область исследований строительных материалов, электронная спектроскопия. Сегодня эти методы уже все доступны. Они позволяют уже посмотреть на «нано» уровень. В свое время, я много занимался самообразованием в области различных методов исследования и постоянно стажировался в отечественных и зарубежных научных центрах: ВНИИСТРОМ г. Москва, НИИЖБ г. Москва, МХТИ г. Москва, НИПСИЛИКАТОБЕТОН г. Таллинн, Высшая техническая школа, НИИ строительных материалов г. Брно, в строительных фирмах США, Германии, Испании, Турции и др.

Ещё хотелось бы отметить, что, к сожалению, сегодня в нашем объединенном коллективе с различными кафедрами, отодвинулись от проблем строительного материаловедения кафедры физики и строительной механики. Отодвинулись почему? Потому, что у современных начинающих молодых исследователей не хватает широты платформы исследований. Например, область моих научных интересов связана и со строительным конструкциями, и со строительной механикой, и с механикой сопротивления материалов, ведь это всё области, где твои профессиональные знания инженера-технолога - строителя имеют приложения. Притом, что я ещё глубокий специалист в области строительного материаловедения, материаловедения строительных композитов. Мне кажется, что без этих дисциплин ты просто не можешь быть современным профессионалом!

Поэтому если говорить о задачах, которыми сегодня нужно заниматься, это задачи более глубокого понимания и рассмотрения базовых дисциплин, в современном мире они динамично развиваются. При этом опираясь на их развитие, необходимо поднимать уровень образованности наших студентов и аспирантов.

О.В.: Евгений Михайлович, дайте оценку преподавания базовых дисциплин в нашем университете сегодня?

Е.М.: Те трансформации, которые проходили последние годы (20 лет) в высшем образовании – уменьшение бюджетных мест по нашей специальности; введение новых специальностей, которые не все оказались к месту, и в результате исчезли; уменьшение аудиторных часов по различным дисциплинам и т.д. нанесло огромный ущерб профессионализму выпускников. Но что меня больше беспокоит, что уменьшилось количество часов на преподавание химии, физики, сопротивлению материалов, строительной механике.

И конечно, большой «минус», это перестройка экономической хозяйственной деятельности предприятий, когда многие предприятия закрылись, а инженеры – строители, инженеры – технологи оказались не востребованными. Вот эти 20 и более лет предприятия дорабатывали с выпускниками прежних лет, получивших хорошее образование. И сегодня мы, к сожалению, уже многое утратили: методологию, концепции и основания подготовки инженеров-строителей или инженеров-технологов, для которых наши кафедры химии, физики, строительной механики являются кафедрами, закладывающими базовые основы знаний.

О.В.: Евгений Михайлович, мы поговорили об учебном процессе, а как сегодня происходит взаимодействие в научных исследованиях в нашем университете. Расскажите о формировании Вашей научной школы?

Е.М.: Сегодня на базе Академии развития строительного комплекса существует «Высшая школа строительного материаловедения», которой я руковожу. Что такое школа? Школа – это непрерывная цепь поколений, занимающихся в одном научном направлении, одной научной проблемой. Мы занимаемся про-

блемами системно-структурного материаловедения строительных композитов. И сколько поколений в ней существует? Есть понятие биологическое поколение, когда в сто лет укладывается 4 – 5 поколения, возрастная дистанция между поколениями 20 – 25 лет. Поколение учитель – ученик, это половина этого срока. Я получил подготовку от Федина Александра Андреевича, ему было на 12 лет больше меня, мои первые ученики были тоже через 12 лет. Итак, за 75 лет существования нашего факультета, мы сегодня имеем 7 поколений в школе.

Основные направления научных исследований и прикладных инженерных разработок академического центра «Высшая школа строительного материаловедения»: фундаментально-ориентированные научные исследования по проблемам материаловедения строительных композитов нового поколения; фундаментально-ориентированные научные исследования по проблемам высоких технологий и нанотехнологий строительных композитов нового поколения; научные исследования и разработки по проблемам повышения эффективности традиционных технологий получения строительных материалов, изделий и конструкций массового производства и применения в жилищном строительстве; разработка концепции и методологии, обоснование научно-инженерных решений по строительно-технологической утилизации техногенных отходов отраслей промышленности региона; анализ состояния и тенденций, разработка технико-экономических прогнозов, программирование и планирование эффективного развития регионального строительного комплекса; обобщение базового научного знания по строительному материаловедению и технологиям для целей совершенствования образовательной деятельности (дидактика базового научного знания).

Среди коллектива научной школы много моих учеников – кандидатов и докторов наук. Все мои ученики блестящие, оригинальные, самобытные, не похожие друг на друга, интересные и приятные коллеги. Я могу этим гордиться. Ведь к тому времени, когда я стал академиком 2002 году, меня уже хорошо знали, мои работы признали, и у меня было много учеников.

О.В.: Ещё один очень личный вопрос. Меня часто спрашивают студенты, Ольга Владимировна, а как добиться высокий профессиональных успехов, как

стать доктором наук? А мне хотелось бы спросить у Вас, Евгений Михайлович, как стать академиком? То есть, как добиться максимальных профессиональных успехов?

Е.М.: Успех – это, прежде всего, результат колоссального труда, и лишь потом – проявление природных данных.

Во-первых, плох тот солдат, который не мечтает стать генералом! (это не мои слова). Но можно мечтать, а можно об этом не думать вообще в процессе своей деятельности, но условия успеха это заложенное природой любопытство, ведь все люди любознательны от природы.

Вообще любопытство, любознательность предопределяет, что у тебя повышенный уровень дисциплинированности, трудолюбия и трудоспособности. И главное, не гнушаться ни какими делами.

Вот что красивого в щебне, песке, цементе, которые пылят, набиваются в нос, уши и глаза? Красивое не в них, а красивое в том, что получаешь из них. А получаешь из них ты бетон, на твоих глазах из смеси получаешь камень. А у него есть какая-то структура, а у него есть какие-то свойства. Это все очень интересно!

Во-вторых, получение от своей работы удовольствия, то есть ты не мучаешься, а ты наслаждаешься, а это приводит к тому, что ты можешь две смены работать и не уставать (хотя на самом деле устаешь, конечно!). Но каждый рабочий день заканчивать с удовлетворением в ожидании следующего рабочего дня. Завтра нужно поставить вот такой опыт, и провести следующие исследование и т.д.

В-третьих, избрать для себя объект научных исследований – это какой-то конкретный материал или технологию, то, что Вам интересно, а также предмет исследований – это содержательная часть, а чем это явление или процесс объясняется, от чего он зависит. Я с удовлетворением могу сказать, что мне очень повезло, что я выбрал для себя в жизни свою специальность.

И, в-четвертых, мне кажется, успех ещё предопределяется тем, что если ты занимаешься наукой, то ты попадаешь в сообщество очень интересных и великих людей. И в этой связи с большой признательностью я хотел бы назвать име-

на двух Лауреатов Ленинской премии за работу в области технологий строительных материалов – академика А.В. Волжинского (МИСИ) и академика П.И. Баженова (Ленинградский ИСИ), а также профессора С.А. Новопашина (г. Самара), оставивших ценнейшее наследство в виде монографий и учеников, которые стали впоследствии нашими коллегам. Благодаря руководству моей кафедры во главе с А.А. Помазковым, было положено начало развитию контактов с родственными институтами Москвы, Ленинграда, Пензы, Новосибирска, Ростова-на-Дону... Ты знаешь, кто подобно тебе учиться в Ленинградском, Новосибирском, Ростовском и других университетах, ты с ними встречаешься и общаешься, выступаешь на конференциях, в определенной мере с ними конкурируешь, обмениваешься опытом, делишься своими методиками, это тоже очень интересно.

Мир науки и ученых это исключительно интересная среда! Постоянные разъезды на конференции, я как-то посчитал со своим водителем, что посетил более 100 городов Советского Союза от Гродно, Таллина, Вильнюса, Каунаса, Санкт-Петербурга до Новосибирска и Владивостока. Будучи студентом, я ездил для прохождения практики, потом я преподавал и возил своих студентов на практику, потом выступал на многочисленных конференциях. Объездил всю страну, и это доставляло мне помимо профессионального, ещё культурное наслаждение. Посещение музеев и художественных выставок, театров и т.д. Из каждого города я привозил себе и друзьям подарки: Нижний Новгород – хохлома, Иваново – шкатулки с палехской росписью и т.д.

В заключении, обобщая всё вышесказанное, Евгений Михайлович, отметил, что нужно любить свою работу, хорошо знать свою работу и получать удовольствие от её выполнения, и именно это, и есть основания для достижения высоких профессиональных успехов.

Чернышов Евгений Михайлович - д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, директор Научно-исследовательского института Академии развития строительного комплекса Воронежского государственного технического университета

Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

О РОЛИ ХИМИИ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ

*О.Р. Сергуткина, О.В. Артамонова**

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Ольга Владимировна Артамонова,*

E-mail: ol_artam@rambler.ru



Сергуткина Октябрина Романовна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии ВГАСУ. Кандидатскую диссертацию, посвященную проблемам катализа, защитила в 1970 году в Воронежском технологическом институте (ныне Воронежский государственный университет инженерных технологий). Общий трудовой стаж 56 лет, в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете работала с 1972 по 2014 годы, в течение 15 лет заведовала кафедрой химии. Имеет более 100 научно-методических публикаций.

Накануне 90-летнего Юбилея ВИСИ-ВГАСА-ВГАСУ-ВГТУ мы встретились с О.Р. Сергуткиной, чтобы поговорить о её жизни и работе на кафедре химии, о взглядах на современные методы преподавания химии в техническом вузе, и конечно, о её научно-исследовательской работе. Разговор получился, на мой взгляд, достаточно интересным и содержательным.

Ольга Владимировна Артамонова (О.В.): Октябрина Романовна, расскажите для начала немного о себе, где вы родились, как складывалась ваша жизнь в сложные послевоенные годы?

Октябрина Романовна (О.Р.): Родилась я в 1939 г. на Курской земле, там же окончила школу-семилетку. В 14 лет уехала из родительского дома учиться в Курский электромеханический техникум. В 18 лет пришла на работу в гальванический цех, и за шесть лет работы пришлось привыкнуть к «производственным трудностям», причем с тех пор никакая работа не казалась мне слишком тяжелой. Опыт технических знаний и навыков в дальнейшем оказался очень полезным, и при выполнении научных исследований, когда приходилось работать месяцами по десять часов ежедневно; и гораздо позже, когда необходимо было чувствовать и понимать, как нужно преподавать студенту технической специальности, такой фундаментальный предмет как химия. Однако, работая ещё в гальваническом цехе, я решила повышать свой профессиональный уровень, и поступить на вечернее отделение химического факультета Воронежского университета. На пятом курсе я перешла работать в технологический институт на химический факультет, где выполнила дипломную работу, а затем и защитила кандидатскую диссертацию под руководством Юрия Алексеевича Подвязкина.

О.В.: С чего началась Ваша работа на кафедре химии ВИСИ, как Вам удалось найти свой стиль в работе, и кто стал для Вас примером или авторитетом?

О.Р.: Так сложилось на кафедре в 1972, что при небольшом педагогическом стаже, я была избрана по конкурсу на должность доцента. И через несколько недель после избрания мне было поручено чтение лекций по общей химии студентам специальности ПСК. Первый год работы прошёл в цейтноте: не успеешь написать текст лекции, а её уже нужно читать, только оформишь конспект проведения лабораторного занятия, его нужно вести...

На кафедре в те годы преподавали не только общую, но и аналитическую, органическую, физическую, коллоидную химию, причём в большом объёме, для студентов химико-технологической специальности «Химическая технология керамики». Кафедра была настоящим химическим факультетом в миниатюре, а поэтому квалификация преподавателей требовалась соответствующая. О.В. Нейман заложила очень хорошие методические основы учебного процесса и требования к проведению занятий были едиными, обсуждались и совершенствовались.

Училась я у всех, никто мне никогда не отказал в помощи, в совете по проведению занятий, свой стиль работы вырабатывается по крупицам, это как растущее дерево, о котором следует постоянно заботиться. Уже тогда мне хотелось расставлять по ходу лекции чёткие акценты, содержание лекций структурировать так, чтобы у студентов оставались в голове основные понятия. Как это делать, я училась с 1972 и до 2014 г.г.; в последние годы работы делала это через яркие слайды, тем более что компьютерные технологии это позволяют.

О.В.: Сложно было работать заведующей кафедрой химии?

О.Р.: Заведовать кафедрой я начала после многих лет кафедральных потрясений, когда все преподаватели ходили под угрозой сокращения, создаваемого, зачастую искусственно. Но даже при таком положении вещей мы окончательно не перессорились, держались довольно стойко. Ничем особенным я не отличалась от других доцентов, разве только как многолетний парторг принимала некоторое участие в управлении кафедрой и, кроме того, люди понимали, что я способна на компромисс, без чего руководителю никак нельзя.

Важных правил в работе заведующего кафедрой много, но мне импонируют три. Первое – правильно раздать поручения, чтобы человек мог и хотел их выполнять. Второе – не требовать от подчинённых того, чего не делаешь сам. А третьему правилу я научилась у мужа, ныне, к несчастью, уже покойного – коллектив хвалить, особенно за пределами кафедры.

О.В.: По вашему мнению, чему в первую очередь должен учиться молодой преподаватель? И вообще, что самое сложное в работе преподавателя фундаментальной дисциплины (например, такой как химия) в техническом вузе?

О.Р.: Самое главное в работе любого человека состоит в том, что он должен любить свою работу, а преподаватель ещё должен любить и понимать студентов. Молодые преподаватели приходят на кафедру с разным уровнем химической подготовки, и если он невысок, то повышать повседневной учёбой. На каждое занятие иметь обязательно подробный план, он может быть чётко прописан в голове, но лучше всего иметь письменный конспект. Не секрет, что каждая кафедра учит по-своему, поэтому молодому преподавателю нужно вникнуть в суть кафедральной методики, посетив как можно больше занятий,

обязательно прослушать полный курс лекций опытного лектора. Я, например, в начальные 5-7 лет работы ежегодно переписывала все конспекты лекций и лабораторных занятий, и позднее делала это не так часто, но регулярно.

Современные трудности в преподавании химии в техническом вузе связаны в некоторой степени с ЕГЭ, с введением которого очень изменились первокурсники, разделившие ещё в школе науки на те, по которым сдают ЕГЭ и по которым не сдают, причём, по последним оценку могут и просто так поставить. Что мы можем этому противопоставить? В работе любого публичного деятеля (а преподаватель работает с людьми) важно заинтересовать тех, с кем работаешь. Если интересно самому, это сделать легче. Студенты не являются сосудами для помещения информации и если занятие построено как поиск истины, то они будут в нём участвовать.

А что касается преподавания фундаментальных наук, так на то они и фундаментальные, чтобы быть основой для усвоения других дисциплин. Как можно больше примеров из будущей специальности, связанных с химическими явлениями!

О.В.: Какие методики и методические разработки вы использовали для повышения уровня знаний студентов по химии?

О.Р.: Методика преподавания зависит как от целей обучения, так и от того, кого мы обучаем. С одной стороны многие студенты очень плохо знают школьный курс химии и зачастую совершенно не понимают, что для того, чтобы учиться, нужно умственно трудиться, а не просто присутствовать на занятиях. С другой стороны – некий госконтроль в виде интернет – тестирования, для чего уровень знаний должен быть не такой уж низкий, а самое главное, довольно обширен. С учётом этих двух условий и должна строиться методика и практика преподавания.

Учёбу приходилось начинать с азов: классификация химических соединений и стехиометрические законы и здесь без дополнительных консультаций за счёт личного времени преподавателя просто не обойтись, в противном случае студенту будет казаться, что мы разговариваем с ним не по-русски.

О.В.: Какие сегодня, на Ваш взгляд, можно предложить методики и методические разработки для повышения уровня знаний студентов по химии?

О.Р.: В своё время я с большим интересом, можно сказать с детским упованием, училась внедрять компьютерные технологии в учебный процесс, но теперь понимаю, что нужно менять методологию. Высшее образование консервативно в том смысле, что основано на передаче знаний от преподавателя к студенту. Как и в науках, с которыми я хотя бы знакома, в химии строится модель и преподаватель учит группу студентов алгоритму усвоения этой модели. По-видимому, пришло время дать возможность *студенту строить свои модели*, тем более что цифровые технологии в этом большие помощники. Такая методология как бы отменяет урок, как основной элемент организации образования, поскольку основана на индивидуальной самостоятельной работе обучаемого. В этом случае многое меняется: отношения преподаватель – студент (они становятся партнёрами), отношение к накопленному наукой опыту (нет непререкаемых авторитетов), оценка результата (оригинальность и полезность) и т.д.

О.В.: Сложно сочетать преподавательскую и научно-исследовательскую деятельность в вузе? Расскажите о Вашем опыте.

О.Р.: Сочетать можно, но делать это сложно и не на паритетных началах. Очень редко бывает, чтобы преподаватель был равно успешен во всех трёх ипостасях: учебная, методическая и научно-исследовательская работа, т.к. очень уж разные это виды деятельности. Учебная работа при любых обстоятельствах должна выполняться хорошо, это не подлежит обсуждению. В какой области: методической или исследовательской достигнет преподаватель бóльших успехов, зависит от очень многих факторов и, прежде всего, от способностей преподавателя, от его склонности к тому или другому виду деятельности, от предшествующего профессионального опыта. Но в любом случае везде нужно выглядеть достойно.

В девяностых годах проректор по научной работе ВГАСА Е.М. Чернышов, понимающий целесообразность участия химиков в исследовании материаловедческих проблем, предложил кафедре химии совместно с Проблемной научно-исследовательской лабораторией силикатных строительных материалов

поработать над проблемой диагностики и тестирования сырья для технологий строительных материалов. Для участия в данных исследованиях на кафедре был определённый задел, т.к. ряд преподавателей занимались материаловедческими вопросами. В течение нескольких лет под руководством академика Е.М. Чернышова была создана оригинальная система диагностики и тестирования сырья, которая может применяться для оценки потенциала использования как природных, так и техногенных продуктов в технологиях строительных материалов.

О.В.: В последние годы Вы активно работали в новой научной области, связанной с наноматериалами и нанотехнологиями. Почему Вы решили заниматься именно этим? И как Вы оцениваете, сегодня нанохимию и нанотехнологии, это просто мода или закономерная эволюционная ступень развития науки?

О.Р.: Ольга Владимировна, как я понимаю, это «вопрос для публики», т. к. этим мы занимаемся вместе, но к истории вопроса. Когда Вы подарили мне автореферат своей кандидатской диссертации, я его прочла и мне работа показалась очень интересной. Вы тогда искали возможности продолжения исследований на новом для себя месте работы, у меня была некоторая завершённость прежних исследований и как-то постепенно у нас началась совместная работа, вначале на уровне СНО.

Химия занимается процессами на уровне атомов и молекул, но в результате химических реакций образуются макровещества. Если иметь в виду строительную отрасль – строительные материалы, т.е. вещество проходит путь от 10^{-10} м до, например, 10^{-1} м. Наномир – это 10^{-9} м, т. е. это первый шаг от молекул к сложному веществу, граница, на которой происходит всё самое интересное. На этом уровне организации материи сильно межмолекулярное взаимодействие, о котором, честно говоря, мало что известно и все объяснения описательны.

Появление соответствующих технических средств (прежде всего электронной микроскопии) изучения строения вещества, позволяющих более точно описать наноуровень, закономерным образом привело к интересу исследователей и появлению таких понятий как «нанотехнология», «нанохимия», хотя любой материал, независимо от технологии получения всегда содержит различные иерархические уровни структуры. Современная аппаратура позволяет Это под-

твердить. Так что эти термины не являются данью моде и дают реальный эффект в технологии.

О.В.: Расскажите о своих последних научно-исследовательских работах?

О.Р.: Как в настоящее время, так и тогда, когда я работала, исследования ведутся совместно с научно-исследовательской лабораторией строительного материаловедения высоких технологий в составе образовательного творческого академического центра «Архстройнаука», на кафедре выполняется та часть работы, которая связана с химическими вопросами материаловедения. Наше научное направление можно охарактеризовать как «Исследования в области наноструктур и нанотехнологий неорганических систем и строительных материалов», в котором развивается актуальное направление золь-гель синтез наномодификаторов для получения высокопрочных бетонов.

Однако, мое знакомство с тематикой по наноматериалам, началось с работы по изучению влияния воды на стабилизацию высокотемпературных модификаций ZrO_2 в композиционных системах. В этой работе я впервые вместе со студентами первого курса познакомилась с методами получения наночастиц, с изучением их свойств, а также с синтезом и анализом структуры, получаемых на их основе материалов. Удалось разобраться в различных современных методах анализа веществ: рентгеновские дифрактометрические исследования, просвечивающаяся и сканирующая электронная микроскопия, высокотемпературный дифференциально-термический анализ. Как все новое, мне показалось это очень интересным. Далее мы стали рассматривать возможность введения наноразмерных частиц в структуру цементного камня, естественно было предположение о введении наноразмерного кремнезема, т.к. на тот момент были уже публикации о применении в технологии микрокремнезема. И у Вас возникла идея синтеза наноразмерных частиц кремнезема золь – гель методом.

Принципиально важным отличием наноразмерных частиц является их размер от 1 до 10 нм; удельная площадь поверхности наноразмерного SiO_2 может достигать $200\ 000\ м^2/кг$ и более. Удельная поверхностная энергия 1 кг микрокремнезема может составлять от 10 до 18 кДж/моль, а поверхностная энергия 1 кг наноразмерного SiO_2 – до 250 кДж/моль. Таким образом, наноразмерные

частицы могут быть перспективными модификаторами цементного камня и бетонов на его основе, так как являются зародышами центров кристаллизации новой фазы, проявляют высокую химическую активность и обеспечивают снижение внутренних напряжений в системе, тем самым, повышая прочность и долговечность материала.

Сама по себе методика синтеза не сложна, однако, почти 5 лет ушло на изучение влияния различных факторов: прекурсора, метода титрования, рН среды, концентрации исходных компонентов, температуры, времени титрования на скорость роста и морфологию частиц наноразмерного кремнезема, полученного золь-гель методом. Получение высококачественного модификатора цементного камня задача, сложная и требующая дальнейших исследований, ещё и потому, что параллельно необходимо решать задачи введения активных наночастиц в сложные гидросиликатные системы. Однако поиск наиболее эффективных модификаторов для формирования структуры и управления прочностными характеристиками в гидросиликатных системах заставляет расширять область применяемых неорганических наночастиц. С этой целью была выполнено исследование формирования структуры в гидросиликатных системах модифицированных нанотрубками со структурой хризотила. В этой работе были исследованы кинетика схватывания и набора прочности цементного камня модифицированного нанотрубками хризотила, и доказано, что нанотрубки гидросиликата магния ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) являются эффективным средством повышения прочности цементных бетонов. Однако синтез наночастиц трубчатого строения, является пока технологически очень дорогим и применение этих объектов в технологии бетонов имеет место только в высокоразвитых индустриальных странах, например Японии. Тем не менее, мне думается, что направление исследований формирования структуры и управления прочностными характеристиками в гидросиликатных системах модифицированных наноразмерными частицами различной формы является актуальным и будет продолжать развиваться.

О.В.: Расскажите о своей жизни после завершения работы на кафедре.

О.Р.: После 56-и лет (с 1958 по 2014 г.г.) работы я с лёгким сердцем перешла в так называемый «третий возраст», чем кардинально изменила свой об-

раз жизни и о чём нисколько не жалею, т.к. сказано в Книге «Всему своё время..., время разбрасывать камни, и время собирать камни...». Теперь у меня обязательства не перед обществом, а перед близкими людьми и есть время прислушаться к собственным желаниям. Например, читаю то, что хочу, а не то, что нужно (сколько книг десятилетиями ждали этого времени). Рядом с домом лес, можно погулять, сходить к роднику за чистой водой; могу посвятить какое-то время внукам. Летом – дача в прекрасном месте: здесь и отдых, и посильные физические нагрузки, зимой – абонемент в филармонию. Поскольку человек не может измениться кардинально, то как была трудоголиком, так и осталась. По крайней мере, времени для кроссвордов и сериалов нет, скучно никогда не бывает, жизнь со всеми её радостями и печалью продолжается.

В заключении, хотелось отметить, что Октябрина Романовна очень цельный человек. Области её интересов многогранны. Беседа с ней убеждает, что работа зачастую, это большая часть жизни, причем состоит она из множества оттенков. И вероятно необходимо иметь большое мастерство, чтобы делать её приятной не только для себя, но и для людей, работающих с тобой в коллективе. Преподаватели нашей кафедры научились у Октябрины Романовны пунктуальности, высокой организованности, умению создавать четкую концепцию по каждой теме занятий и умело доносить её до студентов. Но главное, это её оптимистическому жизненному настрою и готовности узнавать, что-то новое и интересное. Ведь её жизненный девиз: «Мне интересно жить».

Сергуткина Октябрина Романовна - канд. хим. наук, доцент кафедры химии Воронежского государственного технического университета

Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

ADVANCED METHODS OF NANOMEMBRANES' PRODUCING (REVIEW)

O.L. Figovsky

Israeli Association of inventors, 3a Shimkin street, Haifa, 34750, Israel

Corresponding author: Oleg Figovsky, E-mail:figovsky@gmail.com

The article provides a complete overview of the current state of polymer nanomembranes. It is shown that membrane technology is a rapidly developing industry with great economic and environmental consequences and importance. Nanomembranes are currently an interesting topic in the broad field of nanotechnology. The mechanism of diffusion of a solution of polymer nanomembranes and factors promoting the transport of polymer nanomembranes are discussed. Mixed-matrix membranes, aimed at developing innovative membranes consisting of a polymer matrix, have become one of the new technologies. The concept of mixed matrix nanomembranes and concepts of nanoblenders are considered. Nanomembranes are defined as self-contained structures with a thickness in the range of 1-100 nm. Such a structure can have a very large surface; the surface area of a nanomembrane with a thickness of 10-40 nm can be several square centimeters. As quasi-two-dimensional, nanomembranes exhibit new and unusual properties that are not found in materials with macroscopic dimensions. This makes nanomaterials indispensable in various fields, such as probing, optics, plasmonics, biomedicine, etc.

Keywords: nanotechnology, nanomaterials, nanomembranes

ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА НАНОМЕМБРАН

О.Л. Фиговский

Ассоциация изобретателей Израиля, Израиль, 34750, г. Хайфа, ул. Шимкина, 3а

Адрес для переписки: Олег Львович Фиговский, E-mail: figovsky@gmail.com

В статье представлен полный обзор современного состояния полимерных наномембран. Показано, что мембранные технологии - это быстро развивающаяся отрасль, имеющая большие экономические и экологические последствия и значение. В настоящее время наномембраны представляют собой интересную тему в широкой области нанотехнологий. Обсуждены механизм диффузии раствора полимерных наномембран и факторы, способствующие транспорту полимерных наномембран. Мембраны со смешанной матрицей, нацеленные на разработку инновационных мембран, состоящих из полимерной матрицы, стали одной из новых технологий. Рассмотрены концепция смешанных матричных наномембран, представления о наноблендерах. Наномембраны определены как автономные структуры с толщиной в диапазоне 1-100 нм. Такая структура может иметь очень большую поверхность, площадь поверхности наномембраны толщиной 10-40 нм может составлять несколько квадратных сантиметров. Будучи квазидвумерными, наномембраны проявляют новые и необычные свойства, которые, отсутствуют в материалах с макроскопическими размерами. Это делает наноматериалы незаменимыми в различных областях, таких как зондирование, оптика, плазмоника, биомедицина и др.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, наномембраны

Membrane technology is a rapidly growing field having a large economic and ecological consequences and importance. As well know track membranes are more effective. Nowadays, nanomembranes constitute an interesting topic in the wider field of nanotechnologies [1]. This article provides a comprehensive overview of the current state of the art polymeric nanomembranes. The solution diffusion mechanism of polymeric nanomembranes and the factors contributing to the transport of polymeric nanomembranes are discussed. Mixed-matrix membranes that focus on the development of innovative membranes, comprising of polymer matrix have become one of the emerging technologies; the concept of these mixed-matrix nanomembranes is discussed. Nanoblends of the polymeric membranes are evaluated with the nanophase removed for controlled porosity. Nanomembranes are defined as freestanding structures with a thickness in the range of 1 – 100 nm and an extremely large aspect ratio, of at least a few orders of magnitude. To illustrate how thin nanomembranes are, let us compare a 10 nm-thick nanomembrane with the 0.3 nm diameter of an at-

om: the nanomembrane I only 30 atomic layers thick! On the other hand, such structure can have a very large surface: the surface area a 10-40 nm-thick nanomembrane can be several square centimeters large! Being quasi-two dimensional, nanomembranes exhibit new and unusual properties, naturally not found in materials with macroscopic size. This makes nanomaterials irreplaceable in various applications such as sensing, optics, plasmonics, biomedicine, and many more.

A track membrane is a thin polymer film with through pores which are formed by penetrating a special substance into and through the material of a polymer plate and then removing the traces of penetrated particles from the matrix material thus forming pores. The track membrane may find use in various fields of industry as conventional membrane filters for purification of liquid substances from solid contaminants. In view of low manufacturing cost and only a slight deviation of the holes from the rated diameter (within the limits of 10 to 20 %), the track membrane of the invention may be advantageously used as a dialysis filter.

A multitude of straight openings pores in sheets of polymeric materials, formed by homogeneously bombarding the sheet with a source of heavy energetic charge particles to produce damage tracks as have been described in [2] On subsequent stages radiation damaged materials are removed by chemically etching as by immersing the irradiated solid in an etchant. Different chemical reagents (etchants) and etching methods are known as a rule as etchants are used the alkali solution. Without of destroyed materials as produced by high toxic solvents its makes the industrial methods of track membrane production non ecological and less technological. Besides, these methods demand the usage of expansive nuclear reactor or accelerates, for example, the cyclotrons [1,2].

At the same time, there are various methods of treatment of different materials and products, including polymers, with the use of explosive energy. For example [3], discloses a treatment of synthetic polymeric materials by contacting endless sheet-like, ribbon-shaped or filiform polymeric products with 0.1 to 2 mm size particles of sand, glass, corundum or a metal by directing onto the surface a stream of gas carry-

ing the aforesaid particles. This gives the textile structures a rough, woolly, soft feel and they are mat, while films become rough and mat and have a low transparency.

The advantages of track membranes such as high pores density and uncial selection combined with combine with negative factors, for examples, high absorption activity [1,2].

According to this the great scientific and practical interest has the use for track membrane production the method of super deep penetration (SDP) [4]. This method permits to realize complex of physical effects such as an intensive electromagnetic radiation , an intensive strain, pressure of 8-20 GPa, flows of «galactic» and so on [5].

So we can propose the possibility of SDP method use for making of open pores in polymer matrix [6]. The method of SDP is carried out by using a matrix material of the membrane and special working substances which interact with the matrix in the form of a high-speed jet generated and energized by an explosion of explosive material.

New concept of the physics of the superdeep penetration phenomenon [7,8] is based on consecutive implementations of a set of physical effects. Growth of the energy density (energy accumulation) in local zones of the barrier material results from the system closing and creation of the dynamically stable local zones of high pressure, the level of which is sufficient for a dynamic phase change. In the barrier volume, a dislocation pattern characteristic for usual explosive loading appears. The changes of geometry and sizes of the grains and their twinning are observed.

The experiments with the explosive compression (in a cylindrical scheme) have shown that the observable structural changes in the case of explosive compression and for loading of the particles clot give analogous patterns. The total energy of the explosive charge used for the preparation (sample) compression was $E_{com.ex} = 594 \cdot 10^4$ J. We have accepted that the energy spent on twinning, change of geometry and sizes of the grains was only 5% of the total compression energy $E_{com.ex}$. Thus, the energy spent on these micro-structural changes is $E_{ex} = 29.7 \cdot 10^4$ J [9].

The special working substance comprises a saturated or supersaturated aqueous solution of water soluble organic salts, or a saturated or supersaturated aqueous solution of water soluble inorganic salts. The organic salts are selected from the group

comprising tartrates, acetates, salicylates, benzoates of alkali metals, for example potassium tartrate, sodium acetate, sodium salicylate. The inorganic salts are selected from the group comprising halides of the alkali metals and alkaline earth metals, for example sodium chloride, sodium bromide, potassium fluoride, calcium chloride.

The matrix material comprises an organic polymer material in the form of a solid plate.

As a polymer matrix we can use polyolefin (polyethylene, polypropylene, etc.), polyvinylchloride, fluorinated polyolefin (polytetrafluoroethylene, polyvinylidene fluoride, etc.), polyamide, polycarbonate, polyester, polysulfone, etc.

A device for realization of method comprises a shell in the form of a tube one end of which contains a cartridge with an explosive material and working substance in the form of a solution of solid water-soluble salt or salts. Inserted freely into the other end of the shell is a holder that contains a membrane matrix to be treated in the form of a plate. The open end of the holder is closed by a cover which is attached to the holder, e. g. by screws, whereby the membrane matrix is secured in the holder. The shell with the cartridge that contains the explosive material and the working substance as well as the holder with the matrix of the material to be treated is placed into an explosion-proof chamber, and the explosive material is detonated to cause an explosion [6].

As a result, the working substance is expelled from the cartridge by an explosive wave in the form of a high-speed jet and penetrates deep into and through the polymer material of the plate. Under the effect of the explosion, the holder with the polymer plate and cover is ejected from the shell into the explosion-proof chamber. The cover is disconnected from the holder, the matrix is extracted, and is subjected to treatments with water that dissolves the water-soluble particles or wash them out from the membrane matrix thus forming microscopic openings that pass through the polymer plate. Then the polymer plate is sliced into thin pieces that can be used, e. g., as filter plates.

For tracking membrane production by SDP method it is necessary to optimize the following parameters:

- the chamber size,
- type and charge construction,
- the explosion power,
- the velocity of detonation,
- the thickness of charge,
- the type and dispersion of working substance,
- the distance from charge end till polymer sample,
- the solvents composition ,
- the material and the size of screen and etc.

So we optimize the above mentioned parameters of explosion chamber, which provide the demanded quality of tracking membranes. As a first step we choose the conditions of preservation of the sample during bombardment. The parameters of explosion chamber used previously for creation of open pores in ceramics matrix cannot be usage due to the difference of elasticity modules of polymer material and ceramics. So we have produced the special protective steel screen with one central and several scattered holes. It provides the part of impact wave energy consumption for destruction of the steel screen.

For preservation of polymer sample during bombardment was produced special steel container with hole in the bottom during which the particles of working substances penetrate into polymer matrix as a charge was used the ammonite of bulk density 0.8-0.9 g/sm³ [10].

The device contains the a tubular plastic shell with both open ends. The height of plastic tube is 200 mm. The device contains a cartridge with the detonatable explosive material and the working substance in the form of a supersaturated solution of water-soluble solid salt. The cartridge is inserted into lower open end of the tubular holder. Detonator is used for detonation of the explosive material. The membrane holder with an open-bottom cavity for receiving a membrane matrix is inserted into the upper open of the shell. The device is placed into an explosion-proof chamber.

The explosion wave that has a detonating nature should impart to the solid particles of the working substance a velocity in the range of 3800 to 4200 m/sec.

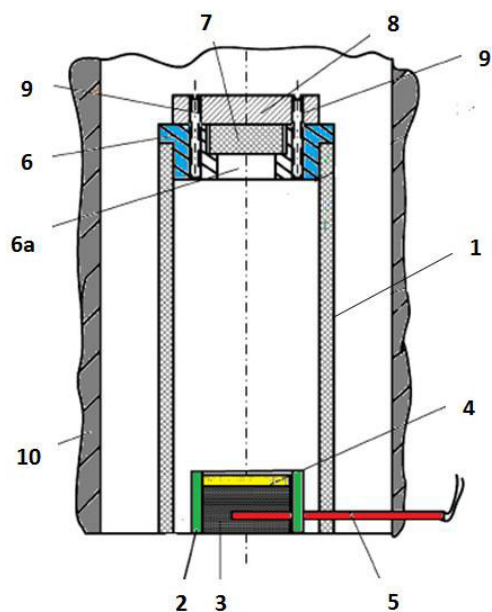


Fig. 1. Vertical view of constructed device for membrane production by SDP method.
1- tubular shell; 2- cartridge; 3- detonatable explosive material; 4- supersaturated solution of water-soluble solid salt; 5- detonator; 6- membrane holder; 7- cavity of the holder; 8 - cover of the holder; 9- fasteners; 10- explosion-proof chamber [11]

Some particles deeply penetrate into the membrane matrix material and some particles pierce the body of the membrane matrix from its exposed side. Under the effect of the explosive wave, the holder together with the membrane matrix and the cover are expelled from the shell into the explosion-proof chamber. The cover is then disconnected from the holder and the treated membrane matrix is extracted from the holder. However, the membrane matrix will still contain residue of the water-soluble particles of the working substance. Removal of the residual trace particles of the solid substance from the membrane may be carried out in the running flow of water, leaving a plurality of small-diameter holes. As a polymer matrix firstly we use impact strength polyethylene.

At the same time perspective materials for production of polymer membranes by SDP method are polyethyleneterephthalate, polycarbonate and etc.

The solid plate of matrix polymer materials may have a total thickness in the range of 10 to 20 mm. After removal of the residue of the working substance, the solid plate is sliced into track membrane shaving a thickness of 5 to 50 μm by means of a microtome.

The microstructure of produced by SDP method membranes is presented in Fig. 2 [11].

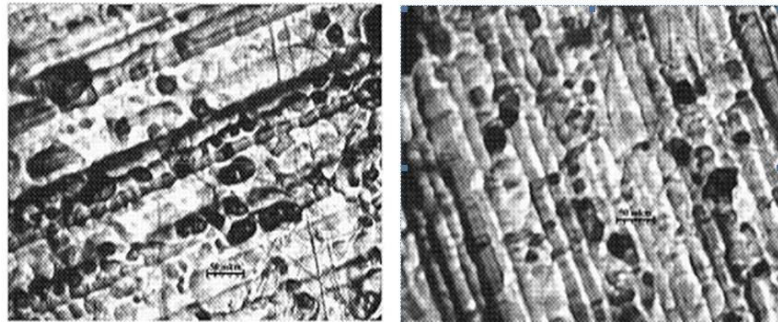


Fig. 2. The electronic microscope pictures structure of nanomembranes based on polyethylene [11]

The picture show section of samples taken parallel to the diameter of the polymeric cylindrec by means of microtome. The black dots in the photographs represent the pores of the sliced samples, which have the size in the range of diameters of 80-100 nm

The actual diameters and the range of the diameters of the holes depend mainly on the velocity of the particles, diameter of the shell, and a distance from the cartridge with the explosive material and the particles to the membrane matrix material in the holder. The through holes produced in the track membrane are oriented in the direction of the jet of particles and occupy from 10 to 20 vol. % of the membrane material volume.

The main drawback of the SDP method of polymer tracking membranes production is its very design, i.e., all the risks associated with the use of explosives. The method cannot provide uniformity in distribution of distribution of track holes and their diameters. Another significant disadvantage of the explosion method is a reflected wave upon detonation. At the same time the shock wave is reflected from the shell and moves to the center carrying with it a significant part of the energy, while the pressure around the shell rapidly falls off (faster than instantaneous detonation). As a result, the acceleration of the shell is reduced more rapidly than with instantane-

ous detonation. This significantly reduces the efficiency of the explosive impact on the membrane matrix.

New method for treating thin-film materials with a flow of solid particles in an electric field is developed. More specifically, the method for manufacturing track membranes is based on piercing a matrix of a thin-film material with a flow of hard particles generated by an electric field. The essence of the method consists of charging and accelerating particles of a powder that constitutes a working material for treating, e.g., perforating a thin-film object intended for manufacturing, e.g., track membrane for use as membranes for dialysis, filtering gases, etc. The particles are accelerated and acquire a kinetic energy under the effect of an electric field developed between two metallic electrode such as a continuous charging electrode and a perforated electrode, e.g. in the form of a net. The object being treated may comprise a replaceable thin-film sheet or a belt periodically shifted and fixed in a working position for exposure to the action of the moving particles.

Realization of the method is based on the use of an apparatus that consists of a closed chamber which contains two mutually spaced and electrically separated metallic electrodes. One of the electrodes is an acceleration electrode in the form of a net with a plurality of openings or cells for passing the particles to the exposed object, while another electrode, which referred hereinafter as a charging electrode, is continuous.

The method is carried out as follows.

First, a specific powder of a selected material, shape, and size is supplied to the inter-electrode space by means of the powder supply unit or injector. Next, a voltage CV is supplied to the metallic electrodes. A part of the powder particles should already have a non-compensated charge but neutral particles will acquire the non-compensated charge under the effect of the electric field. As a result, under the effect of the electric field EF , which is generated between the electrodes in the inter-electrode space, the charged particles begin to move with acceleration to the acceleration electrode. And, when reach this electrode, the particles develop a significant ki-

netic energy that depends on the value of the charge, particle mass, and potential difference between the electrodes.

Realization of the proposed method is based on the use of an apparatus that consists of a closed chamber that contains two mutually spaced and electrically separated metallic electrodes. One of the electrodes has a plurality of openings, e.g., cells, if this electrode is a net; another electrode is continuous. The apparatus is provided with a powder supply mechanism or injector for the supply of a specific powder into the inter-electrode space formed between the electrodes, preferably closer to the continuous electrode.

First, a specific powder of a selected material, shape, and size is supplied to the inter-electrode space by means of the powder supply mechanism or injector. Next, a voltage is supplied to the metallic electrodes. A part of the powder particles should already have a non-compensated charge but neutral particles will acquire the non-compensated charge under the effect of the electric field. As a result, under the effect of the electric field the charged particles begin to move with acceleration to the net-like acceleration electrode. And, when reach this electrode, the particles develop a significant kinetic energy that depends on the value of the charge, particle mass, and potential difference between the electrodes.

More specifically, the particle charge can be evaluated by the following equation:

$$Q = \varepsilon_0 A E , \quad (1)$$

where: Q is a dust particle charge; ε_0 is dielectric permeability of vacuum; A is a surface area of the particles; and E is an intensity of the external electric field.

A charge article experiences an effect of the electric field, and when the electric force is greater than the weight of the particle, the latter may levitate. The value of this critical electric field E_c is evaluated from balance of forces in the following manner:

$$mg = \varepsilon_0 A E_c^2 , \quad (2)$$

where: m is a mass of a dust particle, and g is acceleration of gravity. For a spherical

$$E_c = \sqrt{\frac{\rho d g}{6 \epsilon_0}}, \quad (3)$$

where: ρ is a density of the particle material; and d is a particle diameter.

Fig.4.48 shows theoretical and experimental values of a critical electric field for various solid materials. The values of these critical electric fields for various solid materials are shown in Table 1. Particles used in the experiments had a cubical or spherical shapes, and the dimensions of cubical particles were recalculated to diameters of spherical particles of the same surface area. It can be seen from figure 3, that the measurement data and the theoretical data correspond each other.

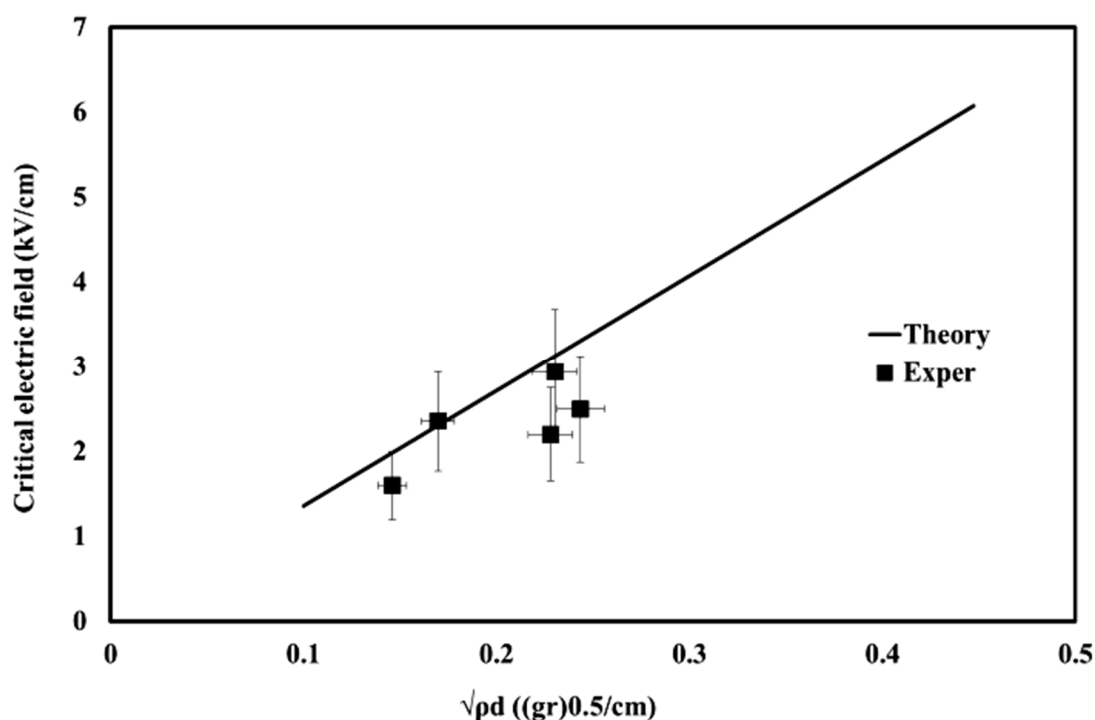


Fig. 3. Theoretical and experimental values of a critical electric field for various solid materials

When the intensity of the electric field is higher than its critical value for the given particle type, the particles are accelerated. If the friction forces are neglected, the pulse equation can be written as follows:

$$m \frac{dv}{dt} = \varepsilon_0 A E^2 - mg, \quad (4)$$

where: v is a velocity of the charged solid particle

Table 1

Critical electric fields for various solid particles

Material of particle	Density (g/cm ³)	Dimension (μm)	Critical electric field (kV/cm)
Al ₂ O ₃	3.2	100	1.6
Cu	8.9	100	2.2
Fe	7.8	100	2.3
NaCl	2.16	200	2.3
SiO ₂	2.65	300	2.9

A charged particle is accelerated by the electric field in the direction opposite to the direction of the gravity force. If we assume that the electric force intensity $U = El$ is constant on the entire way of particle acceleration between two electrodes, the accumulated kinetic energy acquired by the particle can be expressed by the following equation:

$$K = \left(\varepsilon_0 A \frac{U^2}{l^2} - mg \right) l, \quad (5)$$

where: l is the acceleration path, and U is the applied field intensity between the electrodes.

When the particle is accelerated particle collides with the material of the membrane, the particle may be reflected from the surface of the membrane or may penetrate into the material, leaving a trail of the material in the form of pores –track. The geometry of the pores formed corresponds to the flight path of the particle within the material. The kinetic energy of the accelerated by the electric field of particulate matter is converted into energy of destruction of the material. It is assumed that the hardness of the material particles is much greater than the hardness of the membrane material, and energy is not spent on the destruction of the particles themselves. For particles with a size comparable to the thickness of the bulk material (membrane materi-

al), the material may be destroyed when the brake force of inertia balanced c destructive power.

The conducted experiments show the fact that in an electric field a solid particle can be charged and that its movement can be accelerated is experimentally observed is a phenomenon that can be used as a basis for developing various devices and processes.

When the accelerated particle collides with the material of the membrane, the particle may be reflected from the surface of the membrane or may penetrate into the material, leaving in the material a trail in the form of a pore known as a track. The geometry of the pores formed corresponds to the flight path of the particles within the material. The kinetic energy of a particle accelerated by the electric field is converted into energy of destruction of the material.

Let us assume that the hardness of the material particles is much greater than the hardness of the membrane material and that the energy is not spent on the destruction of the particle itself. For particles with a size comparable to the thickness of the bulk material (membrane material), the material may be destroyed when the brake force of inertia is in balance with the destructive power. Thus, the critical condition can be written as follows:

$$ma = S\sigma, \quad (6)$$

where: a is an acceleration of a solid particle in the membrane material S is a cross-sectional area of the destruction. In the condition expressed by equation (6), the friction force between the solid particle and the membrane material is neglected.

If it is assumed that on the other side of the membrane (i.e., on the side opposite to the bombarded side) the velocity of the particle is equal to 0), then the acceleration of the particle can be expressed as follows:

$$a = \frac{v_0^2}{2h}, \quad (7)$$

where: v_0 is a velocity of the solid particle after acceleration in the electric field; and h is a thickness of the membrane.

The destruction area can be expressed a follows:

$$S = Lh \quad (8)$$

where : L is a total length of the destruction. For a spherical solid particle the total length of the destruction can be expressed by the following formula:

$$L = n \frac{d}{2}, \quad (9)$$

where n is a destruction number. The value of the destruction number “ n is dimensionless and can be obtained experimentally. In other words, when a solid particle that moves with a high velocity passes through a thin film and makes hole in it, such a hole is normally surrounded by a number of thin cracks that extend radially outward from the periphery of the formed hole. The applicants decided to evaluate the destruction number n as a ratio of total length of such cracks to the radius of the hole formed in the thin-film material. Normally the destruction number n is in the range of 3 to 6 and the final value is calculated as an average value, e.g., from 10 to 20 measurements.

By using the value of the destruction number n is dimensionless and can be obtained experimentally. In other words, when a solid particle that moves with a high velocity passes through a thin film and makes hole in it, such a hole is normally surrounded by a number of thin cracks that extend radially outward from equation (12), the upper limit of the membrane thickness can be determined from the following equation:

$$h = \sqrt{\frac{(\epsilon_0 A (U/l)^2 - mg)l}{\sigma L}}, \quad (10)$$

For spherical particles, the formula for the membrane thickness can be converted into the following expression:

$$h_s = \sqrt{\frac{\pi l d (6 \varepsilon_0 (U/l)^2 - \rho d g)}{3 \sigma n}}, \quad (11)$$

Calculation by means of the upper limit of the membrane thickness by using formula (11) for a spherical particle of aluminum oxide (having diameter $d = 10^{-4}$ and density $\rho = 3200 \text{ kg/m}^3$) accelerated in the electric field generated by the potential difference $U = 6000 \text{ V}$ at the inter-electrode distance $l = 0.02 \text{ m}$, for a strength limit of the membrane material $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$, and a destruction number $n=3$, gave the upper limit of the membrane thickness at which the membrane could be pierced with the formation of through openings equal to $h_s \approx 10^{-6} \text{ m}$.

Realization of the proposed method is based on the use of an apparatus (Fig.4).

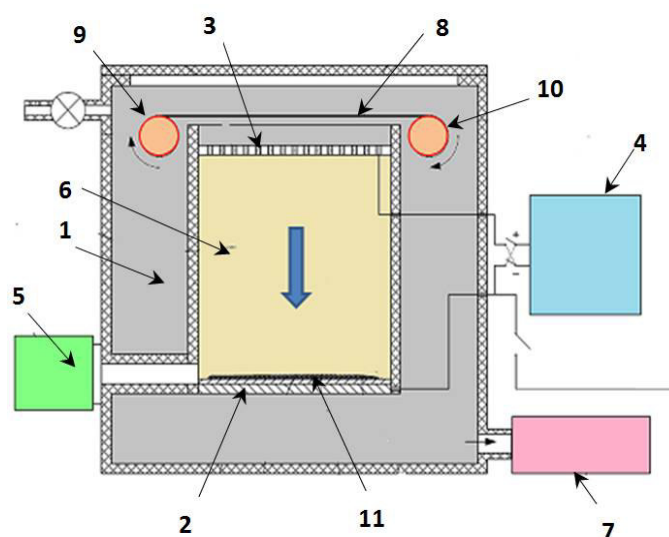


Fig. 4. Apparatus for production of tracking membranes by accelerated particles of powders:
 1 – Chamber (L= 100 mm , W= 30 mm . H=100 mm); 2,3 – Electrodes; 4 – Voltage power;
 5 – Powder injector; 6 – Inter-electrode space; 7 – Vacuum pump; 8- Film; 9, 10 – Bobbins;
 11 – Specific powder

The apparatus consists of a closed chamber (1) that contains two mutually spaced and electrically separated metallic electrodes (2) and (3). Acceleration electrode (3) is a net , has a plurality of openings, another charging electrode (2) is continuous. The apparatus 100 is provided with an adjustable high voltage power supply unit (4) for the supply of CV to the electrodes and a powder supply unit or injector (5) the supply of a specific powder into the inter-electrode space (6). The apparatus

may be equipped with a vacuum pump (7) for evacuation of air from the interior of the and with a device for injection of inert gas into the space (6). A thin film material (8) which in Figure 48 is shown as a continuous belt moveable from the supply bobbin (9) to the receiving bobbin (10), is located over the acceleration electrode (2).

The process of production of tracking membranes is described below.

Solid particles which in the inter-electrode space (6) are loaded onto the charging electrode (2) acquire a charge which in its sign corresponds to the sign of the charging electrode. Under the effect of the electric field, the particles start moving towards the accelerating electrode (3) which bears the charge reverse to the charging electrode. As a result, solids particles of the powder are accelerated by the electric field generated between the charging and accelerating electrodes. The powder particles pass through the open cells of the net and impact the thin-film material (8).

The exposure time τ (s) is determined by the intensity $J_m \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{sec}} \right)$ of the particle stream at the output from the inter-electrode space and by the desired density of holes $\sigma(\text{m}^{-2})$ in the membrane to be produced. The exposure time τ (s) is calculated by means of the following formula:

$$\tau = \frac{\sigma \rho k_f D^3}{J_m}, \quad (12)$$

where: ρ is a density of particle material, k_f is a coefficient that depends on the shape of particles, and D is an average side of the particles.

The practice examples of the obtaining tracking membrane via a stream of the powder particles accelerated in an electric field is given below (Table 2).

A samples were as a rectangular-shaped high density polyethylene films. A working substance for treating the sample comprised :

- Aluminum oxide powder,
- Iron powder
- Copper power
- Silicon oxide powder

- Sodium chloride powder
- Sucrose powder

Table 2

Examples of the obtaining tracking membrane

No.	δ μm	S μm	L mm	Kind of particles	Δ kV	V m/s	t min	D_{average} μm
1	15	100±10	80	Al ₂ O ₃	15	3.8	1.0	50±15
2				Fe		2.9		30±10
3				Cu		2.7		
4		12±2		SiO ₂		42		10±1
5		35±10				5.6		25±5
6	24		20	NaCl	25	14	0.5	22±5
7					30	16		
8					15	35±5		80

Designation: : δ - thickness of polyethylene film; S-particle size ; L- distance between the charging electrode and acceleration electrode; Δ - air pressure; V- velocity of the accelerated particles ; t- exposure time of the powder to the electric field; D_{average} - average diameter of the openings formed in the sample film.

A new concept of the physics of superdeep penetration phenomenon is based on the successive realization of a set of well-known physical effects, stage by stage leading to creation of a closed energetic system and to the realization of the cavitation process (collapse of micro-cavities in dense plasma) with the additional energy emission. The SDP method opens the great perspectives for production of tracking membranes based on polymer matrix. This method is cheaper, more simple and ecological friendly as compared to nuclear industrial methods. It's use excludes the application of high toxic solvents. Simultaneously it permits to create of polymer membrane with micro- and nanosize open pores and besides provides the absence of oxidation products, which can migrate into filtrate.

New method for manufacturing track membranes by piercing a matrix of a thin-film material with a flow of hard particles generated by an electric field is proposed. The essence of the method consists of charging and accelerating particles of a powder that constitutes a working material for treating, e.g., perforating a thin-film

object intended for manufacturing, e.g., track membrane for use as membranes for dialysis, filtering gases, etc. [12-14].

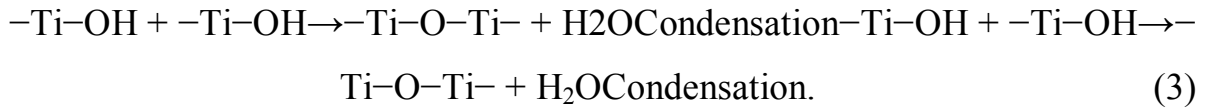
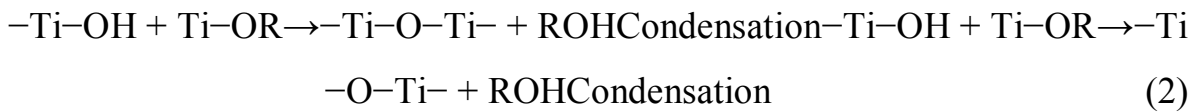
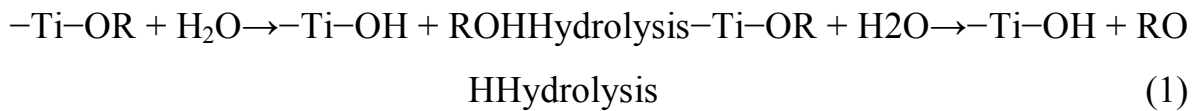
Nanoporous materials are also distinguished from bulk nanoporous materials, such as silicon and membranes. Generally, they are materials with holes less than 100nm in diameter. Bulk nanoporous materials can be classified as natural or synthetic, inorganic or organic, sometimes in combination. It has been known for many years that the mechanism of diffusion is very different in rubbery and glassy polymers. This is as a result of the fact that glassy polymers are not in a true state of equilibrium. The difference in mechanisms is reflected in the significant differences observed in the dependence of the diffusion coefficient, as well as the permeability and solubility coefficients, on the penetrant gas pressure or concentration in polymers and on the temperature [It is necessary to understand the concept of the glass transition temperature, T_g . As the temperature of a polymer drops below T_g , it behaves in an increasingly brittle manner (the polymer is in glassy state). This is directly related to the restricted chain mobility and the intermolecular forces between the chains do not allow movement other than vibration. As the temperature rises above the T_g , the polymer becomes more rubber-like. Here, the polymers are generally tough and flexible, which is associated with freer chain motion. Rubbery polymers' usually have shorter relaxation times than glassy polymers and respond very rapidly to external stresses. Therefore, a change in temperature causes an instant adjustment to the new equilibrium state. The knowledge of T_g is therefore essential in the selection of materials for various applications. The polymer properties of the two states (glassy and rubbery) can be further modified by the presence of crystalline phases, by stress induced orientations or as a function of cross-link density [15]. The development of nanomembranes, where engineered polymer blends are incorporated into the membrane matrix or are deposited on membrane surface, is of great importance. In the development of mixed-matrix nanomembranes the focus is on innovative membrane casting methods, identifying compounds able to keep the polymer blends stabilized in the membrane casting solution, and ensuring compatibility with all membrane components.

The recent and intensive nanotechnology development gives birth to a new focus on nanomembrane materials, which are defined as structures with thickness limited to about one to several hundred nanometers and with much larger (typically at least two orders of magnitude larger, or even macroscopic scale) lateral dimensions. Nanomembranes can be readily processed in an accurate manner and integrated into functional devices and systems. Assisted assembly of nanomembranes leads to wrinkled/buckled geometries for flexible electronics and stacked structures for applications in photonics and thermoelectrics. Inspired by kirigami/origami, self-assembled 3D structures are constructed via strain engineering. Many advanced materials have begun to be explored in the format of nanomembranes and extend to biomimetic and 2D materials for various applications. Nanomembranes, as a new type of nanomaterials, allow nanotechnology in a controllable and precise way for practical applications and promise great potential for future nanorelated products [16].

Membranes have been explored as an efficient alternative for gas separation over other CO₂ capture processes, such as liquid absorption and solid adsorption, due to their lower operational energy cost. Organic polymeric membranes have been widely investigated to take advantage of their flexibility and solution processability. However, such materials are prone to gas permeability–selectivity trade-off behavior. Membranes with high gas flux are strongly sought after although the gas selectivity by the current state-of-the-art membranes is satisfactory for practical use. Thinning is one of the promising approaches to improve the gas permeance of separation membranes. In biological systems, we can find molecularly thin membrane and the lipid bilayer membrane. The lipid membrane possesses the fundamental functions as a separating system. Lipid bilayer membrane itself divides the inside and outside of a cell and has a principally barrier property for controlled molecular transport. Transmembrane proteins, such as ion transport proteins, play the main role in the transport of molecules and ions selectively. From this viewpoint, one could say that a lipid bilayer acts both as a barrier membrane and as a platform to deploy such channel proteins for energy-efficient and selective transport. By taking this essential design concept of the biological system, a less permeable membrane with nanometer thickness

(nanomembrane) would be considered as a good platform useful for creating molecular channels across this nanomembrane. This is our motivation and starting point to design separation membrane with nanometer thickness. Simple thinning often leads to membrane weakening. In polymeric membranes, fractional free volume plays an important role on molecular permeation across the membranes and, thus, controlling it is one of the issues in membrane design. However, when membranes become thin, the surface property of polymers becomes different from the bulk property. For example, the surface portion of polymer films possesses lower glass transition temperature (T_g) because of the localization of its polymer chain and end groups at the surface. This different dynamic behavior of the polymer chains near the surface may not allow the design of separation nanomembranes by simply extrapolating from the bulk properties of the polymeric membrane materials. In contrast, metal oxide materials, such as ceramics and zeolites, have rigid molecular frameworks and, thus, one can design the size and shape of obviously-opened micropores, although the free volume spaces in polymeric membrane can be considered as a temporary pore. This rigid molecular network provides opportunities to more precisely tune molecular transport properties. For example, molecular networks in amorphous ceramic membranes can be designed by the molecular imprinting approach.

Various approaches, such as solution blending, casting and layer-by-layer assembly, have been investigated for the fabrication of composite nanomembranes. Interest in LbL assembly has grown in the last two decades because of its simplicity, ability to control film thickness with molecular scale precision and versatility for many choices of materials architecture. Stepwise surface sol-gel fabrication of metal oxide thin films was introduced independently by Kunitake and co-workers and Kleinfeld and Ferguson [16] This is a suitable technique for the fabrication of ultrathin composite films by alternate chemisorption of molecular layers of metal oxides and polymers The chemical reactions during sol-gel processing can be generally described by the following three equations.



Two types of nanomembranes, MO_x-polymer double-layer nanomembrane and LbL assembly of TiO₂ and PVA, were successfully fabricated by simple spin-coating and tested for gas permeation. Double-layer nanomembranes (MO_x-PEI@PCGF) demonstrated slightly higher permeance for five different gases compared with PEI@PCGF nanomembrane alone, without significant influence on gas selectivity. Faster gas permeation was plausibly induced by plasma treatment and solvent swelling during the oxide layer coating. SEM observation showed that the metal oxide layer cannot follow the flexibility of polymer and develop defects when the membrane is mechanically disturbed. PVA was introduced between MO_x nanolayers by LbL assembly process to overcome fragility of the metal oxide nanolayer. The fabricated nanomembrane was free-standing and showed high flexibility without any film fragmentations during macroscopic membrane manipulations. Even after transfer of LbL nanomembranes onto a porous support, it did not have obvious cracks as confirmed by SEM observation. Nanomembrane sustained low gas permeance, confirming the absence of significant defects, although it shows excellent mechanical property. Highly flexible and free-standing composite nanomembrane of polymers and metal oxides such as these are expected to provide great opportunities in the design of gas separation membranes as a platform for molecular nanochannel design [16].

Two-dimensional materials, such as graphene, molecular nanosheets, hexagonal boron nitride or transition metal dichalcogenides have recently attracted substantial interest due to their potential use in electronics, chemical and biological sensors, nanooptics, and catalysis. For most of these applications, the functional nanostruc-

tures have to be prepared lithographically. In this respect, extreme ultraviolet interference lithography provides both high-resolution patterning with an ultimate limit in the sub-10 nm range and high throughput capability. In the work [17] was presented the preparation of nanopatterned 1 nm thick freestanding molecular nanosheets – carbon nanomembranes (CNMs) – and single layer graphene employing this method and their characterization with a helium ion microscope and was demonstrated periodic arrays of suspended nanostructures of CNMs and graphene including nanoribbons with width between 20 nm and 500 nm and nanomeshes with openings between 140 nm and 300 nm and mesh lines down to 90 nm.

Mass transfer across porous materials with nanoscale thickness is of great interest in terms of both fundamentals of fluid dynamics and practical challenges of membrane separation. In particular, few-atom thick sieves are viewed as attractive candidates to achieve ultimate permeability without compromising membrane selectivity. In the work [18], was introduced a vacuum system for studying vapour and gas permeation in micrometer-sized samples of suspended nanometre-thick films. Steady-state permeation rates are measured with a mass-spectrometer directly connected to the downstream side of a membrane cell. A built-in nanoaperture is used as a reference to calibrate the detector *in situ*. A feed compartment is designed in a way that allows for preparing gaseous mixtures of variable composition, including vapors of volatile liquids. Room-temperature measurements with carbon nanomembranes confirm that this material is selective to water vapour and can efficiently separate it from mixtures with a variety of gases and organic compounds. We demonstrate that a high permeance for water is maintained regardless of the molar fraction and discuss its strong pressure dependence by invoking adsorption.

To be applied, nanomembranes have first to be functionalized. Today, there are four different approaches to functionalization: lamination of nanomembranes (stacking of nanometre thin layers of different materials), introduction of nanoparticle fillers into the nanomembrane scaffold, nanomembrane surface sculpting and modification through patterning (including formation of nanohole arrays and introduction of ion channels similar in function to those in biological nanomembranes). As these ap-

proaches can also be combined, practically unlimited opportunities for functionalization of nanomembranes open up for. The time when nanomembranes more complex than the biological membranes will be produced, but with mechanical properties surpassing their natural counterparts, is not far from today [15].

The world of environmental engineering science in today's world is undergoing drastic and visionary challenges. Vision of science, progress of human civilization, and the fruits of technology are the torchbearers of greater emancipation and true realization of environmental engineering science. Membrane separation processes and novel separation science are not immature yet visionary avenues of science. Scientific endeavor in nanofiltration and nanomembranes needs to be readdressed and reenvisioned at each step of human research pursuit. Application of nanomembranes in environmental engineering is a vibrant and visionary area of science. Industrial wastewater treatment and drinking water treatment are the application areas of nanomembranes. The question of environmental sustainability and the application of membrane science in environmental engineering science are of immense relevance to the progress of human civilization and the greater emancipation of science. Science and engineering are a colossus without a will of its own in today's human civilization. True emancipation of environmental engineering science and realization of environmental sustainability are the urgent need of the hour. Human scientific research pursuit today stands in the midst of scientific revelation and true greatness. It is shown that pinpoint the immense potential of nanomembranes in environmental application with a keen eye toward attainment of environmental sustainability. The tryst with scientific destiny is widely observed at each step of this scientific research pursuit. Nanomembranes and membrane science are veritably relevant in today's scientific world [19].

References

1. Apel P. Track Membrane Production //Padiat. Meus, 2001. vol.37. No.16, P. 559-566.

2. Figovsky O., Gotlib E., et al. Super Deep Penetration - new method of nanoreinforced composites producing based on polymer matrixes //J. Scientific Israel- Technological Advantages, 2012. Vol.14, No 1, P. 74-78.

3. Figovsky O, Beilin D., Usherenko S., Kudryavtsev P Environmental friendly method of production of nanocomposites and nanomembranes // J. Scientific Israel- Technological Advantages. 2016, vol.18, № 2. P. 55-106.

4. Usherenko S.M., Koval O.I., et al. Estimation of the energy expended for superdeep penetration // J. Engineering Physics and Thermophysics, 2004. Vol.77, No 3, P. 641-646.

5. Figovsky O., Usherenko S., Composite materials prepared by SDP-Method: the physics of superdeep penetration //Nanotechnics, 2009. No. 3(19), P.27-37. (in Russian).

6. Figovsky O., Gotlib E., et al., Method of manufacturing a track membrane, US Patent 8980148 B 2. 2015.

7. Owsik J, Jach K., Usherenko S., Usherenko Y., Figovsky O., Sobolev V., The Physics of Superdeep Penetration Phenomen // Journal of Technical Physics, 2008. Vol. 49, No 1, P.3-29.

8. Usherenko S., Figovsky O. Novel Environment Friendly Method of Preparing Nanoreinforced Composites Based on Metallic, Ceramic and Polymer Matrixes- Superdeep Penetration, Silicon Versus Carbon / Proceeding of the NATO Advanced Research Workshop on Environmental and Biological Risks of Hybrid Organic-Silicon Nanodevices, 2008 St. Petersburg, Russia, 18-20 June 2008. P.31-54.

9. Usherenko S., Figovsky O., et al. Production of the New Metalcomposite Materials by Method of Superdeep Penetration // J. Scientific Israel- Technological Advantages, 2007. Vol.9. No 1. P. 28-32.

10. Gotlib E., Figovsky O., et al. Influence of mixing method of modified wollastonite with rubbers based on SRI-3 on their structure // Newsletter of the Kazan State Technological University. 2011. No 15. P. 141-145.

11. Figovsky O., Gotlib E., et al., The production of polymer tracking membranes by Super Deep Penetration Method, J. Scientific Israel – Technological Advantages, Vol.14, no 3. P. 120-124.

12. Oleg Figovsky, Dmitry Beilin. Green Nanotechnology. Pan Stanford Publishing (USA), 2017, 538 p.
13. Figovsky O., Gumarov V. Innovation System: Perspectives & Prognoses, Lambert Academic Publishing (Germany), 2018, 448 p.
14. Figovsky O., Blank N. // Novel Environment Friendly Nanotechnologies, RDMS-journal, 2018, Vol. 8, No 3. <https://crimsonpublishers.com/rdms/fulltext/RDMS.000689.php>.
15. Agboola O., Sadiku E. R., Mokrani T. Nanomembrane materials based on polymer blends. In the book: Design and Applications of Nanostructured Polymer Blends and Nanocomposite Systems. 2016. Elsevier Inc. P. 101-119.
16. Gaoshan Huang, Yongfeng Mei. Assembly and Self-Assembly of Nanomembrane Materials-From 2D to 3D. 2018. Apr. 14. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29292590/> DOI: 10.1002/sml.201703665.
17. Winter A., Ekinici Ya., Gölzhäuser A., Turchanin A. Freestanding carbon nanomembranes and graphene monolayers nanopatterned via EUV interference lithography. 2019 IOP Publishing Ltd. 2D Materials, Vol. 6, No 2. DOI: 10.1088/2053-1583/ab0014.
18. Dementyev P., Wilke T., et al. Vapour permeation measurements with free-standing nanomembranes // Physical Chemistry. Chemical Physics. 2019. No 28. DOI: 10.1039/c9cp03038g.
19. Sukanchan Palit, Chaudhery Mustansar Hussain. Nanomembranes for Environment/ In the book 'Handbook of Environmental Materials Management, 2019, P. 1033-1056.

Список литературы

1. Апель П. Производство трековых мембран // Педиат. Меус, 2001. том 37. №16, С. 559-566.
2. Фиговский О., Готлиб Э. и др. Сверхглубокое проникновение - новый метод получения nanoармированных композитов на основе полимерных матриц // Журнал Научный Израиль - Технологические преимущества, 2012. Том 14, № 1, С. 74-78.

3. Фиговский О., Бейлин Д., Ушеренко С., Кудрявцев П. Экологически безопасный метод производства нанокompозитов и наномембран // Журнал Научный Израиль - Технологические преимущества. 2016, том 18, № 2. С. 55-106.
4. Ушеренко С.М., Коваль О.И. и др. Оценка энергии, затрачиваемой на сверхглубокое проникновение, // Журнал инженерной физики и теплофизики, 2004. Том 77, № 3, С. 641-646.
5. Фиговский О., Ушеренко С. Композиционные материалы, полученные СГП-методом: физика сверхглубокого проникновения // Нанотехника, 2009. № 3 (19), С.27-37. (на русском).
6. Фиговский О., Готлиб Э. и др. Способ изготовления трековой мембраны, Патент США 8980148 В2. 2015 г.
7. Овсик Я., Ях К., Ушеренко С., Ушеренко Ю., Фиговский О., Соболев В. Физика феномена сверхглубокого проникновения // Журнал технической физики, 2008. том 49, № 1, С. 3-29.
8. Ушеренко С., Фиговский О. Новый экологически безопасный метод получения nanoармированных композитов на основе металлических, керамических и полимерных матриц - сверхглубокое проникновение, кремний или углерод / Материалы семинара НАТО по перспективным исследованиям экологических и биологических рисков гибридных органо-кремниевых наноустройств. 2008 г. Санкт-Петербург, Россия, 18-20 июня 2008 г. С. 31-54.
9. Ушеренко С., Фиговский О. и др. Производство новых металлокомпозитных материалов методом сверхглубокого проникновения // Научный Израиль - Технологические преимущества, 2007. Том 9. № 1. С. 28-32.
10. Готлиб Э., Фиговский О. и др. Влияние способа смешения модифицированного волластонита с каучуками на основе SRI-3 на их структуру // Вестник Казанского государственного технологического университета. 2011. № 15. С. 141-145.
11. Фиговский О., Готлиб Э. и др., Производство полимерных трековых мембран методом сверхглубокого проникновения, Журнал Научный Израиль - Технологические преимущества, Том 14, № 3. С. 120-124.

12. Олег Фиговский, Дмитрий Бейлин. Зеленые нанотехнологии. Издательство Пан Станфорд (США), 2017, 538 с.
13. Фиговский О., Гумаров В. Инновационная система: перспективы и прогнозы, Издательство Ламберт Академик (Германия), 2018, 448 с.
14. Фиговский О., Бланк Н. // Новые экологически безопасные нанотехнологии, журнал RDMS, 2018, том 8, № 3. <https://crimsonpublishers.com/rdms/fulltext/RDMS.000689.php>.
15. Агбула О., Садику Э. Р., Мокрани Т. Наномембранные материалы на основе смесей полимеров. В кн.: Разработка и применение смесей наноструктурированных полимеров и нанокompозитных систем. 2016. Кор. Эльзивир. С. 101–119.
16. Гаошань Хуанг, Юнфэн Мэй. Сборка и самосборка наномембранных материалов - от 2D к 3D. 2018. 14 апреля. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29292590/DOI:10.1002/sml.201703665>.
17. Винтер А., Экинчи Я., Гельхойзер А., Турчанин А. Отдельно стоящие углеродные наномембраны и монослои графена с наноразмерными рисунками с помощью EUV-интерференционной литографии. 2019 IOP Publishing Ltd. Материалы 2D, Том 6, № 2. DOI: 10.1088/2053-1583/ab0014.
18. Дементьев П., Вилке Т., Etal. Измерения паропроницаемости с помощью отдельно стоящих наномембран // Физическая химия. Химическая физика. 2019. № 28. DOI: 10.1039/c9cp03038g.
19. Суканчан Палит, Чаудхери Мустансар Хуссейн. Наномембраны для окружающей среды // Справочник по управлению экологическими материалами, 2019, Р. 1033-1056.

Фиговский Олег Львович – президент Ассоциации изобретателей Израиля, иностранный член РААСН

ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛАСТИФИКАТОРЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ТИПА В ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ КОМПОЗИТОВ

*А.Д. Барабаш, Д.Е. Барабаш**

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Барабаш Дмитрий Евгеньевич,*

E-mail: barabash60170@yandex.ru

Представлены результаты исследований влияния пластификаторов различного типа на пластическую прочность полимер-минеральных смесей. Оценен вклад наполнителей – минеральных порошков в изменение радиационных характеристик композитов на основе неизоцианатного полиуретана. Показана важность соблюдения баланса между заданными радиационными характеристиками и конструкционными свойствами за счет сохранения концентрации водородных связей. При помощи пластографа Брабендера изучено влияние пластификатора механического типа – микрогранул полипропилена на пластическую прочность и жизнеспособность полимерных смесей. Доказана эффективность использования гранул пропилен в качестве пластификатора механического типа, дополнительно восполняющего дефицит водородных связей вследствие наполнения.

Ключевые слова: поглощение нейтронов, неизоцианатный полиуретан, минеральный порошок, пластификатор, пластическая прочность

POLYMERIC SOFTENERS OF MECHANICAL TYPE IN PRODUCTION OF RADIATION AND RESISTANT COMPOSITES

*A.D. Barabash, D.E. Barabash**

Voronezh state technical university,

Russian Federation, 394006, Voronezh, 20-letiya Oktyabrya St., 84

**The address for correspondence: Barabash Dmitry Evgenyevich,*

E-mail: barabash60170@yandex.ru

Results of researches of influence of softeners of various types on plastic durability polymer - mineral mixes are presented. The contribution of fillers - mineral powders is estimated at change of radiation characteristics of composites on the basis of non-isocyanate polyurethane. Importance of observance of balance between the set radiation characteristics and constructional properties due to preservation of concentration of hydrogen communications is shown. By means of Brabender's plastograf influence of softener of mechanical type - polypropylene microgranules on the plastic durability and viability of polymeric mixes is studied. Efficiency of use of granules of propylene as softener of the mechanical type which is in addition filling shortage of hydrogen communications owing to filling is proved.

Keywords: absorption of neutrons, non-isocyanate polyurethane, mineral powder, softener, plastic durability

Введение. В создании современных полимерных композитов важную роль играет не только их количественно-качественный состав, но и технология приготовления[1]. Естественно, рецептурный фактор является главным, но и изменения процедуры приготовления композита непосредственно влияют на свойства конечного продукта. Вопросам влияния технологических параметров на характеристики полимерных композитов посвящено большое количество работ [2], тем не менее, в каждом конкретном случае указанные параметры подлежат уточнению. Это связано, в первую очередь, с базовыми характеристиками исходного полимера. Так, например, нами ранее проводились исследования по созданию радиационно-стойких композитов с использованием водородсодержащего полимера – неизоцианатного полиуретана, получаемого с использованием реакции уретанообразования «циклокарбонат – амин»[3,4]. Отличительной особенностью указанного полимера является большое количество во-

дородных связей, обеспечивающих захват и торможение быстрых нейтронов с выделением определенного количества тепла. Водородные связи преимущественно обеспечиваются гидроксильными группами при β -углеродном атоме уретановой группировки [5].

Конструкционные свойства обеспечивались за счет введения наполнителей – порошков минералов, широко применяющихся в радиационной защите [6]. При проектировании состава композита необходимо было соблюдать баланс между потребными радиационными характеристиками и конструкционными свойствами. Поскольку полимерная составляющая являлась носителем базовой характеристики – способностью замедлять и поглощать нейтронный поток, то снижение ее концентрации в целях улучшения конструкционных свойств неизбежно приводило к ухудшению требуемой степени поглощения. Схематично указанные процессы приведены на рис. 1.

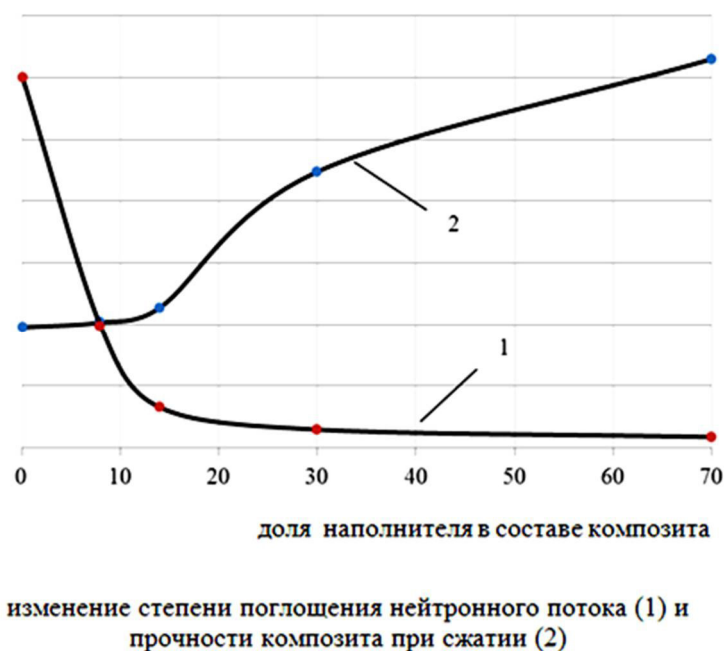


Рис. 1. Схема изменения характеристик композита в зависимости от массовой доли наполнителя

Экспериментальная часть

Используемые минеральные наполнители – порошки барита, серпентинита, лимонита и магнетита, имели приблизительно одинаковую удельную по-

верхность, но различались по показателю рН [7], что обусловило проявление различных эффектов при их введении в полимерную матрицу в равных количествах. В первую очередь это касалось изменения характеристической вязкости, которая является ключевой характеристикой смеси. Это обусловлено тем, что при использовании литьевой технологии получения готовых изделий необходимо сохранение вязкости в пределах 70...80 Па·с в течение 60...80 мин, в отсутствие расслоения смеси.

Полимер-минеральную смесь приготавливали в смесителе пропеллерного типа, оборудованном пластографом Брабендера для контроля крутящего момента на валу мешалки [8].

Диаграмма изменения величины крутящего момента позволяла выбирать рациональные режимы перемешивания при введении наполнителя в исходный полимер. Порошки вводили в смесь порционно для исключения комкования.

При увеличении вязкости возникала потребность в дополнительной технологической оснастке (по типу экструдера) или нагреве смеси пропорционально требуемой вязкости [9]. Вместе с тем указанные методы достаточно затратные, особенно по расходу энергоресурсов.

В связи с этим нами были проведены исследования влияния пластификаторов различного типа на изменение вязкости полимерных смесей содержащих указанные выше наполнители. В результате было установлено, что введение химических пластификаторов нецелесообразно, поскольку они участвуют в реакции отверждения и негативно влияют на прочность готовых изделий. Кроме того исследовали влияние на вязкость смеси минеральных пластификаторов механического типа - стеклосфер натрийборосиликатного и алюмосиликатного состава [10]. При их введении в количестве свыше 12 масс.% отмечали стабильное снижение вязкости при переработке и улучшение конструкционных свойств, в соответствии с данными рис. 1.

Вместе с тем введение указанных стеклосфер пропорционально снижало массовую долю водородсодержащей основы и, соответственно, способность композита поглощать быстрые нейтроны. Это обусловило изучение возможности ис-

пользования в качестве пластификатора механического типа микрогранул полиэтилена и полипропилена, традиционно используемых в производстве разнообразной сантехнической продукции. Наличие большого числа водородных связей в указанных полимерах может восполнить их недостаток, вызванный наполнением и обеспечить заданную степень поглощения нейтронного потока [11, 12].

Одновременно с этим сферическая форма гранул предпочтительно должна обеспечивать снижение вязкости полимерной смеси при переработке. Предварительными исследованиями установлено, что гранулы полиэтилена при перемешивании выделяются в отдельную фазу в составе смеси и склонны к агломерации. Подобное обстоятельство, на наш взгляд, связано с наличием аппарата науказанных гранулах, значительно снижающего значение краевого угла смачивания базового полимера. В связи с этим в дальнейшем использовали только гранулы полипропилена. Для сравнительного анализа влияния количества вводимого модификатора на пластическую прочность смеси при перемешивании, использовали ранее указанный пластограф Брабендера, совмещенный с мешалкой пропеллерного типа.

Пластическую прочность исследовали при введении гранул полипропилена в количестве 2,4 и 6 мас.% в полимерные смеси, содержащие фиксированное количество порошков лимонита, серпентинита, барита и магнетита. Порошки вводили порционно в смесь, содержащую базовый полимер и расчетное количество отвердителя. Температуру смеси поддерживали на уровне 20...22°C. При указанной температуре отверждение смеси без наполнителей начинается с 20-й минуты перемешивания, что соответствует росту пластической прочности. Введение минеральных порошков оказывало существенное влияние на изменение вязкости смеси и время начала отверждения. Причем химический состав используемых порошков являлся определяющим для скорости химической реакции. В связи с этим непрерывно контролировали значение пластической прочности в течение 35 минут перемешивания или до достижения критического значения пластической прочности определяемого мощностью мешалки, для качественной оценки однородности и жизнеспособности смеси.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований графически представлены на рис. 2 и 3. Следует отметить, что помимо сравнительного анализа полученные данные позволяют оценить продолжительность переработки смесей, содержащих различные концентрации гранул полипропилена.

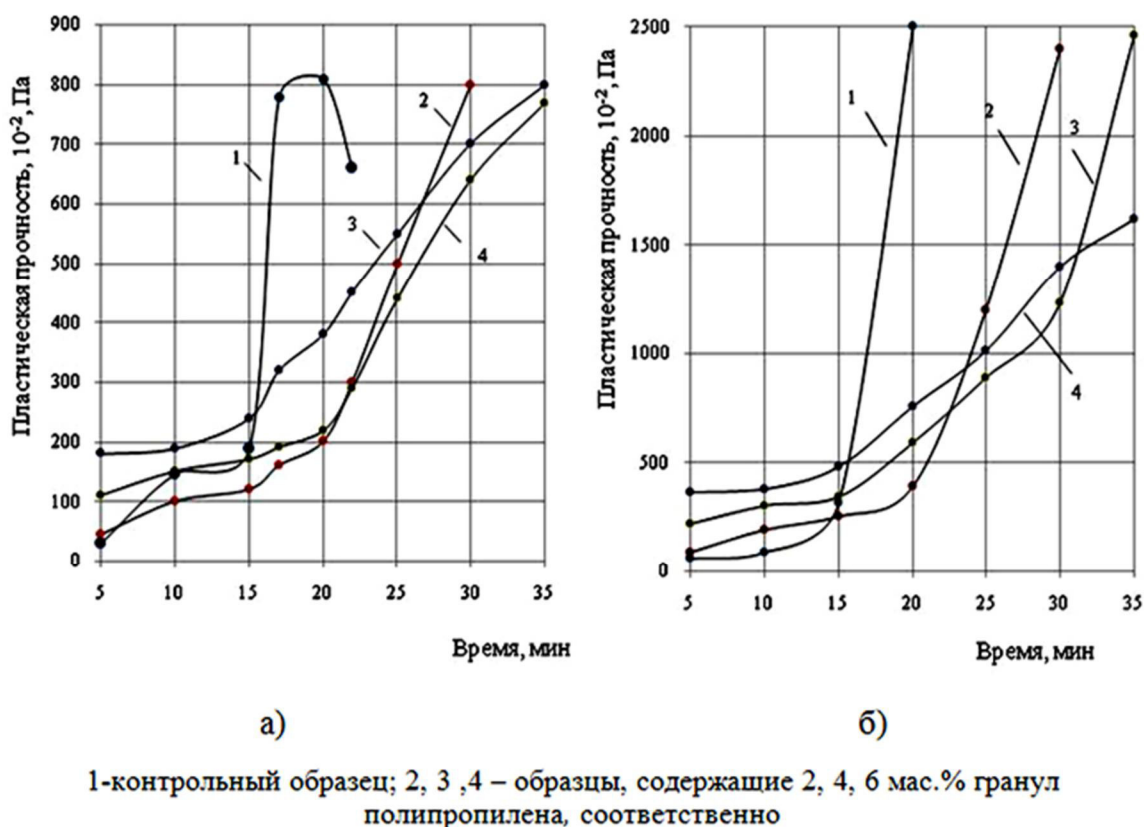


Рис. 2. Изменение пластической прочности смеси содержащей лимонит (а) и барит (б)

За эталонные были приняты смеси содержащие только наполнитель, без пластификаторов. При порционном введении минеральных порошков отмечалось плавное нарастание пластической прочности контрольных образцов (кривые 1 на всех графиках) с последующим ее резким ростом, обусловленным достижением максимальной гомогенности смеси и началом отверждения. Для всех используемых порошков время начала отверждения составляло 15...17 минут. Вместе с тем, значения пластической прочности смесей, содержащих порошки различного состава, отличались. Наименьшее значение 2 Па наблюдалось у смеси, содержащей лимонит, что проиллюстрировано кривой 1 на рис. 2

(а), наибольшее 3,1 Па – у смеси, содержащей магнетит. В целом значения пластической прочности после 15 минут смешения различались незначительно. Очевидно, что указанное время смешения соответствовало достижению наибольшей гомогенности смеси.

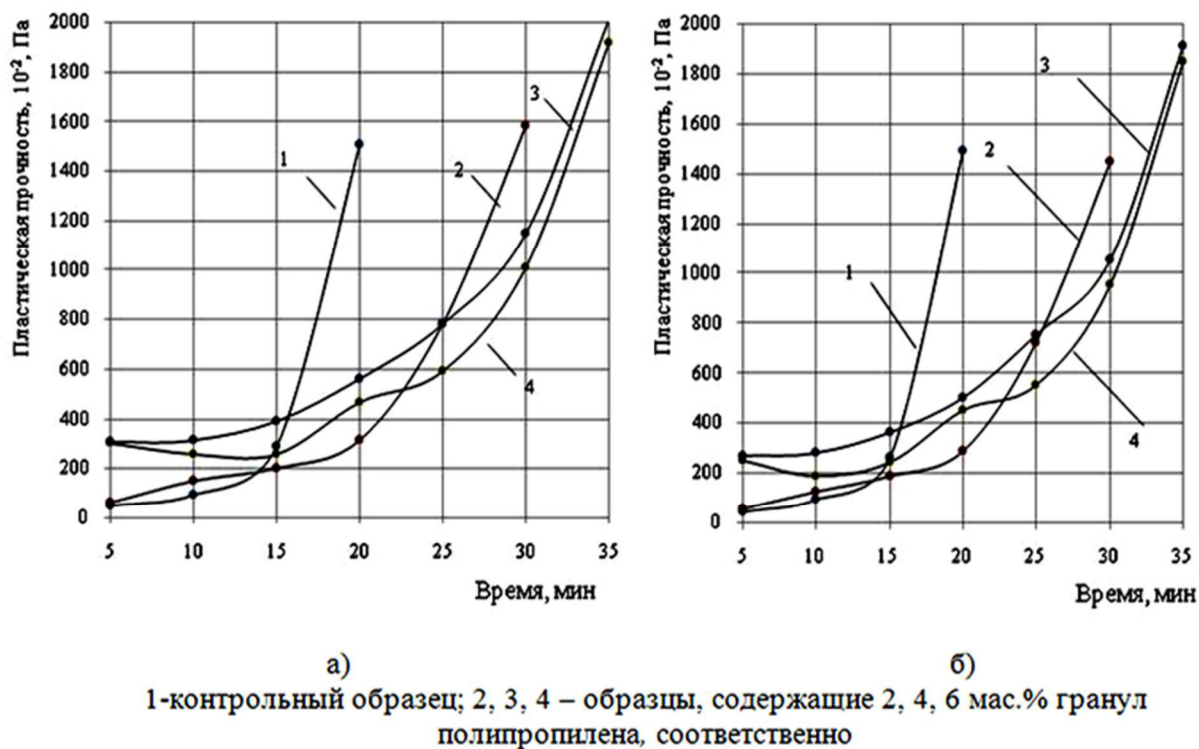


Рис. 3. Изменение пластической прочности смеси содержащей магнетит (а) и серпентинит (б)

При введении гранул полипропилена динамика изменения пластической прочности изменялась. При этом концентрация в 6 масс.% обеспечивала наименее интенсивный рост пластической прочности, что проиллюстрировано кривыми 4 на рис. 2 и 3.

Также отмечено, что на 30-й минуте перемешивания смеси, содержащие 2 масс.% гранул полипропилена расслаивались. Очевидно, что существует порог наполнения указанными гранулами, ниже которого добиться требуемой однородности смеси невозможно.

Анализом полученных данных установлено, что увеличение времени перемешивания свыше 20 минут нецелесообразно, поскольку требуемая однородность смеси достигается к 12...13-ой минуте, а отверждение инициируется с 15-ой минуты.

Вместе с тем увеличение концентрации гранул полипропилена способствует увеличению жизнеспособности смеси, что достаточно убедительно проиллюстрировано кривыми 4 на рис. 2, 3. По-видимому, при перемешивании гранулы механически препятствуют образованию первичных «сшивок» макромолекул способствуя образованию более плотной структуры композита.

Заключение. Высказанное предположение требует экспериментальной проверки, но, тем не менее, проведенные исследования однозначно доказывают эффективность использования гранул пропилен в качестве пластификатора механического типа, дополнительно восполняющего дефицит водородных связей вследствие наполнения. Достаточно перспективным представляется изучение возможности применения и других термопластов, в том числе и отходов химических производств, в качестве пластификаторов механического типа сложных полимер-минеральных смесей.

Список литературы

1. Атясова Е.В. Оптимизация рецептурно-технологических параметров, обеспечивающих максимальную теплостойкость полимерных композитов, определяемую усовершенствованными методами термомеханических испытаний//дисс. канд. техн. наук. 2016.
2. Васильев В.В. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Гарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
3. Мухамадиева Л.Т. Получение гидроксилсодержащих олигоуретанов и покрытий на их основе с использованием реакции циклокарбонат-амин (аммиак)//дисс. канд. хим. наук // Казанский ГТУ. Казань 2001.
4. Borisov YU.M., Panfilov D.V., Anisimov A.V. Constructional composites based on non-isocyanate polyurethane // Journal «Scientific Israel – technological advantages». vol. 15, 2013. P. 103-110.

5. Готлиб Е.М., Черезова Е.Н., Милославский Д.Г., Фарвазова Э.И., Садыкова Д.Ф. Получение неизоцианатных полиуретанов на основе эпоксицианированных растительных масел // Вестник технологического университета. 2015. Т.18, № 5. С.91-95.

6. Соколенко И.В. Стеклокомпозит, армированный гидросиликатными нанотрубками, для комплексной радиационной защиты // дисс. канд. техн. наук// Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород 2016.

7. Barabash A., Barabash D., Pertsev V., Panfilov D. Polymer-composite materials for radiation protection // Advances Intelligent Systems and Computing. 2019. Т. 983. С. 352-360.

8. Садритдинов А.Р., Нуриманова Э.С., Шуршина А.С. и др. Оптимизация условий переработки вторичного полипропилена // Вестник Башкирского университета. Химия. Т. 22. № 4. 2017. С. 972-975.

9. Технология резины: Рецептуростроение и испытания // Под ред. Дж. С. Дика. Пер. с англ. С.В. Котовой, В.А. Глаголева и Л.Р. Люсовой под ред. В.А. Шершнева. 2010. 608 с.

10. Кузьмин К.Л. Влияние химического состава и поверхностной модификации на механические свойства алюмосиликатных волокон// дисс. канд. хим. наук. 2017.

11. <https://polimerinfo.net/polipropilen>.

12. <https://polietileny.ru/mikrogranuly-polietilena>.

References

1. Atyasova E.V. Optimization of the prescription and technological parameters providing the maximum heat resistance of polymeric composites determined by advanced methods of thermo mechanical tests//diss. cand. tech. sci. 2016.

2. Vasilyev V.V. Composite materials: reference book / V.V. Vasilyev, V.D. Protasov, V.V. Bolotin, etc.; under a general edition of V.V. Vasilyev, Yu.M. Tarnopolsky. M.: Mechanical engineering, 1990. 512 p.

3. Mukhamadiyeva L.T. Receiving gidroksiloligouretan and coverings on their basis with reaction use a cyclocarbonate amine (ammonia)// diss.cand. chem. sci.//Kazan GTU. Kazan, 2001.

4. Borisov YU. M., Panfilov D.V., Anisimov A.V. Constructional composites based on non-isocyanate polyurethane//Journal «Scientific Israel-technological advantages». vol. 15, 2013. P. 103-110.

5. Gottlieb JE.M., Cherezova E.N., Miloslavsky D.G., Farvazov E.I., Sadykova D.F. Receiving non-isocyanate polyurethane on the basis of epoxidized vegetable oils//the Bulletin of technological university. 2015. T.18, No. 5. P. 91-95.

6. Sokolenko I.V. Glass compositereinforced by hydro silicate nanotubes for complex radiation protection//diss. cand. tech. sci.//Belgorod state technological university of V.G. Shukhov. Belgorod, 2016.

7. Barabash A., Barabash D., Pertsev V., Panfilov D. Polymer-composite materials for radiation protection//Advances Intelligent Systems and Computing. 2019. T. 983. P. 352-360.

8. Sadritdinov A.R., Nurimanova E.S., Shurshina A.S., etc. Optimization of conditions of processing of secondary polypropylene//Messenger of the Bashkir university. Chemistry. T. 22. №. 4. 2017. P. 972-975.

9. Technology of rubber: selection of a compounding and tests//Under the editorship of J.S. Dick. The lane with English S.V. Kotova, V.A. Glagolev and L.R. Lyusova under the editorship of V.A. Shershnev. 2010. 608 p.

10. Kuzmin K. L. Influence of a chemical composition and superficial modification on mechanical properties of aluminum silicate fibers//Diss. cand. chem. sci. 2017.

11. <https://polimerinfo.net/polipropilen>.

12. <https://polietileny.ru/mikrogranuly-polietilena>.

Барабаш Андрей Дмитриевич – аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Барабаш Дмитрий Евгеньевич – д-р техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов им. профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

**БАЗАЛЬТОВЫЙ ПРОДУКТ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ В СОСТАВЕ
ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

В.Б. Петропавловская^{1}, Т.Б. Новиченкова¹, К.С. Петропавловский²,
М.Ю. Завадько¹*

*¹Тверской государственной технической университет,
Российская Федерация, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22*

*²Московский государственный строительный университет,
Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26*

**Адрес для переписки: Петропавловская Виктория Борисовна,
E-mail: victoriapetrop@gmail.com*

В данной работе рассматривается новый модифицирующий комплекс, который разработан с целью замены части наиболее ценного компонента бетонных смесей – цементного вяжущего и улучшения состава рабочей сырьевой смеси общестроительных бетонов, получаемых на их основе. В представленной работе исследовалась возможность применения отхода производства базальтовой ваты в качестве модифицирующей добавки, а также – в составе органоминерального комплекса с использованием пластифицирующей и воздухововлекающей добавки. Их использование позволяет сохранить эксплуатационные свойства модифицированных мелкозернистых бетонов и при этом – удешевить продукцию и улучшить экологическую обстановку. Положительный эффект использования утилизируемого минерального компонента обусловлен гранулометрическим и химическим составом используемого в работе отхода производства. Наличие высокодисперсной минеральной фазы обеспечивает получение необходимой плотной упаковки частиц в структуре цементного камня, а пластификатор дополнительно обеспечивает требуемую удобоукладываемость смеси и в тоже время – формирование уплотненной структуры бетона. Химический состав органоминерального комплекса отражается на физико-химических процессах, протекающих в структуре твердеющего бетона, обеспечивающих многоуровневое армирование структуры бетона.

Ключевые слова: отход, базальт, добавка, модифицирующий комплекс, состав, структура, армирование, эксплуатационные свойства

**BASALT PRODUCT OF DUST REMOVAL AS PART OF AN
ORGANIC-MINERAL COMPLEX FOR THE CONCRETE MIXTURES
PRODUCTION**

***V.B. Petropavlovskaya^{1*}, T.B. Novichenkova¹, K.S. Petropavlovskii²,
M.Y. Zavadko¹***

¹*Tver State Technical University,*

170026, Russian Federation, Tver, embankment of A. Nikitin, 22

Moscow State University of Civil Engineering,

129337, Russian Federation, Yaroslavskoye Shosse, Moscow

**Corresponding author: Victoria B. Petropavlovskaya,*

E-mail: victoriapetrop@gmail.com

The paper presents the results of studies of a new organomineral complex for the production of concrete mixtures. It is designed to improve the properties and structure of general building concrete. The work investigated the possibility of using waste from the production of basalt wool as a separate modifying additive and as part of an organomineral complex. In addition to mineral waste, an organic plasticizer is included in the composition of the organomineral complex additive. The use of an organomineral complex makes it possible to influence the performance properties of modified fine-grained concrete. Its use helps to reduce the cost of producing concrete. The ecological situation is improving. The positive effect is achieved by obtaining the necessary dense packing of particles in the structure of the cement stone. Its production is provided by a highly dispersed mineral phase. The plasticizer ensures the workability of the mixture and participates in physical and chemical transformations. The chemical composition of the organomineral complex provides multi-level reinforcement of the concrete structure.

Keywords: waste, basalt, additive, complex, composition, structure, reinforcement, operational properties

Введение. Современное строительное производство нуждается в синтезе материалов и изделий, в полной мере отвечающих принципам устойчивого развития – решению проблем энергосбережения и охраны окружающей среды. Для этого необходимо всемерно сокращать выбросы отходящих газов, использование природного сырья и максимально вовлекать в производство высококачественной строительной продукции отходы производства с целью их многократного рециклинга. Использование высокодисперсных минеральных отходов промышленности в качестве компонентов композиционных вяжущих дает возможность не только сократить расход энергии и полезных ископаемых, но и обеспечить уникальные свойства синтезируемым вяжущим композициям и бетонам на их основе. И при этом решить и другие проблемы – экономические, экологические и технологические.

В качестве такого отхода может быть использован порошковидный продукт пылеочистки, который образуется на предприятиях по производству каменной ваты [1]. Но для повышения экономичности технологий, основанных на использовании данного отхода, а также надежности и долговечности получаемых материалов требуется рассмотрение композиции с позиций регулирования их химического и гранулометрического составов, поскольку данные факторы могут существенно отразиться на структуре и характеристиках синтезируемого композиционного вяжущего или бетона [2].

Известно, что математическое моделирование зернового состава минеральных вяжущих с учетом его влияния процесс структурообразования, взаимодействие их частиц позволяет управлять физико-механическими и эксплуатационными свойствами проектируемого материала [3].

Оптимизация гранулометрии, отражаясь на внутренней структуре цементных и других вяжущих композиций в совокупности с подбором химического состава позволяет эффективно решать сложные материаловедческие задачи, отражаясь на ключевых свойствах получаемого продукта [4].

Проблема использования базальта в производстве сухих строительных смесей и бетонов определяется процессами его взаимодействия с продуктами

гидратации цемента. Однако доказанная эффективность его применения заставляет исследователей продолжать работу в этом направлении, ориентируясь на отходы базальтовых производств, как на ценный вторичный продукт [5, 6].

Исследователями установлено, что в составе порошков – отхода базальтового производства могут встречаться не только частицы в виде волокна, но и в виде жгутиков или шариков, поскольку не весь расплав вытягивается в нити, что необходимо учитывать при проектировании структуры композиций с его использованием.

Кроме того, необходимо учитывать, что в составе порошковидной смеси отхода может присутствовать как неорганическая, так и органическая составляющие (рис. 1), поскольку отход от вагранки производства базальтовой ваты, смешивается и с отходами других цехов, поступающих в общий из отдельных приемников пылеотходов.



Рис. 1. Продукт пылеочистки при базальтовом производстве

Исследователями доказана экономическая выгода от сбора и утилизации отхода в промышленное производство [7], хотя и отмечаются и проблемы, требующие решения, например, связанные с их низкой насыпной плотностью.

Целью данной работы является определение оптимального состава функциональной комплексной ресурсосберегающей добавки для бетонных смесей, направленной на повышение качества и энергоэффективности бетонных смесей.

Экспериментальная часть

В работе в качестве основного материала использовался цемент Старооскольского цементного завода Белгородской области «ОСКОЛЦЕМЕНТ». Цемент класса ЦЕМ I 42,5Н Старооскольского цементного завода Белгородской области «ОСКОЛЦЕМЕНТ», характеризуется нормальной густотой 29 %, началом схватывания 2 часа 25 минут, концом схватывания – 4 часа. Тонкость помола характеризуется по ГОСТ 30744 – 2001 остатком на сите 008 – 89 %.

Исследованиями гранулометрического состава используемого цемента Старооскольского цементного завода установлено, что максимальный размер зерен цемента составил ~ 84 мкм, а минимальный размер цементных частиц – 6,5 мкм. Как показано на рис. 2 мода распределения находится в области размера – 30 мкм.

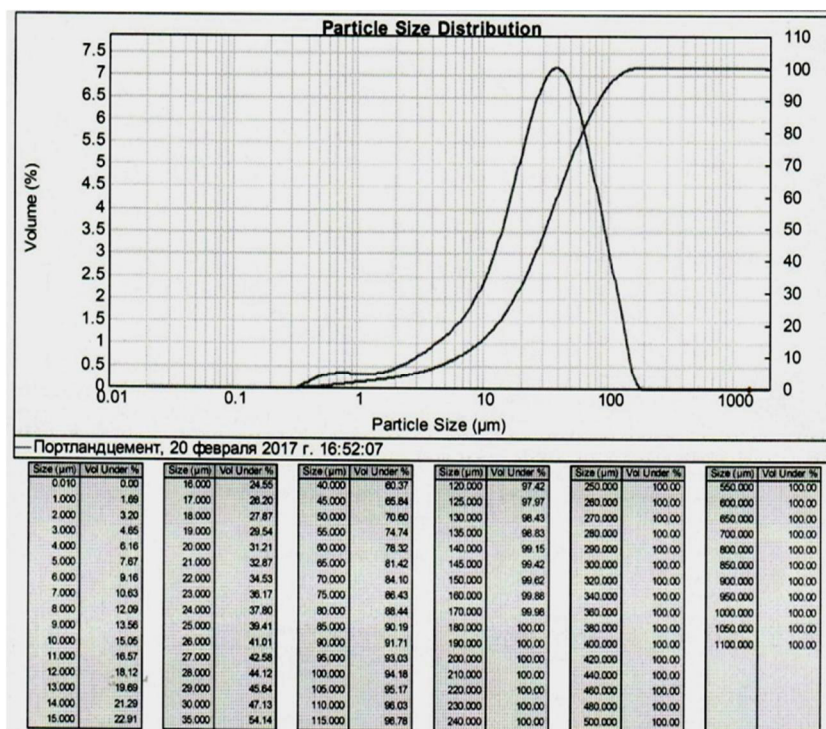


Рис. 2. Гранулометрический анализ цемента ЦЕМ I 42,5Н

Средний арифметический диаметр: $D(1,0) = 0,67$ мкм; средний объёмный диаметр: $D(4,3) = 39,74$ мкм; средний поверхностный диаметр: $D(3,2) = 11,22$ мкм.

Основные показатели Старооскольского цемента ЦЕМ I 42,5Н приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели цемента ЦЕМ I 42,5Н

Показатели	Ед. измерения	ГОСТ	Полученные показатели
Тонкость помола, не менее	%	85	90
Водопотребность	%	-	30
Сроки схватывания: начало конец	ч / мин	Не ранее 45 / 0 Не позднее 10 / 0	2 / 25 мин
Сроки схватывания (конец схватывания)	ч / мин		4 / 0
Диаметр расплыва конуса	мм	106-115	109
Предел прочности при изгибе, не менее	МПа	5,9	8,3
Предел прочности при сжатии, не менее	МПа	49,0	55,7

Полученные характеристики дисперсности вяжущего были использованы для проектирования композиций на его основе, которые бы могли обеспечить требуемые физико-механические свойства получаемым материалам.

В качестве мелкого заполнителя в составе рабочих смесей был использован песок Красногорского песчаного карьера, характеризующийся модулем крупности – 1,8. Основные характеристики песка приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные показатели песка Красногорского песчаного карьера

Наименование показателей	ГОСТ 8736-93	Фактические показатели
Зерновой состав	Полные остатки, %	Полные остатки, %
2,5		1,3
1,25		2,9
0,63	10-30	16,8
0,315		65,9
0,14		94,0
< 0,14		100
Модуль крупности	1,5-2,0 (мелкий)	1,8
Содержание глины в комках, %	Не более 0,35	нет
Насыпная плотность, г/м ³		1575
Истинная плотность, г/м ³		2630
Пылевидные и глинистые частицы, %	Не более 3	1
Пустотность, %		45

В целях эффективного использования базальтового промышленного отхода были определены основные его характеристики, в первую очередь – химический (оксидный) состав, а также характеристики его дисперсности и гранулометрический состав.

Для определения химического и фазового состава базальтового порошка использовались методы рентгеноструктурного, химического, дифференциально-термического анализов. Химический состав порошков отхода базальтового производства Тверской области приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав отхода

CO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CO ₂
1,45	1,6	9,1	12,1	52,7	0,7	0,6	13,9	1,1	6,9	1,5

Согласно исследованиям гранулометрического состава базальтового порошка установлено, что максимальный размер частиц составил 112 мкм, тогда как мода распределения соответствовала размеру 25 мкм.

Для оценки характеристик дисперсности базальтового порошка применялись методы фильтрационного, седиментационного и дисперсионного анализов с использованием автоматического прибора ПСХ-11А и лазерного анализатора частиц.

В целях получения бетонной смеси высокой связности и устойчивости к расслоению в исследованиях использовалась добавка «ЛинамиксР» – пластифицирующая воздухововлекающая добавка с длительной сохраняемостью удобоукладываемости. По своему химическому составу «ЛинамиксР» представляет собой смесь модифицированного лигносульфоната натрия и воздухововлекающего компонента. Добавка «ЛинамиксР» представляет собой водный раствор коричневого цвета плотностью 1130 кг/м³ и рН – 4,5.

В работе проводились исследования возможности производства мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой на основе отхода промышленной пыли базальтового производства.

Оценку физико-механических и эксплуатационных свойств проводили на стандартных образцах с размером стороны куба 100мм после их твердения в течение 28 суток при нормальных условиях, согласно требований ГОСТ.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования предела прочности при сжатии и средней плотности модифицированного мелкозернистого бетона с базальтовой добавкой указаны в табл. 4. Содержание добавки отхода производства базальтовой ваты в составе бетонной смеси варьировалось от 0 до 15 %.

Таблица 4

Основные характеристики модифицированного мелкозернистого бетона

Показатель	Ед. изм.	Содержание базальтовой добавки, %			
		0	5	10	15
Предел прочности	МПа	34	33	32	31
Плотность	кг/м ³	2490	2450	2410	2390

Установлено, предел прочности при сжатии бетона уменьшается, но падение прочности – незначительно.

Например, при содержании базальтовой пыли в количестве 5 % уменьшает предел прочности на величину, чуть большую 1 %. Введение 15 % добавки дает понижение прочности в среднем на 2 МПа.

Исследованиями плотности установлено, что ее снижение также незначительно, как и прочности. Это, прежде всего, обусловлено положительным влиянием дисперсного минерального компонента на гранулометрию смеси и структуру бетона. Показано, что средняя плотность снижается в среднем на 5 %, минимальная плотность бетона составила –2390 кг/м³.

Снижение средней плотности можно объяснить содержанием отхода производства базальтовой ваты (от 0 до 15 %), содержащей 52,67 % – SiO₂, 12,14 % – Al₂O₃ и 6,87 % Fe₂O₃, которые находятся под воздействием поровой сульфатной среды и образующегося гидроксида кальция Ca (ОН)₂.

Химический состав продуктов гидратации и минеральной добавки камня способствует, по-видимому, образованию гидросульфоалюминатов (C_6AH_{10} , C_3AH_6), этtringита $C_6AS_3H_{32}$ [10-11] и гидросульфоферритов кальция [12] с достаточным присутствием их объемом в структуре твердеющего мелкозернистого бетона.

В целях повышения эффективности применения отхода производства базальтовой ваты в составе сырьевой смеси дополнительно вводилась органическая добавка Линамикс Р. Результаты влияния комплексной органоминеральной добавки на основе отхода производства базальтовой ваты и пластификатора Линамикс Р на прочность мелкозернистого бетона в возрасте 14 суток нормального твердения приведены на рис. 3.

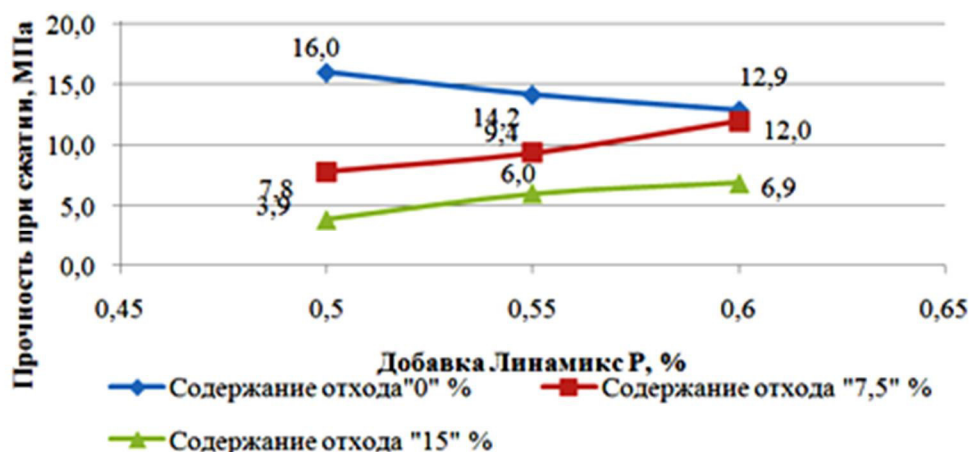


Рис. 3. Влияние органоминерального комплекса на основе отхода производства базальтовой ваты и пластификатора Линамикс Р на прочность образцов в возрасте 14 суток

Представленные экспериментальные результаты исследования подтверждают возможность использования органоминерального комплекса в мелкозернистых бетонах. В присутствии базальтового отхода в количестве 7,5% при увеличении содержания органического компонента предел прочности увеличивается и достигает ~ 13 МПа. Это объясняется как пластифицирующим воздействием добавки на реологию смеси, так и ее взаимодействием с органической составляющей отхода, распределенной по его поверхности [13].

Заключение. Таким образом, исследованиями доказана эффективность применения отхода базальтового производства в цементных бетонах. Введение отхода от производства каменной ваты в состав композиционного вяжущего в количестве 15 % уменьшает прочность материала от 2 до 8 %.

Использование для модифицирования бетона комплексной добавки на основе базальтового отхода и пластификатора обеспечивает уплотнение структуры камня, что способствует сохранению показателей основных эксплуатационных свойств при сокращении расхода вяжущего. Получаемые на основе базальтового отхода ресурсосберегающие материалы могут успешно применяться для общестроительных бетонных работ.

Список литературы

1. Petropavlovskaya, V.B., Novichenkova, T.B., Zavadko, M.Y., Petropavlovskii, K.S. On the potential use of basalt waste as mineral fillers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. OP Conf. Series: Materials Science and Engineering791 (2020) 012070.
2. Белов В.В., Образцов И.В. Компьютерное оптимизирование зерновых составов строительных композитов на основе цементно-минеральных смесей // Строительство и реконструкция. 2015. № 2 (58). С. 83-89.
3. Евельсон Л.И., Лукутцова А.Н., Николаенко А.Н. Некоторые практические аспекты фрактального моделирования структуры нанокпозиционного материала// Строительные материалы. 2015. №11. С. 24.
4. Экстремальное моделирование оптимально состава и содержания микронаполнителя в бетоне / Е.Г. Карпиков [и др.] // Строительные материалы. 2015. №11. С. 9.
5. Секерин В.Д., Горохова А.Е., Новикова Е.Н. Отходы базальтового волокна – в доходы // Экономика и предпринимательство. 2016. № 8. С. 417-419.
6. Секерин В.Д., Горохова А.Е., Новикова Е.Н. Проблемы и пути решения утилизации отходов базальтового волокна: экономический аспект // Экономика и предпринимательство. 2016. № 6 (71). С. 62-65.

7. Рысбаева И.А. Получение базальтового композиционного материала с использованием комплексного связующего // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2008. № 5-6. С. 291-293.

8. Утилизация отходов минерального волокна в производстве гипсовых изделий / В.Б. Петропавловская [и др.] // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 12 (111). С. 1392-1398.

9. Шмитько Е.И., Верлина Н.А. О некоторых физико-химических аспектах процессов структурообразования бетонов с участием воды // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 2. С. 59-66.

10. 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.

11. Самоармированные гипсовые композиты / Петропавловская В.Б. [и др.]. Москва, 2015. 163 с.

12. Влияние комплексной органо-минеральной добавки на деформацию гидротехнических бетонов / LamTang, Xuan [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 1 (79). С. 7-19.

13. Гипсовые модифицированные композиции с использованием активированного базальтового наполнителя / В.Б. Петропавловская [и др.] // Строительные материалы. 2020. №7. С. 10-17.

References

1. Petropavlovskaya, V.B., Novichenkova, T.B., Zavadko, M.Y., Petropavlovskii, K.S. On the potential use of basalt waste as mineral fillers. IOP Conference Se-

ries: Materials Science and Engineering. 2020. OP Conf. Series: Materials Science and Engineering 791 (2020) 012070.

2. Belov V.V., Obrazcov I.V. [Computer optimization of grain compositions of construction composites based on cement-mineral mixtures]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya* [Construction and reconstruction], 2015, no.2 (58), P.83-89 (in Russian).

3. Evel'son L.I., Lukutcova A.N., Nikolaenko A.N. [Some practical aspects of fractal modeling of nanocomposite material structure]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2015, no. 11, P.24 (in Russian).

4. Karpikov E.G., YAnchenko V.S., Koroleva E.L., Semichev S.M. [Extreme modeling of optimal composition and content of micro-filler in concrete]. *Stroitel'nyematerialy* [Construction materials], 2015, no. 11, P. 9.

5. Sekerin V.D., Gorohova A.E., Novikova E.N. [Basalt fiber waste - in revenues]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2016, no. 8, P. 417-419 (in Russian).

6. Sekerin V.D., Gorohova A.E., Novikova E.N. [Problems and ways to solve waste of basalt fiber: economic aspect]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2016, no. 6 (71), P. 62-65 (in Russian).

7. Rysbaeva I.A. [Preparation of basalt composite material using complex binder]. // *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana* [News of Kyrgyz universities], 2008, no. 5-6, P.291-293 (in Russian).

8. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F., Solov'ev V.N., Petropavlovskij K.S. [Disposal of mineral fibre wastes in the production of gypsum products]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], 2017, vol. 12. no. 12 (111), P.1392-1398 (in Russian).

9. SHmit'ko E.I., Verlina N.A. [On some physical and chemical aspects of concrete structuring processes involving water]. *Nauchnyjvestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problem i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya* [Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: Physico-

chemical problems and high technologies of construction materials science], 2014, no. 2, P.59-66 (in Russian).

10. Artamonova O.V., Kukina O.B. [Study of kinetics of strength gain of modified cement stone]. Nauchnyjvestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problem i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya [Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: Physicochemical problems and high technologies of construction materials science], 2014, no. 2 (9), P. 83-93.

11. Petropavlovskaya V.B., Bur'yanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskij K.S. Samoarmirovannye gipsovyje kompozity [Self-reinforced gypsum composites]. Moscow, 2015. 163 p. (in Russian).

12. Lam Tang, Xuan Hung Ngo, Vu Kim Dien, Bulgakov B.I. [Influence of complex organo-mineral additive on deformation of hydraulic concrete]. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures], 2019, no. 1 (79), P.7-19 (in Russian).

13. Petropavlovskaya V.B., Zavad'ko M.YU., Novichenkova T.B., Petropavlovskij K.S., Bur'yanov A.F. [Gypsum modified compositions using activated basalt filler]. Stroitel'nye materialy [Construction materials], 2020, no. 7, P. 10-17 (in Russian).

Петропавловская Виктория Борисовна – канд. техн. наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета

Новиченкова Татьяна Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета

Петропавловский Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры технологии бетона и вяжущих веществ Московского государственного строительного университета

Завадько Мария Юрьевна – аспирантка кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета

СОВРЕМЕННЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Р.Ю. Гаврикова, **О.В. Артамонова***

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Гаврикова Регина Юрьевна,*

E-mail: gavrikova.regina@bk.ru

В настоящее время 3D-печать нашла своё широкое применение во многих сферах деятельности человека, но особое внимание стоит обратить на 3D-печать в строительной практике. Большое количество специалистов занимаются развитием строительной 3D-печати, а также разработкой новых добавок для цементных растворов, которые позволяют влиять на реологические и прочностные характеристики дисперсной системы. В данной публикации проведен аналитический обзор по существующим на данный момент видам добавок для цементных смесей в 3D-печати. Предложены возможные перспективные виды добавок по их физико-химическим характеристикам для дисперсных систем применимых для 3D-печати в строительстве.

Ключевые слова: дисперсные системы, строительные композиты, 3D-печать, строительные смеси для 3D-печати, добавки для дисперсных систем

ADVANCED ADDITIVES FOR THE PRODUCTION OF DISPERSED SYSTEMS IN CONSTRUCTION 3D PRINTING

R.U. Gavrikova, **O.V. Artamonova***

**Corresponding author: Regina U. Gavrikova, E-mail: gavrikova.regina@bk.ru*

Currently, 3D printing has found its wide application in many areas of human activity, but special attention should be paid to 3D printing in construction practice. A large number of specialists are engaged in the development of construction 3D printing, as well as the development of new additives for cement solutions that can affect the rheological and strength characteristics of the dispersed system. This publication provides an analytical review of the currently existing types of additives for cement mixtures in 3D printing. Possible promising types of additives based on their physical and chemical characteristics for dispersed systems used in 3D printing are proposed.

Keywords: dispersed systems, building composites, 3D-printing, building mixes for 3D-printing, additives for dispersed systems

Введение. На сегодняшний день строительные технологии непрерывно развиваются. В основном преобразования направлены на сокращение сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкций, экономию трудовых затрат и рабочей силы, а также извлечение большей экономической выгоды. 3D-печать становится все более популярной для строительства из-за ее меньшего воздействия на окружающую среду и более низкого спроса на энергию, чем обычное производство. На данный момент аддитивные строительные технологии развиваются в трех основных направлениях: Slipforming, D-shape, 3D-печать [1]. Быстрое применение этой технологии во многом зависит от разработки высокоэффективных композитов на основе цемента.

В настоящее время используется широкий спектр материалов для аддитивных технологий: различные полимеры и резины, порошки сталей, сплавов титана, никеля, алюминия, меди, а также инструментальные и конструкционные керамики, биосовместимые и нанопропрочненные композиты. Большая часть этих материалов применяется для машиностроения, авиа- и автомобильной промышленности, изготовления товаров широкого потребления и медицинско-

го назначения. Однако в строительстве аддитивные технологии ещё не получили широкого применения и, соответственно, применяемые материалы находятся в стадии разработки.

Специалисты в сфере разработки материалов для 3D- печати сталкиваются с большим количеством трудностей, такими как: проблема регулирования вязкопластических свойств, формоустойчивости, кинетики структурообразования и твердения композита.

Введение в исходную сырьевую смесь добавок, которые позволяют изменять свойства дисперсионной среды в гетерогенной дисперсной системе «цемент + вода», является одним из эффективных способов управления реологическими характеристиками строительных растворов для 3D печати. Важной задачей для реализации возможностей 3D-печати является подбор составов композиционных строительных материалов, отвечающих требуемым эксплуатационным характеристикам возводимого здания и удовлетворяющих требованиям экструзионной печати. Чаще всего с этой целью используют мелкозернистые бетонные смеси, обладающие рядом необходимых свойств [2]. Одним из важных свойств для обеспечения формования смеси изделий является возможность экструзии и последующее сохранение формы слоев. Поэтому актуальным является исследование и применение добавок, которые влияют на подвижности смеси, обеспечивающие возможность ее послойной укладки.

Современное состояние проблемы

В работе [3] представлена смесь для строительной 3D-печати на основе ОПЦ (СЕМ 1 52.5 N) с добавлением антивывывной примеси (AWA), поскольку предполагается, что AWA будет способствовать устойчивости к вымыванию водой, а также будет влиять на реологические свойства смеси. В исследовании осуществлялась оценка возможности проектирования подводных 3D печатных материалов. Были исследованы реологические характеристики смеси и механические свойства напечатанных образцов. Для приготовления смеси использова-

лись: обычный портландцемент (CEM 1 52.5 N) с размером частиц колеблясь между 0,1 и 100 мкм., речной песок 0/2 мм., известняк с размерами зерен от 0,1...100 мкм., поликарбоксилатный суперпластификатор, содержащий 20 % сухого полимера. В данном исследовании была выбрана разовая дозировка 3 % по массе цемента (максимальная рекомендуемая дозировка с сухим экстрактом полимера над цементом равна 0,6 %). В качестве добавки применяли антивывивную примесь (AWA), которая представляет собой белую порошкообразную примесь для бетонов, предназначенных для глубоководных сооружений. Основными активными молекулами этого продукта является эфир целлюлозы. Это позволяет, в частности, обеспечить сцепление и однородность бетона при литье и противодействовать явлениям сегрегации и/или фазового разделения. Выявлено, что для раствора с В/Ц, равным 0,42, увеличение дозы AWA с 0% до 0,5 %, 1 % и 1,5 % приводило к снижению проницаемости на 88 %, 94 % и 98 % соответственно. Это связано с режимом функционирования связей полимеров AWA между собой, что позволяет адсорбировать и фиксировать часть смешиваемой воды внутри геля [4,5]. Трехмерная гелиевая структура создается благодаря Ван-дер-Ваальсовым силам и водородным связям, повышающим вязкость интерстициальной фазы и тем самым снижающим ее проницаемость [6].

Исходя из испытаний, авторы утверждают, что самая высокая скорость нарастания структуры и самый высокий модуль упругости находятся при дозировке AWA 0,5%. По результатам эксперимента, исследователи сделали вывод, что дозировка 0,5% AWA достаточна для значительного снижения проницаемости раствора, следовательно, повышения его анти-смывных свойств.

В работе [7] осуществлялось исследование в сфере разработки высококачественных и устойчивых композитов на основе цемента, содержащих микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ), которые способны удовлетворять требования условий 3D-печати. Так же изучалось реологическое поведение, способность к построению и механические свойства композитов на основе цемента для 3D-печати. В данном исследовании использовался обычный портландце-

мент I типа (OPC; 42.5 R), зола-уноса (FA) и микрокремнезем (SF), полученные из VCEM (Китай). Для улучшения текучести свежих цементных композитов и обеспечения равномерного диспергирования МКЦ, авторы использовали высокодисперсную водорастворимую добавку на основе поликарбоксилата (HRWRA). Карбонат лития (Li_2CO_3) использовался в качестве ускорителя, для ускорения гидратации цемента и сокращения времени схватывания. Анализ микроцеллюлозы проводился с помощью сканирующего электронного микроскопа Gemini (300-71-11). Из него следует, что МКЦ имеет диапазон размеров 20 – 100 мкм и содержание влаги ~6 масс. Смеси составляли 0,5, 1 и 1,5 масс. % по отношению к массе связующего. В/Ц соотношение было равно 0,35. В данном исследовании реологические параметры измерялись с помощью сенсорного устройства RM 100 производства компании Lamy Rheology Instruments. Включение МКЦ в цементный раствор несколько снизило его текучесть. Однако при более низкой концентрации МКЦ (1 масс. % или менее) поведение потока раствора поддерживался на удовлетворительном уровне для обеспечения хорошего стабильного поведения в статическом состоянии.

Авторами выявлено, что включение МКЦ в раствор увеличило прочность на сжатие и изгиб при 28д. на 18,6% и 5,6% соответственно. Прочность на сжатие и изгиб постепенно увеличивалась с увеличением содержания МКЦ до 1 масс. %, а затем начала уменьшаться вследствие агломерации МКЦ в более высоких дозировках. Реологический анализ показал, что пластическая вязкость и предел текучести растворов с 1 масс. % микроцеллюлозы увеличились на 20,9% и 190% соответственно по сравнению с растворами без МКЦ. Так же увеличение дозы микроцеллюлозы способствовало сохранению формы свежих растворов.

В исследовании [8] в качестве добавки применяли порошок этиленвинилацетата. Были экспериментально исследованы строительные растворы, модифицированные этиленвинилацетатом (ЭВА), на прочность, сжатие и изгиб, для использования в трехмерном (3D) аддитивном строительстве. Исследуемая смесь включала в себя: обычный портландцемент (Тип 1), кварцевый песок, зола-уноса, микрокремнезем, суперпластификатор, модификатор вязкости и по-

рошок ЭВА. Для измерения прочности при изгибе и сжатии использовалась универсальная испытательная машина (INSTRON 8502, INSTRON, Норвуд, Массачусетс, США). Результаты испытаний, литых образцов, показали, что в возрасте отверждения 28 дней прочность на сжатие составляла от 32,92 МПа до 43,50 МПа, а прочность на изгиб-от 12,73 МПа до 14,49 МПа. Прочность на сжатие и изгиб печатных образцов была относительно ниже: от 23% до 26% и от 3% до 7% соответственно. Прочность на сжатие также уменьшилась, а прочность на изгиб увеличивалась при увеличении соотношения ЭВА / цемент. Результаты эксперимента показывают, что модифицированный ЭВА раствор имел высокую скорость развития прочности на ранней стадии, что делает материал выгодным для использования в 3D-печати.

Авторами было установлено, что соответствующее соотношение этиленвинилацетат/ цемент составляет от 5% до 15%. Кроме того, прочность на сжатие модифицированных строительных растворов уменьшалась при увеличении содержания в них ЭВА.

В работе [9] предлагается экологически чистый 3D-печатный цементный материал, включающий использование магнийкалийфосфатного цемента (МКФЦ) с различными соотношениями замещения летучей золы в диапазоне от 0 до 60 масс. %. Для регулирования реологических и механических свойств использовался диоксид кремния в количестве до 10 масс.%. Эффективность разработанных связующих МКФЦ с различными составами в 3D-печати оценивалась путем детального исследования обрабатываемости, экструдированности, наращиваемости, прочности на сжатие, пористости и микроструктурного анализа. Среди изученных смесей, авторами выявлена оптимальная рецептура МКФЦ, включающая 60 масс. % летучей золы и 10 масс. % диоксида кремния с соотношением буры и магнезии 1: 4, была выбрана для демонстрации мелко-масштабной печати в соответствии с ее реологическими и механическими свойствами. В результате исследования был получен 20-слойный компонент высотой 180 мм, который был напечатан в течение пяти минут.

Полученные результаты показали, что рабочее время разработанных рецептур МКФЦ может быть увеличено с 2,98 до 19,4 мин путем замены 60 масс. % магнезии летучей золой. Предел текучести был значительно увеличен за счет введения 10 масс. % диоксида кремния. Наблюдалось незначительное снижение предела текучести при увеличении отношения магнезия-бура от 1:1 до 1:4, а также увеличение значение спада от 101,3 до 109,6 мм. Однако предел текучести резко снижался с увеличением уровня замещения золы-уноса. Результаты испытаний реометра показывают, что реологические свойства М40ФА60С10-4 и М40ФА60С10-8 желательны для 3D-печати из-за низкого уровня предела текучести при высокой скорости сдвига и быстрого восстановления предела текучести при почти нулевой скорости сдвига. Кроме того, скорость гидратации снижается, тем самым увеличивая рабочее время с 19.4 до 22.9 мин. Ранние измерения прочности на сжатие, выполненные при различных сроках отверждения, показывали достаточную прочность (2 МПа при 20 мин и 5,36 МПа при 90 мин) для 3D-печати в образце М40ФА60С10-4.

Результатом эксперимента было успешное завершение процесса печати, которое подтвердило, что разработанные рецептуры МКПК, включающие использование 60 масс. % летучей золы и 10 масс. % диоксида кремния, могут быть использованы в 3D-печати.

Анализ фундаментальной научной информации для определения факторов повышения устойчивости дисперсных систем твердения для 3D-печати

Конструкционные смеси для строительной 3D-печати представляют собой гетерогенные дисперсные системы типа «Т-Ж», где дисперсной фазой является твердое вещество, а дисперсионная среда представляет собой жидкость [10]. При этом дисперсная фаза содержит следующие компоненты: вяжущее вещество (цемент, гипс, и др.), наполнитель (песок, полипропиленовое волокно и др.), наполнитель (сульфоалюминат кальция, известняк, глины, золы-уноса, молотый гранулированный доменный шлак и др.), микродобавки (микрокрем-

незем, жидкое стекло и др.) и нанодобавки (нанокремнезем, углеродные нанотрубки). Дисперсионная среда содержит – воду затворения, суперпластификаторы (на основе поликарбоксилатных эфиров), растворы (ионные) ускорителей (хлорид кальция, формиат кальция, силикат натрия или кальция и др.) или замедлителей (лимонная, борная кислота, формальдегид и др.) процессов гидратации и твердения.

Стоит отметить, что дисперсные системы данного типа («Т – Ж») разделяют на две большие группы: свободнодисперсные, или неструктурированные, и связнодисперсные, или структурированные системы. Последние образуются в результате возникновения контактов между дисперсными частицами. Выделяют два, резко различающихся по своим свойствам, типа пространственных структур, названных П.А. Ребиндером коагуляционными и конденсационными структурами [11].

Основное различие этих структур состоит в неодинаковой природе контакта между частицами дисперсной фазы. В коагуляционных структурах этот контакт осуществляется или через очень тонкие прослойки дисперсионной среды и точечные контакты, или при участии макромолекул. Конденсационные структуры возникают как результат склеивания, сваривания, срастания частиц дисперсной фазы на отдельных участках поверхности.

Результаты проведенного анализа фундаментальной научной информации с целью определения факторов повышения устойчивости дисперсных систем твердения для 3D-печати представлены в табл. 1.

Основными факторами устойчивости гетерогенных дисперсных систем типа «твердая дисперсная фаза – жидкая дисперсионная среда» являются (табл. 2): 1) кинетический, связанный со способностью дисперсной фазы коллоидной системы находиться во взвешенном состоянии, не седиментировать и противодействовать силам тяжести; 2) молекулярно-адсорбционный, связанный с наличием вокруг частиц дисперсной фазы защитного слоя из ПАВ, который образуется за счет адсорбции ПАВ и препятствует укрупнению частиц дисперсной фазы; 3) электрический, связанный с наличием электрического заряда

коллоидных частиц; 4) структурно-механический, связанный с наличием высоковязких адсорбционных (сольватных) слоев.

Средствами повышения устойчивости ГДС типа «Т-Ж» по отношению к дисперсной фазе являются: 1) оптимальный выбор химического состава; 2) повышение концентрации; 3) уменьшение размера частиц (увеличение поверхностной энергии); 4) оптимальный выбор морфологии частиц ($d/l \geq 1/10$). По отношению к дисперсионной среде: 1) повышение плотности; 2) оптимальный выбор электролитов (коагулянтов); 3) оптимальный выбор ПАВ.

Теоретический анализ [10-14] и экспериментальные исследования [15-17] совокупности требований, вытекающих из необходимости физико-химического регулирования физико-химических процессов устойчивости, осуществляемых с участием высокодисперсных (в том числе и нанодисперсных) преимущественно твердых фаз в жидких дисперсионных средах, привел к разработке новых представлений о динамике контактных взаимодействий, агрегативной и седиментационной устойчивости микрогетерогенных, коллоидно- и нанодисперсных систем в динамических условиях, реологии и виброреологии структурированных систем.

Свойства грубодисперсных систем в динамических условиях определяются в основном инерционными и гидродинамическими эффектами, сопровождающими движение частиц, а относительное их перемещение в пространстве определяется кинетической энергией, сообщаемой частицам от внешнего источника, динамикой их столкновения (соударения) с соседними частицами и гидродинамическим сопротивлением дисперсионной среды. В отличие от грубодисперсных систем в высокодисперсных (микрогетерогенных) системах с сильно развитой межфазной поверхностью, наряду с указанными выше факторами, существенную, во многих случаях решающую роль в динамических процессах играют контактные взаимодействия между частицами, определяемые дисперсионными силами, а также совокупность поверхностных явлений на межфазных границах, влияющих на энергию и силу межчастичных контактных взаимодействий [10, 18].

Таблица 1

Анализ фундаментальной научной информации с целью определения факторов
повышения устойчивости дисперсных систем твердения для 3D-печати

Компоненты системы	Факторы устойчивости ГДС «Т – Ж»	Средства повышения устойчивости ГДС «Т – Ж»	Возможные рецептурные факторы применительно к СТ (формирование коагуляционной структуры за счет числа и прочности контактов между частицами «Т – Ж» фазы)			
			Цемент + Вода	Гипс + Вода	ВВ/РЭ	Компоненты
Дисперсная фаза «твердая»	<p>1) кинетический (способность дисперсной фазы коллоидной системы находиться во взвешенном состоянии, не седиментировать и противодействовать силам тяжести);</p> <p>2) молекулярно-адсорбционный (наличие вокруг частиц дисперсной фазы защитного слоя из ПАВ, за счет адсорбции, препятствующий укрупнению частиц дисперсной фазы);</p> <p>3) электрический (наличие электрического заряда коллоидных частиц);</p>	<p>1) оптимальный выбор химического состава;</p> <p>2) повышение концентрации;</p> <p>3) уменьшение размера частиц (увеличение поверхностной энергии);</p> <p>4) оптимальный выбор морфологии частиц ($d/l \geq 1/10$)</p>	<p>1) Цемент 50 %; Известняк 25 % ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$); Метакаолин 25 % ($\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$); СП – добавки на основе поликарбоксилатных эфиров 0,3 - 0,5 %; В/Ц = 0,4.</p> <p>2) Песок : вяжущее = 3 : 2. В/Ц = 0,25. Например, песок 50 %; вяжущие вещество 40 %: цемент – 70 %, золы уноса кислые (с содержанием оксида кальция до 10 %) – 20 %; микрокремнезем – 10 %; СП – 1 %; замед. сх. – 0,5 %</p>	<p>1) гипс 75 %; стекловолокно 5 – 25 % (диаметр – 5 – 100 мкм; длина – 1 - 10 см); Водогипсовое отношение от 0,2 до 0,60</p> <p>2) гипс 80 %; полипропиленовые волокна 5 %; жидкое стекло (раствор) 15 %.</p>	<p>1) вяжущее вещество (ВВ) – искусственный песчаник: песок, глина, жидкое стекло = 10:1:3(4). Затворяется раствором электролита (РЭ) – хлорид кальция (300 г/л);</p> <p>2) ВВ – искусственный песчаник. Затворяется РЭ – MgO 62-67 %, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 33-38 %.</p>	<p>Наполнители: аморфные формы оксида кремния SiO_2; оксид алюминия Al_2O_3; каолинит $(\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8)$; Al_2O_3 – 39,5 %; SiO_2 – 46,5 %; H_2O – 14 %; сера – термопласт ($t_{\text{пл}} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$)</p> <p>Суперпластификаторы – на основе поликарбоксилатных эфиров.</p> <p>Замедлители схватывания – на основе модифицированных фосфатов.</p>
Дисперсионная среда «жидкая»	<p>4) структурно-механический (наличие высоковязких адсорбционных (сольватных) слоев).</p>	<p>1) повышение плотности;</p> <p>2) оптимальный выбор электролитов (коагулянтов);</p> <p>3) оптимальный выбор ПАВ.</p>				

Таблица 2

Компонентный состав цементных систем для 3D-печати

Системы	Основные компоненты (с границами варьирования)				Тип добавки и её концентрация в системе					В/Ц	Литература
	Вязущее	Наполнитель	Заполнитель	Фибра	СП	Ускоритель	Замедлитель	Вода	Другое		
Обычный портландцемент (СЕМ 1 52.5 N)	Речной песок 50 г.	Известняк 17,5 г.	-	Поликарбоксилатный суперпластификатор 0,03 г.	-	-	-	Антивымывная примесь 0,5%(от массы цемента)	0,39	[3]	
Портландцемент Type I (OPC; 42.5 R) 780 г.	Зола-унос 390 г.	Песок 1300 г. Микрокремнезем 130 г	Микроцеллюлоза 0;6,5;13;19,5 г.	Высокодисперсная водорастворимая добавка на основе поликарбоксилата (HRWRA) 4,55 г.	Карбонат лития (Li2CO3) 13 г.	-	-	-	0,35	[7]	
Портландцемент (Type 1) 28%	Зола-унос 8%	Кварцевый песок 60% Микрокремнезем 4 %	-	Суперпластификатор 1%	-	-	-	ЭВА/Ц 0,05-0,2% Модификатор вязкости 0.05%	0,45	[8]	
Магнезия 0,4%, Зола-унос 0,6%, Дигидрофосфат 0,43%	Песок/ МКПК 0,45%	Микрокремнезем 10%	-	-	-	-	-	Бура 4% и 8 %	0,3	[19]	
Обычный портландцемент 550 г/л	Зола-унос 650 г/л	Песок (0.125~0.250 мм) 550 г/л	-	Суперпластификатор (ГЛЕНИУМ 51) 2г/л	-	-	-	-	0,33	[20]	

Анализ физико-химических характеристик компонентов (твердой фазы и жидкой дисперсионной среды) дисперсных систем твердения для 3D-печати для обоснования их рациональных видов (химико-минералогического состава), размеров частиц и концентрации

Компоненты твердой дисперсной фазы

Вязущие вещества. К неорганическим вязущим веществам, которые можно использовать для получения высококонцентрированных ГДС можно отнести цемент, строительный гипс, известняк, магнезиальный цемент и др. Они обычно затворяются водой, реже водными растворами солей.

Заполнители. В качестве наиболее приемлемых заполнителей выступают песок, полипропиленовое или стекловолокно. Химико-минералогический состав в данном случае не играет существенной роли, так как заполнитель является преимущественно инертным по отношению и к вязущему веществу и, главное, к жидкой фазе. Его роль сводится к повышению концентрации твердой фазы (т. е. грубо к сгущению).

Размеры зерен заполнителя могут варьироваться от 0,05 до 2 мм (согласно литературным данным), что также согласуется с уравнением 12 [16]. При этом критический размер частиц по критерию агрегируемости для разных заполнителей на этом уровне не играет существенной роли. Однако, исходя из необходимости создания плотных упаковок частиц в высококонцентрированный ГДС, играет роль морфология частиц заполнителя и их концентрация в этой системе.

Наиболее применяемым заполнителем является песок, известняк, который имеет определенную шероховатость поверхности и может образовывать в силу этого многочисленные точечные контакты при формировании коагуляционных структур в ГДС.

Очевидное преимущество волокнистых заполнителей (выше отмечалось, что образованию геля особенно благоприятствует вытянутая форма частиц дисперсной фазы). Так как, во-первых, формируемые кристаллы новообразова-

ний вяжущего вещества, например, портландцемента имеют игольчатую форму, и как следствие есть возможность формировать прочные контакты примыкания по граням, а возможно и срастания в коагуляционной и кристаллизационной структуре. Во-вторых, волокнистые наполнители могут применяться для уменьшения усадки и деформации смеси в пластическом состоянии.

Необходимая концентрация наполнителей зависит также от его морфологии. Для наполнителей сферической формы концентрация может достигать до 40 % от массы системы. Для волокнистых наполнителей это значение, как правило, до 10 %, что связано с большей удельной площадью поверхности. Однако, в связи с многокомпонентностью твердой дисперсной фазы это значение подбирается для каждой системы индивидуально в ходе эксперимента. Причем, чем меньше количество компонентов, тем больше количество наполнителя может быть использовано.

Наполнители. При выборе наполнителей особую роль играет химико-минералогический и дисперсный состав. В качестве наполнителей часто используют сульфат алюмината кальция, известняки, глины, золы-уноса, молотый гранулированный доменный шлак и др. Проведенный анализ применяемых наполнителей позволяет говорить о том, что наиболее рациональными видами наполнителей являются метакаолин, микрокремнезем различного происхождения и золы уноса (кислые). Рациональный расход этих компонентов варьируется в пределах от 10 до 25 % от массы смеси. Критический размер частиц наполнителя по критерию агрегируемости для разных наполнителей несколько варьируется, однако, в целом он не превышает 2-5 мкм. Размер частиц, исходя из необходимости создания плотных упаковок, должен составлять не более 100 нм. Поэтому, если диспергировать материал до частиц, размеры которых соизмеримы с расстояниями между дефектами структуры, то прочность таких высокодисперсных частиц будет близка к прочности идеальных твердых тел. Отсюда возникает идея о повышении прочности материалов путем их измельчения с последующим «склеиванием» уплотненных дисперсных порошков. И как вариант применение нанодобавок в высококонцентрированных ГДС.

Компоненты жидкой дисперсионной среды

Суперпластификаторы. Суперпластифицирующие добавки или суперпластификаторы – представляют собой анионоактивные органические вещества коллоидного размера с большим количеством полярных групп в цепи и относятся к добавкам четвертого класса. Эффективность суперпластификаторов зависит от структуры, наличия и вида функционально-активных групп, их расположения в молекулах, длины и формы цепей, молекулярной массы [21].

По своему химическому составу все СП можно условно разделить на пять групп [22]: модифицированные лигносульфонаты; добавки на основе продуктов поликонденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида; меламинсульфонаты; полиакрилаты; поликарбоксилатные эфиры.

Являясь разжижителями и высокоэффективными пластификаторами цементных смесей, СП, находясь в адсорбированном состоянии на зернах цемента и новообразованиях, создают «стерический» эффект отталкивания. Этот эффект, обусловленный формами цепей и характером зарядов на поверхности зерен цемента и гидратов, является причиной длительного сохранения жизнеспособности цементных смесей. Такое механическое действие СП позволяет при прочих равных условиях в 3-4 раза повысить подвижность цементной смеси, не вызывая при этом снижения прочности цементного камня или раствора при сжатии [22].

Пластифицирующий эффект определяется также изменением состояния воды сольватных оболочек частиц новообразований цемента. При адсорбции СП на поверхности твердой фазы количество воды сольватных оболочек уменьшается, а количество свободной воды возрастает. Это ведет к улучшению реологических характеристик смеси, но несколько замедляет процессы структурообразования и твердения цемента.

Действие суперпластификаторов ограничивается 2-3 ч с момента их введения и после первоначального замедления процессов гидратации и образования коагуляционной структуры наступает ускорение твердения цементной системы. Это объясняется тем, что адсорбционный слой добавки на поверхности

зерен цемента проницаем для воды, а дефлокулирующее действие СП увеличивает поверхность контакта цемента и воды, что приводит к увеличению числа гидратных новообразований.

СП вводят в строительные смеси в виде водных растворов с концентрацией из расчета содержания добавки в пределах 0,7...1,5 % массы цемента [22].

Ускорители процессов гидратации и твердения в настоящее время практически не применяются, это связано с тем, что нет необходимости немедленного схватывания и упрочнения высококонцентрированной ГДС в процессе печати.

Модификаторы вязкости (Замедлители. Отвердители. Загустители).

Традиционно в качестве модификаторов вязкости в высококонцентрированных ГДС использовали вещества способные структурировать воду затворения с образованием надмолекулярной сетки из молекул воды, с возможным зонированием (кластерообразованием) в жидкой (в частности, водной) дисперсионной среде.

Изначально в качестве модификаторов вязкости применяли растворимое стекло, представляющее собой натриевый ($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$) или калиевый ($\text{K}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$) силикаты, где $n = 2,5 - 4$ – модуль стекла. Растворимое стекло получают из смеси кварцевого песка с содой (Na_2CO_3) или сульфатом натрия (Na_2SO_4) – для натриевого жидкого стекла, или с поташом (K_2CO_3) – для калиевого. Товарное жидкое стекло содержит 50-70 % воды и имеет плотность 1300-1500 кг/м³. В отвердевании с применением жидкого стекла участвует и углекислота воздуха. Углекислота нейтрализует едкую натриевую или калиевую щелочь, которая образуется в растворе при гидролизе и способствует коагуляции кремнекислоты, а также более быстрому затвердеванию жидкого стекла. При этом происходит выделение аморфного кремнезема. Однако глубина проникания углекислоты воздуха сравнительно невелика и положительное ее действие наблюдается только на поверхности.

Твердение при использовании растворимого стекла существенно ускоряется при повышении температуры, а также при введении веществ, ускоряющих

гидролиз и выпадение геля кремниевой кислоты (катализаторов, например, кремнефтористого натрия Na_2SiF_6).

Наиболее широко на сегодня в качестве отвердителя применяются вещества на основе солей фосфорной кислоты. Например, PANTARHOL – 85 (торговая марка – тетракалия пиродифосфата). Данное вещество, часто используют под другими названиями: дифосфат калия, тетракалиевая соль дифосфорной кислоты, тетракалий дифосфат.

Наиболее необычными и часто применяемыми в составах для строительной 3D печати, но вероятно, интересными с точки зрения вяжущих свойств являются вещества органической природы, которые часто используются в качестве загустителей различных ГДС (например, в зубных пастах). Общий класс этих органических веществ можно назвать камеди. Камедь, гумми (от греч. κομμίδιον, κόμμι) – высокомолекулярный углевод, являющийся главным компонентом *экссудатов* (флоэмногосока, выпотов), выделяемых растениями при механических повреждениях коры или заболеваниях [23]. Камеди представляют собой растворимые в воде или набухающие в ней полимеры моносахаридов – глюкозы, галактозы, арабинозы, рамнозы, глюкуроновых кислот. К камедям относят также полисахариды микроорганизмов, в частности, накапливаемые в культуральной жидкости, производные, получаемые модификацией полисахаридов природного происхождения (например, целлюлозы, крахмала).

Как регуляторы вязкости и модификаторы структуры их можно подразделить на загустители и гелеобразователи, однако четкой границы между ними нет, поэтому некоторые камеди используются тем и другим способом.

Заключение. Исходя из всего выше сказанного, можно предположить, что реологические свойства дисперстной системы будут зависеть от обоснования сочетаемости различных компонентов гетерогенной дисперсной системы. При этом необходимо исходить из эффекта влияния каждого компонента и добавок, их взаимодействия друг с другом, взаимодействия добавок с основными компонентами смеси. Данные эффекты, вероятно, будут носить не аддитивный, а синергетический вклад при образовании высоко концентрированной ГДС.

Нами из проведенного теоретического анализа сформулированы возможные рецептурные факторы применительно к неорганическим системам твердения строительных композитов (табл. 3).

Таблица 3

Рецептурные факторы получения неорганических систем твердения строительных композитов при формировании коагуляционной структуры за счет числа и прочности контактов между частицами «Г-Ж» фазы

Система твердения	Минеральные компоненты	Добавки		Возможные границы дозирования	
		Электролиты	ПАВ		
Ц + В В/Ц = 0,4	Цемент	-		50 %	
	Известняк ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)			25 %	
	Метакаолин ($\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$)			25 %	
			СП – поликарбоксилатные эфиры	0,3 - 0,5 %	
Ц + В В/Ц = 0,25	Цемент	-	-	70 %	
	Песок (Песок : вяжущее = 3 : 2)	-	-	50 %	
	Вяжущее вещество (сульфоалюминат кальция)	-	-	40 %	
	Микрокремнезем	-	-	10 %	
				СП	1 %
				Замедлитель схватывания на основе модифицированных фосфатов	0,5 %
		золы уноса кислые (с содержанием СаО до 10 %)	-	-	20 %
Г+В Водогипсовое отношение от 0,2 до 0,60	Гипс	-	-	75 %	
	Стекловолокно (диаметр – 5-100 мкм; длина – 1-10 см)	-	-	5 – 25 %	
Г+В	Гипс	-	-	80 %	
	Полипропиленовые волокна	-	-	5 %	
		жидкое стекло	-	15 %	
ВВ+РЭ (искусственный песчаник + CaCl_2)	Песок	-	-	10 частей	
	Глина	-	-	1 часть	
	Жидкое стекло	-	-	3(4) части	
	Хлорид кальция	раствор	-	300 г/л	
ВВ+РЭ (искусственный песчаник + MgO , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	Песок	-	-	10 частей	
	Глина	-	-	1 часть	
	Жидкое стекло	-	-	3(4) части	
	MgO	раствор	-	62-67 %	
	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	раствор	-	33-38 %.	

Список литературы

1. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3d-печати: проблема управления и возможности арсенала «нано» // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10. № 3. С. 107-122.
2. Сорокина Е.А. Технологические аспекты формирования составов бетонных смесей для 3D-печати // Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Строительство и архитектура. Национальный исследовательский Томский политехнический университет; под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. 2017. Т. 6. С. 134-136.
3. Mazhoud B., Perrot A., Picandet V., et al. Underwater 3D printing of cement-based mortar // Construction and Building Materials. 2019. V. 214. P. 458-467.
4. Khayat K.H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials – an overview // Cement and Concrete Composites. 1998. V.20. P. 171-188.
5. Patural L., Marchal P., Govin A., et al. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars // Cement and Concrete Research. 2011. V.41. P. 46-55.
6. Pierre A., Perrot A., Picandet V., et al. Cellulose ethers and cement paste permeability // Cement and Concrete Research. 2015. V.72. P. 117-127.
7. Long W.-J., Tao J.-L., Lin C., et al. Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro crystalline cellulose for 3D-printing // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 239.13. p.
8. Yeon K.-S., Kim K.K., Yeon J., et al. Compressive and Flexural Strengths of EVA-Modified Mortars for 3D Additive Construction // Materials. 2019. V. 12.14. p.
9. Weng Y., Ruan S., Li M., et al. Feasibility study on sustainable magnesium potassium phosphate cement paste for 3D printing // Construction and Building Materials. 2019. V.221. P. 595-603.
10. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 2004. 445 с.

11. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 381 с.
12. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. 319 с.
13. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 256 с.
14. Урьев Н.Б., Михайлов Н.В. Коллоидный цементный клей и его применение в строительстве. М.: Стройиздат, 1967. 171 с.
15. Урьев Н.Б., Дубинин И.С. Коллоидные цементные растворы. М.: Стройиздат, 1980. 191 с.
16. Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика структурированных нанодисперсных систем и нанодисперсных композиционных материалов. Часть 1 // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46, № 1. С. 3-23.
17. Круглицкий Н.Н. Очерки по физико-химической механике. Киев: Наукова думка, 1988. 224 с.
18. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. М.: Наука, 1985. 399с.
19. Inozemtcev A., Korolev E., Qui D.T. Study of mineral additives for cement materials for 3D-printing in construction // Materials Science and Engineering. 2018. V. 365. 9 p.
20. XuY., SavijaB. Development of strain hardening cementitious composite (SHCC) reinforced with 3D printed polymeric reinforcement: Mechanical properties // Composites Part B. 2019. V.174. 16p.
21. Ратинов В.Б. Химия в строительстве. М.: Стройиздат, 1977. 220 с.
22. Строительный форум Baurum. [Электронный ресурс]: http://www.baurum.ru/_library.html(дата обращения 04.06.2020).
23. Википедия-свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]: [https:// ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org) (дата обращения 04.06.2020).

References

1. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. [The rheological behavior of disperse systems for 3d printing in construction: the problem of control and possibility of «nano» tools application]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal* [Nanotechnology in construction: a scientific online magazine]. 2018. V. 10. no. 3. P. 107-122. (in Russian).
2. Sorokina E.A. Technological aspects of the formation of concrete mixtures for 3D printing Collection of scientific papers of the XIII International conference of students, postgraduates and young scientists: Construction and architecture. National research Tomsk Polytechnic University; ed. by I. A. Kurzina, G. A. Voronova. 2017. V. 6. P. 134-136. (in Russian).
3. Mazhoud B., Perrot A., Picandet V., et al. Underwater 3D printing of cement-based mortar // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 214. P. 458-467.
4. Khayat K.H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials – an overview// *Cement and Concrete Composites*. 1998. V.20. P. 171-188.
5. Patural L., Marchal P., Govin A., et al. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars // *Cement and Concrete Research*. 2011. V.41. P. 46-55.
6. Pierre A., Perrot A., Picandet V., et al. Cellulose ethers and cement paste permeability// *Cement and Concrete Research*. 2015. V. 72. P. 117-127.
7. Long W.-J., Tao J.-L., Lin C., et al. Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro crystalline cellulose for 3D-printing // *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 239. 13 p.
8. Yeon K.-S., Kim K.K., Yeon J., et al. Compressive and Flexural Strengths of EVA-Modified Mortars for 3D Additive Construction // *Materials*. 2019. V. 12. 14 p.
9. Weng Y., Ruan S., Li M., et al. Feasibility study on sustainable magnesium potassium phosphate cement paste for 3D printing// *Construction and Building Materials*. 2019. V.221. P. 595-603.

10. Shchukin E.D., Percov A.V., Amelina E.A. Kolloidnaya himiya [Colloidal chemistry]. Moscow, High school, 2004. 445p. (inRussian).
11. Rebinder P.A. Izbrannye trudy. Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaya mekhanika [Selected works. Surface phenomena in dispersed systems. Physical and chemical mechanics]. Moscow, Nauka, 1979. 381 p.(inRussian).
12. Uriev N.B. Vysokokoncentrirovannye dispersnye sistemy [Highly Concentrated dispersed systems]. Moscow, Chemistry, 1980. 319 p.(inRussian).
13. Uriev N.B. Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologii dispersnyh sistem i materialov [Physical and chemical bases of technology of dispersed systems and materials.]. Moscow, Chemistry, 1988. 256 p.(inRussian).
14. Uriev N.B., Mikhailov N.V. Kolloidnyj cementnyj klej i ego primenenie v stroitel'stve [Colloidal cement glue and its application in construction.]. Moscow, Stroizdat, 1967. 171 p.(inRussian).
15. Uriev N.B., Dubinin I.S. Kolloidnye cementnye rastvory [Colloidal cement solutions.]. Moscow, Stroizdat, 1980. 191 p.(inRussian).
16. Uriev N.B. [Physical and chemical dynamics of structured nanodisperse systems and nanodisperse composite materials. Part 1] // Fiziko-himiya poverhnosti i zashchita materialov [Physical chemistry of the surface and protection of materials]. 2010. V. 46.no 1. P. 3-23.(inRussian).
17. Kruglitsky N.N. Ocherki po fiziko-himicheskoy mekhanike [Essays on physical and chemical mechanics]. Kiev: Naukova Dumka, 1988. 224 p.(inRussian).
18. Deryagin B.V., Churaev N.V., Muller V.M. Poverhnostnye sily [Surface forces]. Moscow, Nauka, 1985, 399 p.(inRussian).
19. Inozemtcev A., Korolev E., Qui D.T. Study of mineral additives for cement materials for 3D-printing in construction // Materials Science and Engineering. 2018. V. 365. 9 p.
20. Xu Y., Savija B. Development of strain hardening cementitious composite (SHCC) reinforced with 3D printed polymeric reinforcement: Mechanical properties // Composites Part B. 2019. V.174.16 p.

21. Ratinov V.B. Himiya v stroitel'stve [Chemistry in construction] Moscow, Stroizdat, 1977. 220 p. (in Russian).

22. Stroitel'nyj forum Baurum [Constructionforum Baurum]. Available at: http://www.baurum.ru/_library.html (Accessed 04 June 2020). (in Russian).

23. Wikipedia is a free encyclopedia. Available at: <https://ru.wikipedia.org> (Accessed 04 June 2020).

Гаврикова Регина Юрьевна – магистр 1-го года обучения гр. м-ТМС-19 Воронежского государственного технического университета

Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

УДК 624-01

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Б.В. Накашидзе*, Д.-К.Г. Накашидзе

Римский университет Ла Сапиенца, Италия, г. Рим, площадь Альдо Моро, 5

**Адрес для переписки: Борис Васильевич Накашидзе,
E-mail: boris.nakashidze@mail.ru*

Работа посвящена проблемным вопросам, связанным с использованием композитной арматуры в строительных конструкциях. Для эффективного использования композитной арматуры в несущих строительных конструкциях, её необходимо предварительно напрягать методом растяжения. Чтобы сохранить начально введённое контролируемое растягивающее напряжение, необходимо решать проблему надёжной анкеровки концевых участков стержневой арматуры. Неизбежные технологические и производственные дефекты в композитной арматуре целесообразно минимизировать путём создания наружного защитного покрытия, которое будет препятствовать образованию механических поверхностных повреждений и преждевременного раскрытия микротрещин в матрице стержневой арматуры при армировании конструктивных элементов.

***Ключевые слова:** арматура, прочность, растяжение, сопротивление, эффект, надёжность, матрица, микротрещины, дефекты*

**PROBLEMS OF USING COMPOSITE REBARS IN BUILDING
STRUCTURES**

B.V. Nakashidze*, D.-K.G. Nakashidze

Sapienza University of Rome, Italy, Rome, Piazzale Aldo Moro, 5

**Corresponding author: Boris V. Nakashidze, E-mail: boris.nakashidze@mail.ru*

The work analyse the problematic issues related to the use of composite reinforcement (GFRP Rebars) in building structures. Composite rebar also known as Glass fiber reinforced plastic (GFRP) has high strength, but low modulus of elasticity. For effective use of such a reinforcing material in load-bearing building structures, it is necessary to pre-strain it by stretching. In order to maintain the initially introduced controlled tensile stress in the armature, it is necessary to solve the problem of reliable anchoring of the end sections of the armature rods. Unavoidable technological and manufacturing defects in composite rebar should be minimized by creating an external protective coating that will prevent the formation of mechanical surface damage and premature disclosure of microcracks in the matrix of rebar rods when reinforcing structural elements. Potential capabilities of using GFRP in the construction industry they are not fully defined and thoroughly studied.

Keywords: GFRP, GRP, carbon fiber, polyester, rebar, strength, modulus of elasticity, prestressed, resistance, wood, concrete, effect, use, reliability, matrix, micro-cracks, non-conductive

Введение. Потенциальные возможности использования композитной арматуры в строительной индустрии ещё пока не в полной мере предопределены и изучены, так как свойства и особенности поведения арматуры зависят от исходных материалов, познание и подбор которых позволяет управлять соответствующими необходимыми характеристиками арматуры при её формировании. Матрица из полимерного связующего объединяет в совместную работу волокнистые нити в единый монолитный стержень, защищает волокна от воздействия влаги, различных химических реагентов и механических повреждений. Таким образом, волокнистые (стеклянные, базальтовые и др.) нити выполняют роль «рабочего» материала в композитной арматуре, а матрица из полимерного материала роль «объединяющего и защищающего» компонента [1].

Ввиду высокой прочности композитной арматуры и относительно низкого модуля упругости, рационально и эффективно использовать такую арматуру в строительных конструкциях можно, но при условии создания в них предварительного напряжения путём введения начальных растягивающих напряжений в арматуре. При этом, в целях сохранения начально вводимого контролируемого

предварительно растягивающего напряжения, необходимо обеспечить надёжность захватных натяжных устройств и передачу реактивных усилий с композитной арматуры на конструкцию [2].

Необходимость создания начальных напряжений в композитной арматуре вытекает из условия совместной работы армирующего материала и конструкции, а для раскрытия внутренней статической неопределённости воспользуемся равенством относительных деформаций арматуры ϵ_a и материала конструкции ϵ_m .

$$\epsilon_a = \epsilon_m. \quad (1)$$

После преобразования выражения (1), согласно закону Гука и считая справедливой гипотезу плоских сечений, например, при армировании деревянных клееных балок без создания начальных напряжений в композитной арматуре, напряжения в древесине достигают расчётных сопротивлений, а напряжения в арматуре составляют не более 10%. При армировании бетонных изгибаемых элементов, согласно закону совместности деформаций арматуры и бетона, напряжения в композитной арматуре при этом составляют не более 1%. В пять раз более низкий модуль упругости в сравнении со стальной арматурой приводит к снижению предельной нагрузки изгибаемого элемента без предварительного напряжения не только по второй группе предельных состояний, но и по первой. Высокая деформативность композитной арматуры фактически не позволяет реализовать её высокий прочностной потенциал при армировании как деревянных, так и бетонных изгибаемых элементов конструкций. Поэтому на практике, при возведении арматурного каркаса из композитной арматуры для бетонных конструкций, осуществляют увеличенный процент армирования в 3-4 раза. В железобетонных изделиях повсеместно заменить стальную арматуру на композитную невозможно. Применение композитной арматуры целесообразно и эффективно только в случае необходимости использования её свойств, кото-

рыми стальная арматура не обладает. В первую очередь речь идёт о химической стойкости, радиопрозрачности и диэлектрических свойствах.

Использование в деревянных клееных конструкциях стеклопластиковой арматуры было очевидным и естественным по причине сходства строения природной волокнистой композиции древесины и искусственных высокопрочных стекловолокон объединённых полимерным связующим [3]. Сопоставление физико-механических и технических свойств древесины и арматуры позволяет указать на отсутствие в рассматриваемой композиции щелочей, кислой среды, малую вероятность механических поверхностных повреждений при армировании, совпадение коэффициентов линейного расширения, устойчивость к воздействию различных видов коррозии, отсутствие тепловой обработки и пропарочных камер при изготовлении – всё это составляет удачное содружество материалов, требующее к совместному объединению. Единственное противоречие, следующее из анализа относительных деформаций (1) в контакте древесины и композитной арматуры, это недоиспользование прочностных свойств арматуры.

Постановка задачи

Введем в относительные деформации (1) по закону Гука и согласно гипотезы плоских сечений Бернулли, модули упругости арматуры ($E_{сп}$), древесины ($E_{др}$), тогда:

$$\sigma_{сп}/\sigma_{др} = E_{сп}/E_{др}, \quad (2)$$

$$\text{отсюда} \quad \sigma_{сп} = R_{др} \times E_{сп}/E_{др} \ll R_{сп}^{н2}. \quad (3)$$

Напряжения в древесине ($\sigma_{др}$) принимаем как расчётное значению $R_{др}$, тогда напряжения ($\sigma_{сп}$) в композитной арматуре на стадии эксплуатации $R_{сп}^{н2}$ без предварительного напряжения недоиспользуется почти на 90%.

Этот недостаток решается конструктивными приёмами, сводящимися к созданию начальных напряжений в композиции путём раскрытия внутренней статической неопределённости. Известно, что характер напряжённого состояния предварительно напряжённой конструкции оценивается контролируемым напряжением ($\sigma_{нк}$) и величиной потерь ($\Sigma \sigma_{пi}$). Тогда внося ($\sigma_{нк} - \Sigma \sigma_{пi}$) в выражение (2) получим:

$$(\sigma_{нк} - \Sigma \sigma_{пi} + \sigma_{спа}) / \sigma_{д} = E_{спа} / E_{д}. \quad (4)$$

Согласно выражению (4), представилась возможность достижения равенства:

$$\sigma_{нк} - \Sigma \sigma_{пi} + \sigma_{спа} = R_{спа}^{n2}, \quad (5)$$

где $R_{спа}^{n2}$ – расчётное сопротивление арматуры на стадии эксплуатации.

Это и является ответом для решения недостатка в эффективном использовании прочности армирующего материала для деревянных конструкций. В напрягаемой арматуре, размещённой в предварительно выбранных пазах деревянных балок, образующиеся микротрещины в матрице «купируются» заливаемым компаундом. Таким образом, композитная арматура в деревянных конструкциях дополнительно защищена от внешних агрессивных воздействий.

Доминирование бетона, как строительного материала, используемого в различных отраслях строительства, способствует широкому рекламированию композитной арматуры именно для бетонных конструкций, забывая при этом об имеющихся недостатках и проблемах поведения такого армирующего материала, как при технологии изготовления, так и при эксплуатации, также об эффективности и целесообразности замены стальной арматуры на композитную. Фактически практика показала, что использование композитной арматуры для армирования преимущественно бетонных конструкций, это было неверное позиционирование по области применения, которое и сдержало массовое внедре-

ние. В результате строительная наука многие годы не занималась исследованиями в наиболее актуальном направлении применения.

Отсутствие экспериментальных оценок поведения композитной арматуры в несущих конструкциях, не позволяет спрогнозировать склонность к образованию микротрещин в матрице, зависящих от вида связующего, условий полимеризации и прочностных свойств. При создании начальных растягивающих напряжений в арматуре, матрица композита подвержена трещинообразованию, образуется так называемая «капиллярная проницаемость». В результате волокна оголяются и становятся уязвимыми от воздействия химических реагентов, например, при бетонировании конструкций, также в условиях их эксплуатации, когда при контакте двух сред – воды и воздуха возможна капиллярная гидродеградация.

Пока невозможно сделать такое сочетание условий, чтобы обеспечить высокую прочность и повышенное удлинение матрицы без образования микротрещин и щелевых капилляров при продольных тангенциальных и поперечных обжимающих напряжениях. На современном уровне технологий, в процессе производства композитной арматуры неизбежно возникают дефекты: микротрещины, расслоения, поверхностные вздутия, коробления, избыточная пористость и т. д. Наличие дефектов приводит к изменению физико-механических свойств по статистическому характеру и масштабному эффекту прочности. Искривления волокон оказывают влияние при определении характеристик прочности в направлении армирования. Микротрещины и коробления представляют собой концентраторы напряжений, способствующие развитию магистральной трещины. Невозможность заранее предусмотреть количество и типы технологических дефектов и в связи с этим сделать поправку на ресурс изделия, на первое место выдвигается задача **диагностики дефектности** арматуры, как при изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Характер разрушения существенно зависит от жесткости и прочности связи между структурными составляющими композитной арматуры.

Цель данной статьи – проанализировать перспективы применения композитной арматуры, рассмотреть причину столь медленного её внедрения в строительных конструкциях, какие мероприятия необходимо провести для расширения области применения данного вида армирования.

Дело в том, что внедрение наталкивается на определённые трудности и противоречия. Сегодня даже если заказчик хочет, строитель может, а проектировщик скажет опасно, рисковать никто не станет. Когда будет свод правил, проектировщик будет застрахован и сможет предлагать более дешёвое и эффективное решение с использованием композитной арматуры в несущих и ограждающих конструкциях.

Свойства композитной арматуры определяют её применение в основном только в предварительно напряжённых конструкциях [2].

Результаты и обсуждение

Решение проблемы создания предварительного напряжения в композитной (стеклопластиковой) арматуре и конструкции в целом было осуществлено впервые для армирования деревянных клееных балок [3]. Основная задача создания начальных напряжений в клееных деревянных изгибаемых элементах функционально сводилась к двум проблемам: технической – обеспечение прочного и надёжного сцепления стеклопластиковой арматуры с волокнами древесины; расчётно-конструктивной, сводящейся к оптимальному насыщению арматурой поперечного сечения при одновременном достижении в волокнах древесины и арматуры расчётных сопротивлений. Техническая проблема анкеровки предварительно напряжённой арматуры была успешно решена и экспериментально подтверждена при кратковременных и длительных испытаниях армированных балок. Разработанный приём передачи реактивных усилий с напряжённой стеклопластиковой арматуры на основу конструкции позволил устранить стационарные стендовые упоры и приспособления и использовать их как инвентарные (рис. 1, 2).

Необходимость располагать арматуру с криволинейным очертанием на концевых участках по фасаду балок связано с созданием начальных растягивающих напряжений в арматуре и безопасностью работ в процессе эксплуатации конструкций балок.



Рис. 1. Клеенные деревянные балки для моста, предварительно напряжённые стеклопластиковой арматурой

Эти меры продиктованы особенностями строения древесины, плохо сопротивляющейся отрывающим усилиям поперёк волокон, а также тем, что на опорных участках криволинейно расположенная арматура воспринимает часть поперечной силы, тем самым уменьшая скальвающие напряжения. В этой работе впервые осуществлена защита отечественного приоритета в области разработки анкерных и захватных натяжных устройств для высокопрочной низко-модульной композитной арматуры (рис. 2, 3), а также возможность её стыковки по длине.

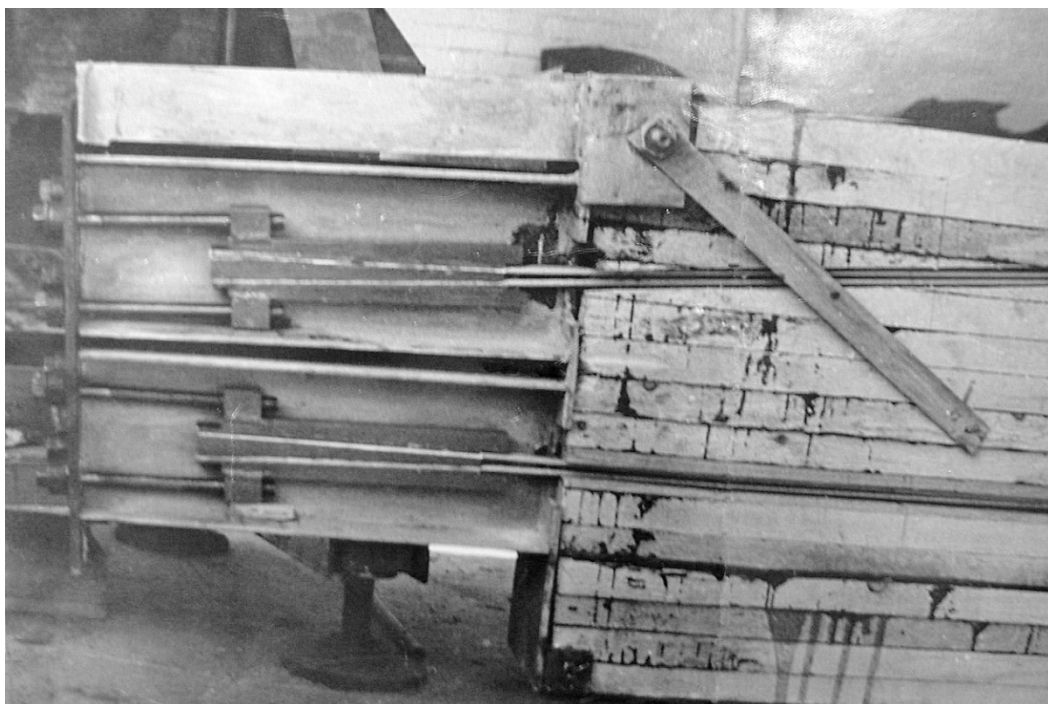


Рис. 2. Способ натяжения стеклопластиковой арматуры в клееных деревянных балках

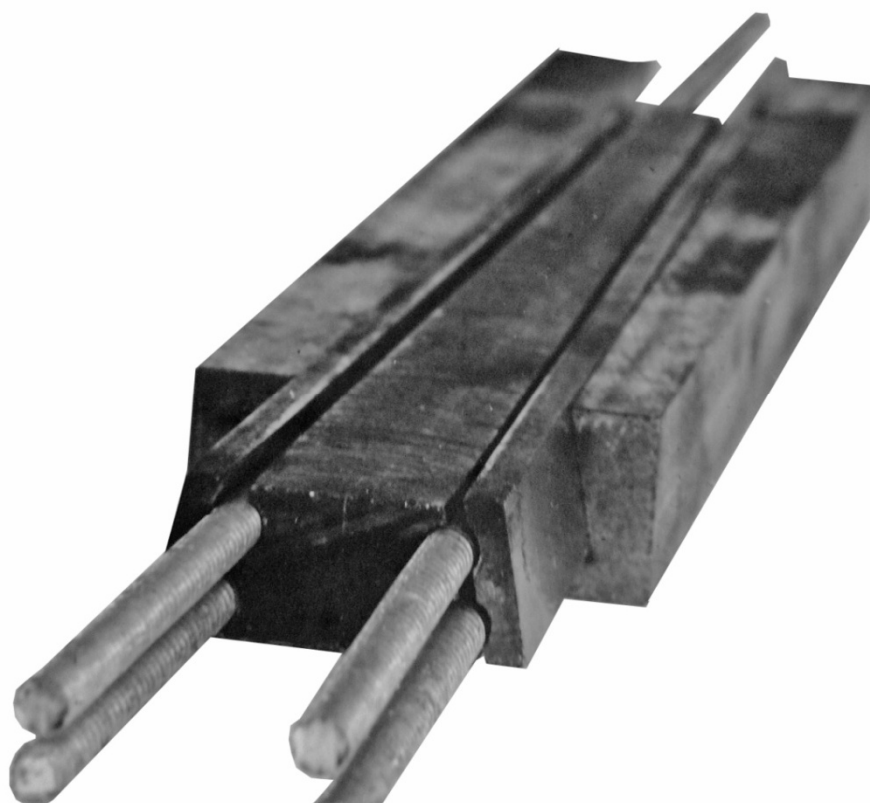


Рис. 3. Анкерный захват по А.С. № 435337, для стеклопластиковой арматуры

Результаты исследований [3] были использованы в опытно-экспериментальном строительстве. Впервые в мировой практике был построен автодорожный мост, несущими конструкциями которого являлись напряжённо армированные клееные деревянные балки пролётом 9 м с ездовым полотном из железобетона (рис.4). После 30 лет эксплуатации этого моста, автор работы [3] повторно проводил испытания (рис. 5), результаты которых подробно изложены в статье [4, С.158-164]. В настоящее время, после 45 лет эксплуатации, это сооружение является действующим и находится в рабочем состоянии (рис. 6, 7).



а)



б)

Рис. 4. Испытания моста в 1975 году



Рис. 5. Испытания моста в 2004 году



Рис. 6. Современный вид моста в 2020 году



Рис. 7. Общий вид крайней пролётной деревянной балки моста

Анализ существующего положения по использованию композитной арматуры в несущих строительных конструкциях вызывает серьёзную озабоченность [5]. За полувековой период научных исследований и опытное внедрение в практику строительства отдельных объектов, крайне медленно и ограниченно освещены результаты этих исследований, как по композитной арматуре, так и по армированным конструкциям. Это не та мера, которая бы соответствовала важности технического прогресса для экономики нашей страны и была серьёзным конкурентом для зарубежных стран.

Главная проблема в этой достаточно перспективной сфере – отсутствие стройной и единой для всех нормативной базы к её применению. Отсюда и нестабильное качество продукции, и недоверие к результатам испытаний, и сомнения в надёжности конструкций [6].

На данный момент на российском строительном рынке наиболее востребованными видами композитной арматуры являются:

- стеклопластиковая арматура (АКП – СП);

- базальтопластиковая арматура (АКП – БП).

По данным аналитиков MegaResearch, в Российской Федерации сейчас работает порядка 60 предприятий по производству композитной арматуры, из них около 20 крупных заводов, которые расположены во всех федеральных округах. Лидерами по количеству производителей композитной арматуры являются Уральский и Центральный Федеральные Округа, также растёт производство и на других предприятиях, в частности в республиках Татарстан и Башкортостан.

Однако, массовое изготовление такого, на первый взгляд эффективного композитного материала, не контролируется по многим параметрам.

Строительную отрасль России трудно назвать прогрессивной, так как консерватизм строителей сильно тормозит внедрение новых материалов. Однако, благодаря некоторым преимущественным свойствам, характерных для композитной арматуры, рынок таких армирующих материалов медленно прирастает. И это стало после выхода государственного стандарта на производство композитной арматуры (ГОСТ 31938 – 2012). Дата последнего его изменения – 12.09.2018г. Однако в настоящее время стандарты на проектирование строительных конструкций с использованием композитной арматуры отсутствуют. Фактическая номенклатура композитной арматуры включает изделия разного химического состава сечением от 4 до 22 мм. На весь этот ассортимент предприятия разрабатывают технические условия, устанавливая контролируемые показатели качества и безопасности **по своему усмотрению**. В результате ТУ, как правило, не отражают полноту всех важных физико-механических характеристик. Кроме того, они допускают выборочный приемочный контроль продукции. По мнению экспертов [5], [6], главный недостаток технических условий в том, что установленные в них технические характеристики не обеспечивают реализацию декларируемой области применения продукции. Производство и контроль качества арматуры не стандартизированы.

Отмечается [6], что зачастую производство композитной арматуры осуществляется в отсутствие типовой технологической документации (технологи-

ческих карт), а также системы контроля качества исходных компонентов и готовой продукции. При поставке компонентов продукции на производство, не предусматривается отработка режимов подбора составляющих и профессиональной настройки оборудования. Несмотря на традиционно бытующее мнение о наибольшей целесообразности применения композитной арматуры в конструкциях с предварительным напряжением, на протяжении предыдущих десятилетий и до настоящего времени реализованы лишь единичные подобные примеры и, как правило, в качестве экспериментальных образцов. Отсутствует четкая терминология и классификация, а также дифференциация на напрягаемую и ненапрягаемую арматуру с соответствующими требованиями к ней.

Без разработки стандартов, регламентирующих требования к качеству арматуры, ее механическим свойствам и методам контроля, а также правил расчета и конструирования, композитобетонные конструкции до сих пор используются в ограниченных областях строительства, преимущественно на грунтовых и подготовленных конструктивных основаниях (на упругом основании).

Считаем, что перечень возможностей внедрения композитной арматуры в строительство ещё не до конца изучены и исследованы, особенно для таких материалов как бетон, дерево, полимербетоны. Рассмотрим, например, наиболее распространённую область – железобетонные конструкции. Мысль о предварительном напряжении конструкций зародилась давно, и она заключалась в стремлении создать в материале такое искусственное напряжённое состояние, которое поднимает в конструкции сопротивление внешним силам на более высокую ступень. Преимущества и достоинства предварительно напряжённых железобетонных конструкций обеспечили им широкое применение в строительстве во всём мире. Такой вид прогрессивных конструкций вызвал в своё время интенсивное развитие творческой инженерной мысли во многих областях строительства. На современном уровне, понятие предварительно напряжённый подразумевается структура, в которой для достижения статического эффекта искусственным натяжением металлической арматурой вызывает создание внутренних реактивных сил, обеспечивающих при сложении с естественными воздействиями, желаемый устойчивый эффект.

Экспериментальная часть

Создание дополнительного принудительного напряжения в конструкции от реактивных сил можно, например, путём объединения композитной арматуры с традиционным арматурным стальным канатом. Успех такого подхода, в отличие от прежних попыток, будет обеспечен при освоении производства комбинированных составных арматурных канатов [7]. Применение такого нового вида арматурных канатов (рис. 8), будет способствовать развитию творческой инженерной мысли при изготовлении и строительстве объектов специального назначения.



Рис. 8. Канат с сердечником из стеклопластиковой арматуры по патенту № 2709571

Сущность предлагаемого технического решения заключается в том, что новый вид арматурных стальных канатов содержит сердечник из низко модульных композитных высокопрочных стержней, причём сам сердечник выполнен с защитной оболочкой из антифрикционного композитного материала.

Так как модуль упругости композитных стержней сердечника почти в 3,5 раза меньше высоко модульных стальных проволоочных прядей навитых на сердечник, соответственно удельная деформация растяжения в сердечнике будет больше чем в стальных прядях. Таким образом, потенциальная энергия в сер-

дечнике при растяжении увеличивается в 3 раза, что так необходимо для сохранения длительного эффекта предварительного напряжения в строительных конструкциях. При использовании таких сердечников в стальных канатах, для предварительно напряженных строительных конструкций, создаётся дополнительный и сохраняется длительный эффект внутренних напряжений, противоположенных по знаку напряжениям от внешних нагрузок, увеличивается несущая способность и повышается запас потенциальной энергии реактивных сил в канате при разнообразных способах армирования, а также при любых видах воздействия внешних нагрузок. Расширяется область использования таких канатов с минимальным весом и сниженным использованием высокопрочных стальных проволок. Сердечник может выполнять роль компенсатора потерь реактивных сил в арматурном канате комбинированного сечения, также имеется возможность регулирования демпфирующими свойствами в конструкциях, подверженных динамическим и пульсирующим нагрузкам, самое важное, существует локальная защита сердечника от температурных воздействий.

Из-за высокой прочности композитной арматуры и относительно низкого модуля упругости, этот материал весьма хрупкий, с низким пределом прочности при поперечном сжатии. Возникла необходимость решать проблему анкеровки концевых участков с целью создания начальных растягивающих напряжений. Вопрос универсального решения по анкерровке композитной арматуры так до конца и не решён, хотя тянется эта проблема не одно десятилетие. Например, в исследованиях [3] впервые был разработан анкерный захват (рис.3), базирующийся на принципе сепарации составного клина. Причина столь затянувшегося времени по разработке анкерных захватных устройств для композитной арматуры кроется в технической проблеме. Дело в том, что во всех известных устройствах, используемых для стальной арматуры, при анкерровке применяют конусно-клиновые, гильзовые и стаканые анкера, в которых в процессе анкерровки, между взаимно перемещающимися относительно друг друга элементами, происходит заклинивание. Величина сдвига арматуры и заклинивающих деталей анкера относительно друг друга зависит от отношения

их модулей упругости. Например, для стальной стержневой, проволочной арматуры и стальных канатов это отношение равняется единицы, а для композитной арматуры находится в пределах 5-6. Поэтому, использование известных типовых анкерных устройств для композитной арматуры приводило к разрушению концевых участков в самом захвате, несущая способность по длине недоиспользовалась. В разработанном захватном устройстве [8], в основу конструктивного решения по анкерровке арматуры была заложена идея сепарации, дифференцирующая трение сцепления и трение скольжения, которые возникают при действии касательных напряжений [9, С. 17-30].

При натяжении канатов с использованием пучков композитных высокопрочных стержней существует проблема гарантированной надежности анкерровки концов арматуры в устройствах по причине неравномерного обжатия стержней по длине захватного устройства. Заанкеривание стержней первоначально осуществлялось путем приложения к коническим клиньям внешнего прессовочного усилия для заклинивания концов арматуры. Проблема в том, что поверхность композитной арматуры образована матрицей из эпоксифенольного связующего и волокнистых нитей из низко модульного материала. Наружная поверхность стержней после полимеризации связующего формируется неровной, шероховатой, имеют некруглую форму сечения и разброс в размерах сечения, что ухудшает условия анкерровки. В процессе сборки анкерного устройства с арматурным пучком выполняют принудительное заклинивание конических клиньев, прессовочное усилие способствует заклиниванию концов арматуры. Арматурные стержни подвергаются неравномерному обжатию из-за проблем наружной поверхности. Неконтролируемость полноты степени обжатия концевых участков стержней по длине анкерровки в устройстве приводит к недостаточному по надежности закреплению стержней из-за возможного проскальзывания и повреждения арматуры при ее натяжении, в результате в пучке натягаемой арматуры часть стержней будет недонапряжена до контролируемой величины, а оставшаяся часть стержней окажется перенапряженной. Эф-

фekt создания ожидаемого предварительного напряжения в строительной конструкции ставится под сомнение.

Для устранения такого несовершенства, связанного с анкеровкой композитной арматуры в захватных устройствах, решалась техническая задача по изменению конструкции корпуса устройства и внутренних конических обжимных клиньев. Поставленная задача решалась путём принципиального изменения конструкции корпуса самого устройства и обжимных секторов конического клина с пазами для стержней арматуры. Корпус устройства был выполнен телескопическим, из отдельных конических тонкостенных металлических взаимосвязанных колец (рис. 9), при этом отдельные сектора конического составного клина выполнены разрезными по длине (рис. 10).



Рис. 9. Общий вид корпуса анкерного устройства по патенту № 2613370



Рис. 10. Обжимной составной сердечник анкерного устройства по патенту ПМ № 182818

Выполнение корпуса устройства телескопическим по длине позволяет применить принцип «дробности» обжатия секторов внутреннего составного конического клина. Составные по длине отдельные конические сектора клина с пазами для арматуры также выполняют принцип «дробности» обжатия арматуры в радиальном, тангенциальном продольном направлениях между контактирующими телами. Степень обжатия арматурных стержней в захватном устройстве влияет на длину анкеровки и устройства в целом. Разрезная и неразрезная схема передачи сил обжатия на арматурные стержни ориентировочно отличается в 1,5-2 раза, что указывает на эффективность принятого решения поставленной задачи за счёт принципиального изменения конструкции секторов конического клина и корпуса устройства в целом.

Такой способ обжатия арматурных стержней в захватном устройстве значительно повысил коэффициент трения и сил обжатия, препятствующих продольной подвижке стержней в устройстве. Благодаря локальному обжатию и дискретному приложению поперечных сил к отдельным элементам секторов конического составного клина, снижено влияние технологических недостатков при производстве композитной арматуры, образующихся при формировании профиля по длине, а также значительно упрощается процесс сборки и разборки анкерующего устройства. Техническое решение захватного анкерного устройства по патентам на изобретение [10] и на полезную модель [11] было реализовано конструктивно и использовано в опытном испытании стержней композитной арматуры на растяжение (рис.11).

Изготовление секторов составного обжимного конического клина предварительно было выполнено из металла, а в заявленных материалах патентов рекомендовано использовать композитный высокопрочный фрикционный материал, позволяющий в пазах для арматурных стержней увеличить коэффициент трения μ , превысить 1 ($\mu > 1$). Такое отступление от рекомендаций по использованию конкретного материала было связано из экономических соображений при опытном изготовлении захватного устройства.



Рис. 11. Испытания анкерного захватного устройства для композитной арматуры при растяжении

Результаты предварительных испытаний арматуры на растяжение при помощи изготовленных захватных устройств показали, что сектора конического клина из металла работают надёжно до определённого уровня растягивающих усилий (порядка 70 кН) (рис. 12).

Образцы 1 и 2

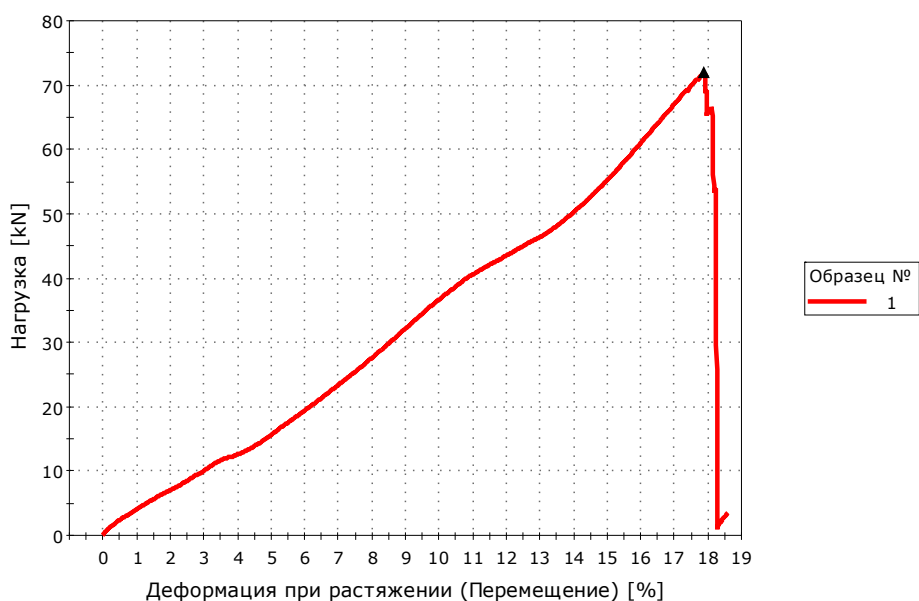


Рис. 12. График испытания анкерного устройства по патенту № 2613370

С увеличением растягивающего усилия, стеклопластиковые стержни разрушаются у основания захватного устройства (рис. 13). Характер разрушения – разрыв отдельных стержней с образованием «метёлки» из стекловолокон.



Рис. 13. Характер разрушения стеклопластиковой арматуры в захватном устройстве

В целях усовершенствования конструктивного решения и обеспечения надёжности работы разработанного захватного анкерного устройства, необходимо обжимные сектора конического составного клина выполнить из фрикционного низко модульного композитного материала и провести испытания.

Заключение. Для эффективного использования композитной арматуры в строительных конструкциях её необходимо предварительно напрягать методом растяжения, при этом необходимо контролировать величину напряжения ($\sigma_{нк}$) и принимать в зависимости от материала основы конструкции. Например, для деревянных изгибаемых элементов конструкций $\sigma_{нк} = 0,55 \sigma_{вр}$; где $\sigma_{вр}$ – временное сопротивление разрыву арматуры [3].

Для сохранения предварительного растягивающего напряжения в арматуре, необходимо усовершенствовать конструктивное решение анкерных захватных устройств путём использования для обжимных секторов фрикционные низко модульные композитные материалы [11].

С целью расширения области применения композитной арматуры в строительстве необходима разработка стандартов, регламентирующих требования к качеству арматуры и методам контроля.

Необходима диагностика дефектности арматуры как при изготовлении продукции, так и при использовании в строительных конструкциях. Проектировщики крайне нуждаются в разработке Технических Условий по терминологии и дифференциации арматуры – на напрягаемую и ненапрягаемую; для армирования бетонных и деревянных конструкций.

Технические разработки стальных канатов, выполненных с сердечником из высокопрочных, но низко модульных композитных материалов [7], позволят создавать дополнительные принудительные напряжения в строительных конструкциях от реактивных сил, противоположных по знаку напряжениям от внешних нагрузок, также позволят уменьшать вес каната и экономию высокопрочной металлической проволоки.

Список литературы

1. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. С.104.
2. Михайлов К.В., Вильдавский Ю.М. Эффективные виды арматуры для железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1970. С.181-208.
3. Накашидзе Б.В. Использование стеклопластиковой арматуры в клееных деревянных балках : автореф. дис. канд. техн. наук. Минск: Белорус. политехн. институт, 1973. С.28.
4. Накашидзе Б.В. Обследования и натурные испытания деревожелезобетонного автодорожного моста после тридцатилетнего срока эксплуатации// Вестник ВоронежГАСУ. 2004. Вып, №1. С.158-164.
5. Лешкевич О.Н. Перспективы применения композитной арматуры. Материалы 3-го международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона». 2011.

6. Имомназаров Т.С., Аль Сабри Сахар А.М., Дирие М.Х. Применение композитной арматуры. Системные технологии. № 27. 2018. С.24-29.

7. Арматурный канат. Патент 2709571, Рос. Федерация: МПК E04 C 5/08 Накашидзе Д-К.Г., Березин П.Б., Накашидзе Б.В., №2018112285, заявл. 05.04.2018, опубл.18.12.2019, Бюл.№35.

8. Захват для натяжения арматуры: А.С. 435337 СССР: МКИ E04C 5/12 , Накашидзе Б.В., Кулиш В.И. (СССР). №1799529/29-14: заявл.20.06.72, опубл.05.07.74, Бюл. №25.

9. Кулиш В.И. Совершенствование несущих конструкций пролётных строений автодорожных мостов, напряжённо армированных стеклопластиковой арматурой. Диссерт. докт. техн. наук. Санкт- Петербург, 1993. С.73.

10. Устройство для анкеровки композитной арматуры. Патент 2613370 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12, Накашидзе Б.В., Березин П.Б., Накашидзе Д-К.Г., №2015145714, заявл. 26.10.2015, опубл.16.03.2017, Бюл.№8.

11. Устройство для анкеровки композитной арматуры. Патент ПМ 182818. Рос. Федерация: МПК E04C 5/12, СПК E04C 5/122, Накашидзе Д-К.Г., №2017141871, заявл. 30.11.2017 , опубл.04.09.2018, Бюл.№25.

References

1. Frolov N.P. «Fiberglass reinforcement and fiberglass concrete structures». M. Stroyizdat, 1980. P.104.

2. Mikhailov K.V., Vildavsky Yu. M. Effective types of reinforcement for reinforced concrete structures. M.: stroizdat, 1970. P. 181-208.

3. Nakashidze B.V. «The use of fiberglass reinforcement in glued wooden beams», abstract. dissertation of candidate of technical sciences, Minsk - Belarusian Polytechnic Institute, 1973. P. 28.

4. Nakashidze B.V. «Surveys and field tests wood-reinforced concrete road bridge after thirty years of operation», Vestnik Voronezh GASU, 2004. Issue №.1, P.158-164.

5. Leshkevich O.N. prospects for the use of composite reinforcement. Materials of the 3rd international Symposium «Problems of modern concrete and reinforced concrete», 2011.

6. Imomnazarov T.S., al Sabri Sugar A.M., Dirie M.H. Application of composite reinforcement. System technology. No. 27. 2018. P. 24-29.

7. «Reinforced Rope». Patent No.2709571, Russian Federation: IPC E04 S 5/08 Nakashidze D-KG., Berezin P.B., Nakashidze B.V., №.2018112285, application 04/05/2018, published on 12/18/2019, Bulletin №. 35.

8. «Reinforcement tension gripper»: A.S. 435337 USSR: MKI E04S 5/12, Nakashidze B.V., Kulish V.I. (USSR), № 1799529 / 29-14: application 20/06/72, published on 05/07/74, Bulletin№. 25.

9. Dissertation: «Improvement of load-bearing structures of span structures of road bridges, tightly reinforced with fiberglass reinforcement», Kulish V.I, Doctor of technical Sciences. St. Petersburg, 1993, P.73.

10. «Device for anchoring composite reinforcement», Patent 2613370 Russian Federation: IPC E04C 5/12, Nakashidze B.V., Berezin P.B., Nakashidze D-K.G., №.2015145714, application 10/26/2015, published on 03/16/2017, Bulletin №.8.

11. «Device for anchoring composite reinforcement», Patent PM 182818. Russian Federation: IPC E04S 5/12, SPK E04S 5/122, Nakashidze D-K.G., №. 2017141871, application 11/30/2017, published on 09/04/2018, Bulletin №.25.

Накашидзе Борис Васильевич – канд. техн. наук, инженер

Накашидзе Давид-Константинос Георгиос – магистр строительного факультета Римского университета Ла Сапиенца

УДК 624.15

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ПОДПОРНЫХ СТЕН

Н.Б. Буйлов, В.А. Шулекин*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Буйлов Никита Борисович,*

E-mail: Nikitabuilov@gmail.com

В данной статье рассматриваются конструкции, материалы, виды подпорных стен и технологии устройства подвальных и полуподвальных помещений в г. Воронеже. Основные виды подпорных стен, фундаментных блоков, кирпичных стен, стен из натурального камня, используемых при строительстве в Воронеже и Воронежской области, - это монолитные подпорные стены из железобетонных конструкций, монолитные стены, состоящие из свай, грунтоцементные конструкции и подпорные стены из тонкостенных конструкций. Выполнен анализ рациональности устройства подпорных стен в зависимости от их высоты и условий строительной площадки. Описаны конструкции и технологии новых видов подпорных стен из тонкостенных ребристых плит, резко снижающих трудоемкость и стоимость производства работ. Основным преимуществом железобетонных тонкостенных конструкций из сборных ребристых плит является низкий вес, высокая скорость их монтажа, высокое качество выполнения работ. Повторное использование Ж/Б конструкций, образующихся при сносе зданий, позволяет решить экологические проблемы.

Ключевые слова: технология устройства подпорной стены, рациональное строительство, повторное применение железобетонных конструкций

OVERVIEW OF THE MAIN TECHNOLOGIES FOR RETAINING WALLS

N.B. Buylov, V.A. Shulekin*

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84

**Corresponding author: Nikita B. Builov, E-mail: Nikitabuilov@gmail.com*

This article discusses the design, materials, types of retaining walls and technologies for the construction of basements and semi-basements in Voronezh. Main types of retaining walls used in the construction in Voronezh and Voronezh region: Foundation blocks, brick walls, natural stone walls is a monolithic retaining wall of reinforced concrete, monolithic walls consisting of piles, jet design and the retaining walls of thin-walled structures. The analysis of rationality of the device of retaining walls depending on their height and conditions of the construction site is performed. The article describes the design and technology of new types of retaining walls made of thin-walled ribbed slabs, which dramatically reduce the labor intensity and cost of work. The main advantage of thin-walled reinforced concrete structures made of precast ribbed slabs is their low weight, high speed of installation, and high quality of work. Reuse of Railway structures formed during the demolition of buildings can solve environmental problems.

Keywords: technology of retaining wall construction, rational construction, re-use of reinforced concrete structures

Введение. В настоящее время при строительстве возникают проблемы, связанные с условиями, возникающими на участках строительства, с гидрогеологическими условиями и стесненностью строительства в городских условиях.

1. Участок строительства может располагаться в плотной застройке, где невозможно устройство стандартного котлована;

2. Участок строительства находится на склонах.

Данные проблемы решаются устройством подпорных стен, которые могут являться одновременно стенами подвальных и полуподвальных помещений.

Все подпорные стенki разделяются на два типа: декоративные и укрепительные [15].

Декоративные. Используются в качестве архитектурно-художественного элемента. Широко применяются при террасировании естественных склонов с целью увеличения полезной площади для размещения элементов озеленения и благоустройства.

Укрепительные. Применяются для удержания грунта на уклонах местности и предупреждают обвал грунтов во время строительства либо служат одновременно в качестве фундаментов зданий, строящихся на склонах. Их внешний вид не имеет значения.

Со смешанными функциями. Применяются как укрепительные, но должны обладать привлекательной внешностью. Такое сооружение должно обладать, и высокой прочностью, чтобы выдерживать нагрузку от давления грунта, и радовать глаз эстетичным дизайном.

В качестве основных материалов для устройства подпорных стен используют [15]:

- Природный и искусственный камень считается одним из предпочтительных материалов в ландшафтном дизайне;

- Габионы представляют собой оцинкованную сетку с крупной ячейкой, при помощи которой образуют короб. Внутри этого короба находится камень. Служат как элемент ландшафтного дизайна и обладают отличной способностью дренировать воду.

- Бетонные блоки;

- Сборномонолитные и монолитные железобетонные конструкции.

- Грунтоцементные конструкции [2, 15];

- В последнее время для устройства подпорных стен используют каменные, бетонные и железобетонных конструкций, образующиеся при сносе здания [10].

Рассмотрим основные виды подпорных стен, используемых при строительстве в Воронеже и Воронежской области:

1. Фундаментных блоков, кирпичных стен, стен из натурального камня;
2. Монолитная подпорная стена из железобетонных конструкций;

3. Монолитная стена, состоящая из свай;
4. Грунтоцементные конструкции [2];
5. Подпорная стена из стенчатых конструкций [1, 9, 11, 12].

К настоящему времени накоплено обширное количество материала по способам возведения и основным конструкциям сооружения подпорных стен.

Первый вид подпорной стены – монолитная подпорная стена [16]. Выполняются из монолитного железобетона, при необходимости облицовываются (рис. 1). Эта стена предназначена для сдерживания грунта при строительстве или устройства ландшафтного дизайна на площадке. Иногда при небольшой высоте выполняют кладку из керамического кирпича или природного камня.



Рис. 1. Монолитная подпорная стена, облицованная искусственным камнем



Рис. 2. Подпорная стена из керамического кирпича



Рис. 3. Подпорная стена из природного камня

Преимущества подпорных стен небольшой высоты является отсутствие необходимости их расчета, декоративность и низкая стоимость, высокая долговечность.

При высоте подпорных стен от 1 до 3 м., при устройстве подвальных или полуподвальных помещений целесообразно устройство подпорных стен из железобетонных конструкций. Они могут быть монолитными железобетонными (рис. 4, 5, 6,7).

Каждый выбранный вид конструкции и технология устройства подпорных стен должен сопровождаться решением специалистов, и выполнением расчетов [3, 4, 5, 6, 7, 8, 14].

Для проведения расчетов требуется:

- 1) Топографический план;
- 2) Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий;
- 3) Проект строительства и благоустройства территории.

Анализ этих данных позволяет принять решение о выборе конструкции подпорной стены и выполнить технико-экономическое обоснование технологии производства работ.

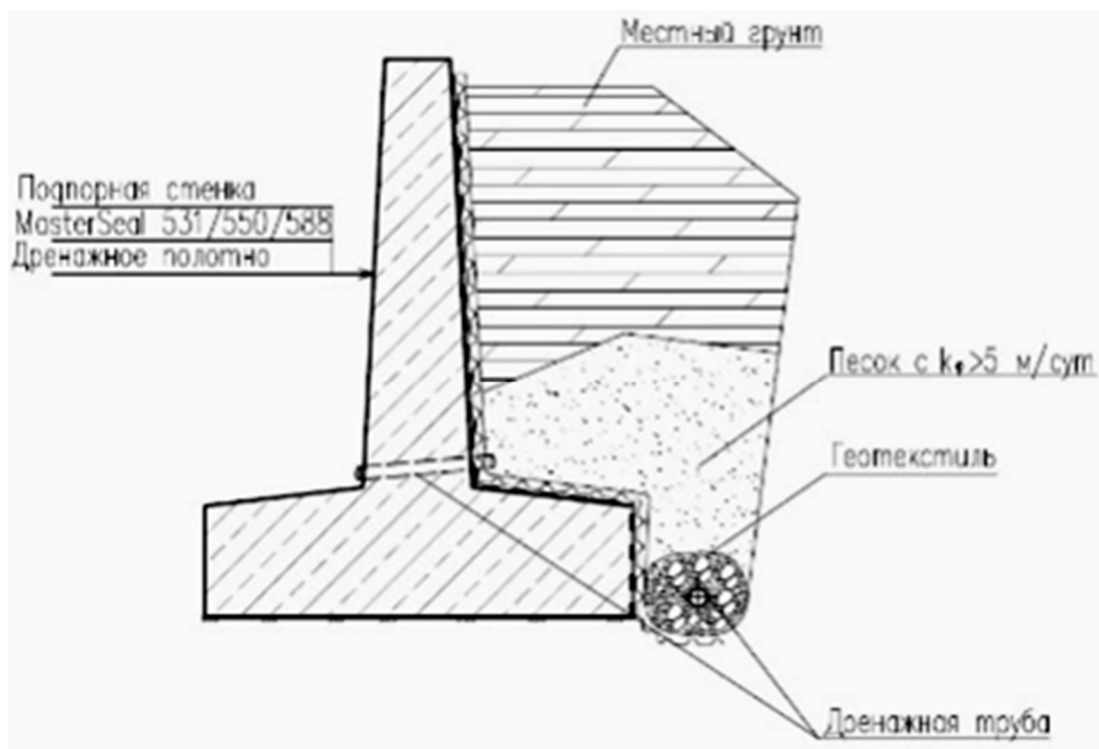


Рис. 4. Конструкции подпорной стены

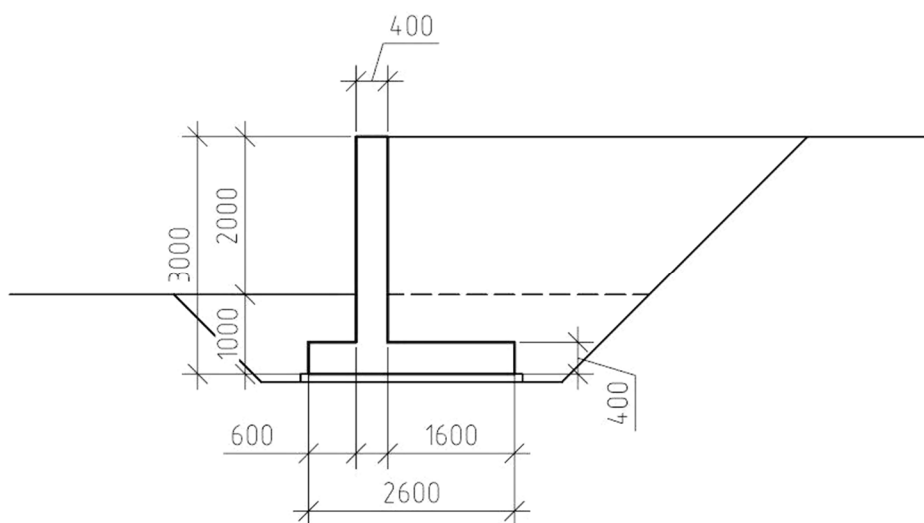


Рис. 5. Конструкции подпорной стены

Достоинства подпорных стен из монолитного железобетона является высокая надежность, к недостаткам можно отнести большую стоимость, трудоемкость производства работ. Длительность производства работ может привести к невозможности их выполнения из оползневых явлений, которые бывают на склонах.



Рис. 6. Подпорная стена из монолитного железобетона



Рис. 7. Подпорная стена углового типа из монолитного железобетона

Применение подпорных стен из сборномолитного железобетона позволяет резко снизить трудоемкость производства работ на строительной площадке и предотвратить оползневые явления из-за высокой скорости производства работ. Повторное использование сборных железобетонных ребристых плит, позволяет значительно удешевить строительство (рис. 8, 9).

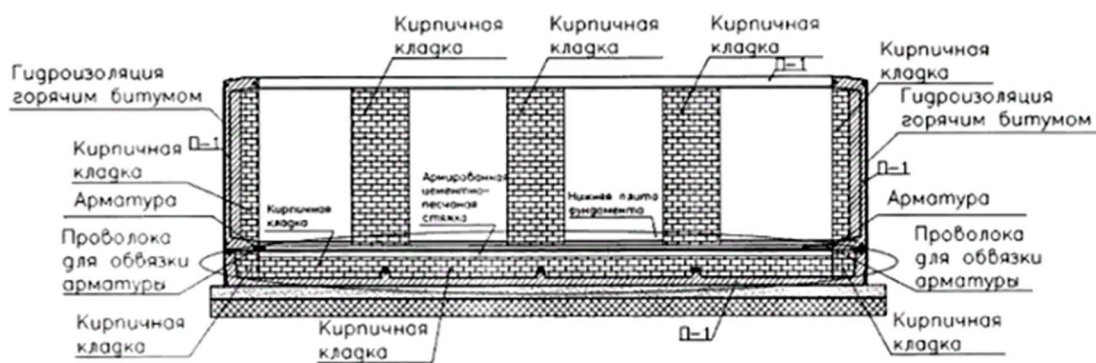


Рис. 8. Чертеж подпорной стены углового типа из ребристых плит перекрытия

Данный тип стенчатых конструкций не пользуется большим спросом у проектировщиков, так как использование Б/У железобетона влечёт за собой ряд проводимых обязательных мероприятий. Для того что бы Б/У железобетон отвечал нормативной документации необходимо полностью обследовать плиты и определить их прочностные характеристики и провести расчет на восприятие нагрузок от давления массива грунта и веса здания. Кажущиеся повышение трудоемкости проектно изыскательских работ позволяет в 6-8 раз снизить стоимость устройства подпорных стен, одновременно являющихся стенами подвальных либо полуподвальных помещений и соответственно стоимость строительства, следовательно, и стоимость квадратного метра построенных зданий. Несомненными плюсами повторного использования железобетонных конструкций, при устройстве подпорных стен, является значительное снижение выбросов CO_2 в атмосферу, что сразу же переводит наше строительство в экологическое. При устройстве такой стены мы экономим на стоимости бетона и устройстве опалубки.



Рис. 9. Подпорная стена из сборно-монолитного железобетона

При устройстве котлованов в плотной городской застройке рис. 6, где рытье котлована для устройства фундаментов может значительно повлиять на рядом стоящие здания (сооружения), что приведет к неравномерным осадкам фундаментов ранее построенных зданий, необходимо устройство самого дорогого вида подпорных стен из свай, которые могут быть забивные, буронабивные, инъекционные (рис. 10, 11).

Подпорные стены из свай, объединяются ростверком. Согласно другому подобному техническому решению фундаментные сваи изготавливают на месте путем бурения скважин, опускания в них арматурных каркасов с последующим бетонированием. Возведение таких подпорных стен достаточно трудоемко и требует применение дорогостоящего оборудования [15].

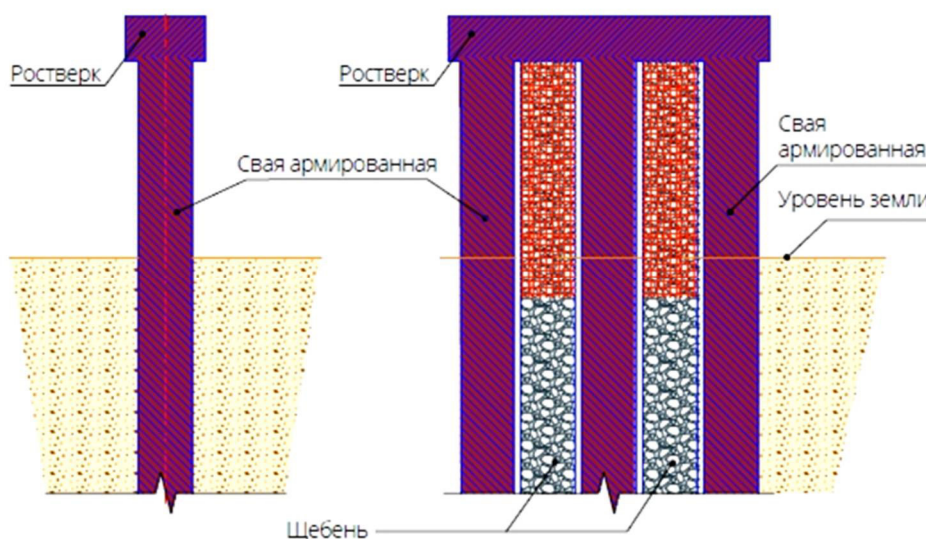


Рис. 10. Подпорные стены из свай

Перед устройством подпорной стены на сваях необходимо правильно определить характеристики разных слоев грунта и учесть последовательность напластования. Также следует принять во внимание сцепление почвы, уровень залегания грунтовых вод, глубину промерзания. Основным показателем, который влияет на параметры стены, является давление на изгиб, действующее на сваи со стороны фиксируемого грунта

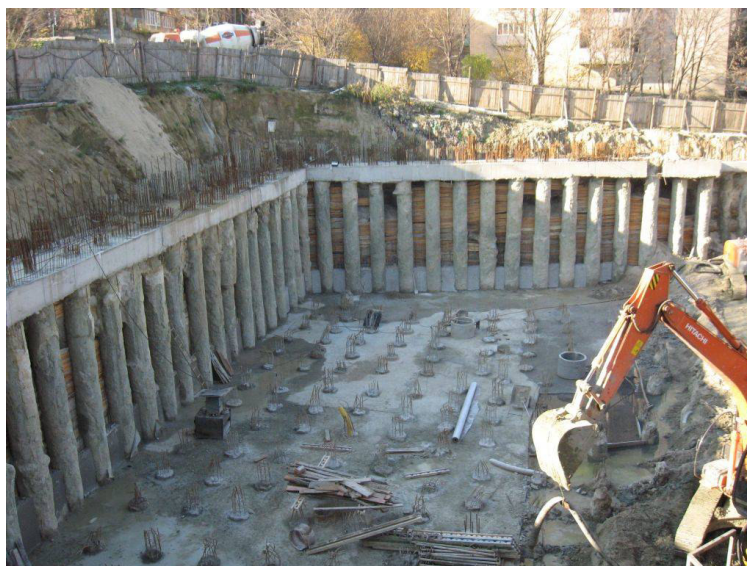


Рис. 11. Устройство подпорной стены на буронабивных сваях

Наиболее яркий пример устройства подпорной стены из свай – строительство торгового центра в центре г. Воронежа по ул. Кольцовской.

Для устройства большой подземной парковки под центром был необходим больших размеров котлован, чтобы избежать неравномерных осадок фундаментов рядом стоящих жилых зданий, использовали подпорную стену из буронабивных свай.

После вырытого котлована, использованные сваи, омонолитили и в настоящее время служат внутренними стенами парковки (рис. 12, 13, 14).



Рис. 12. Устройство подземной парковки плотной городской застройки



Рис. 13. Устройство подземной парковки в условиях плотной городской застройки

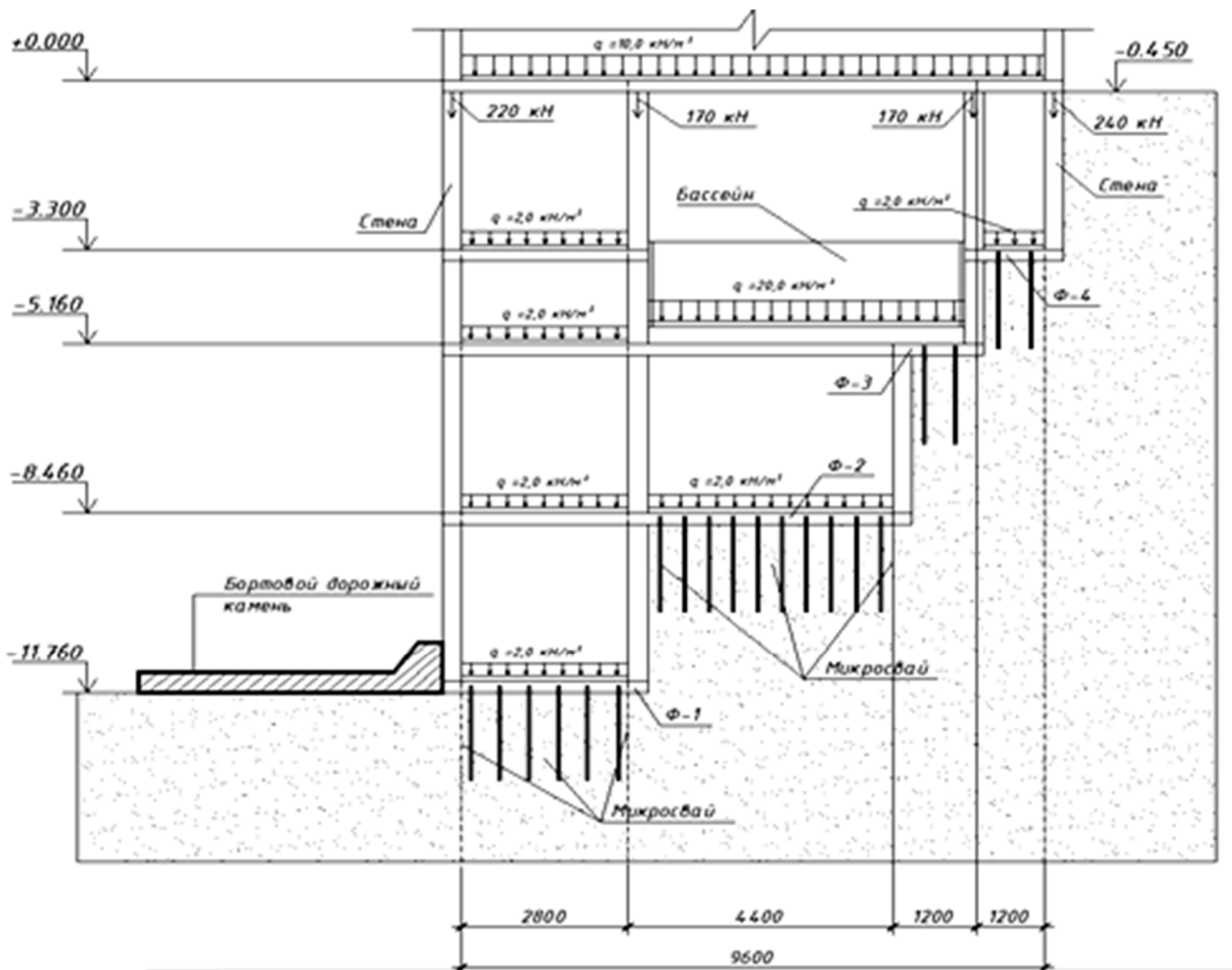


Рис. 14. Проектное решение конструкций фундамента с усилением плитами работающими совместно с микросваями

Плюсы данного вида подпорной стены:

- Возможность использования для глубоких котлованов;
- В условиях плотной городской застройки.

Минусы:

- Большая стоимость строительства.

Целесообразным необходимо считать совмещение свайных конструкций фундаментов с плитно-ребристыми конструкциями из повторно применяемых железобетонных ребристых плит [1,2,9,10,11,12]. Такой способ устройства подпорных стен, совмещающих функции стен подвальных помещений, был использован при проектировании и строительстве жилого дома по ул. Сиреневая д.1 (рис. 16, 17).

Программа GTX NX наглядно показывает, что выполнить подпорную стенку из монолитного железобетона – невозможно т. к. в процессе производства работ, произойдут оползневые явления, которую приведут к аварии. Устройство сборно-монолитных стенчатых (легких) подпорных стен из повторно примененных железобетонных конструкций позволило выполнить устройство подпорной стены быстро, дешево, надежно (рис. 15) [1].

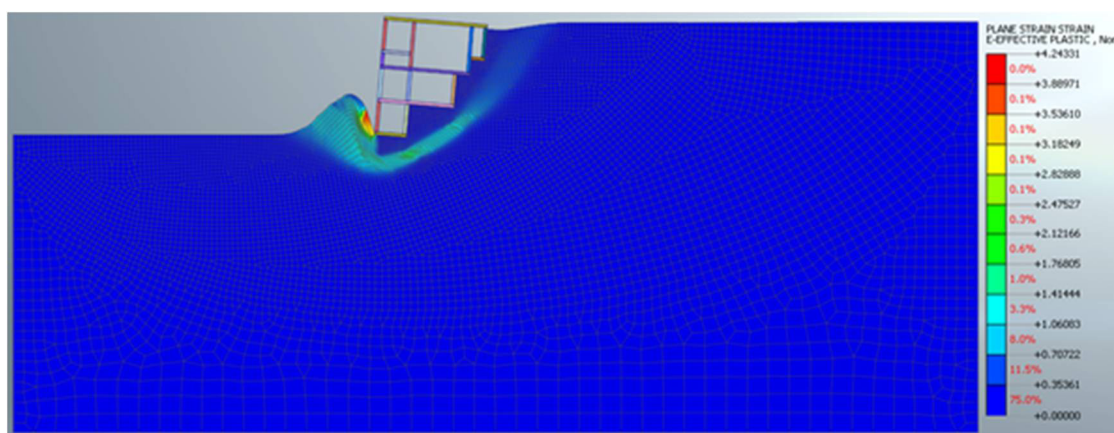


Рис. 15. Мозаика осадок и выпор грунта из-под подошвы грунта в деформированном состоянии



Рис. 16. Осмотр и выбор для повторного использования железобетонных конструкций



Рис. 17. Повторное использование железобетонных конструкций, при устройстве подпорных стен

Плюсы данного вида подпорной стены:

- Возможность монтажа в любых климатических условиях;
- Доступность на рынке (Низкая стоимость);
- Экологичность;
- Скорость монтажа.

Минусы:

- При устройстве данных подпорных стен необходимо провести обследование конструкций.

- Провести все необходимые расчеты.

Заключение. Рассмотренные технологии и конструкции подпорных стен, приведенные в данной статье, показывают, что они имеют свои преимущества и недостатки. Каждая конструкция может использоваться для конкретных гидро-геологических условий и зависит от места строительства.

Список литературы

1. Designing and Constructing Foundations on a Landslide Slope Zolotukhin S.N.1,a, Chigarev A.G.1, Abdulloev A.R.1.

2. Золотухин С.Н., Чигарев А.Г. К вопросу о цементации грунтов в воронежской области с применением крупнотоннажных отходов промышленности // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 90-92.

3. Ананьин А.И., Ким М.С. Расчет подпорных стен с использованием конечно-разностной схемы. Расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геолог. условиях // Межвуз. сб. научн. тр., Воронеж, 1999.

4. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности // дис...докт. геол.-мин. наук/ИК Фоменко. М.:, 2014.318 с.

5. Богомолов А. Н. и др. Новый критерий оценки длительной устойчивости однородных откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2009. №. 14. С. 5.

6. Леханова К.В., Новодзинский А.Л. Сравнение численных и аналитических методов расчета устойчивости грунтовых откосов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2011. № 1.

7. Соломин В.И., Шматков С.Б. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций. М. Стройиздат. 1986. 208 с.
8. Иконин С.В., Ким М.С., Баранник А.В., Токарев Е.В. Расчет армированных конусов дорожных насыпей на подходах к мостам. Геотехника Поволжья – 99 // Сб. тр. Междунар. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. Йошкар-Ола, 1999.
9. Патент на изобретение № 2647521. РФ. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия // Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. заявитель и патентообладатель. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» заяв. 06.03.2017г; опуб. 16.03.2018, Бюл. №8.
10. Золотухин С.Н., Лобосок А.С. Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2011. №. 1. С. 63-66.
11. Иконин С.В., Сухотерин А.В. Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями //Инженерно-строительный журнал. 2015. №. 3. С. 10-20.
12. Алейников С.М., Иконин С.В. Пространственная деформация поверхности упругого слоя переменной толщины // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1990. №. 5. С. 21.
13. Veryuzhskii Yu.V., Ikonin S.V., Savitskii V.V. Application of potential method in calculation of rigid foundations // Bases and foundations. Budivelnyk Kyiv. 1982. T. 15. С. 21-25.
14. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Взаимодействие зданий и оснований: Тетрадь №2 // Приложение к журналу «Реконструкция городов и геотехническое строительство» СПб: Стройиздат, 2002. 48 с.
15. СП 381.1325800.2018 Сооружения подпорные. Правила проектирования.

16. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства.

17. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями N 1, 2).

References

1. Designing and Constructing Foundations on a Landslide Slope Zolotukhin S. N. 1, a, Chigarev A.G. 1, Abdulloev A.R. 1.

2. Zolotukhin S.N., Chigarev A.G. On the issue of soil cementation in the Voronezh region with the use of large-capacity industrial waste //Scientific Bulletin of the Voronezh state University of architecture and construction. Series: High technology. Ecology. 2015. no. 1. P. 90-92.

3. Ananyin A.I., Kim M.S. Calculation of retaining walls using a finite-difference scheme. Calculation and design of bases and foundations in complex engineering-geologists. conditions // Mezhdunar. SB. nauchn. Tr., Voronezh, 1999.

4. Fomenko I.K. Methodology of assessment and forecast of landslide hazard / / dis.... Doct. GEOL. - min. of science / IK Fomenko. M., 2014. 318 p.

5. Bogomolov A.N. et al. A new criterion for evaluating the long-term stability of homogeneous slopes based on the analysis of the stress-strain state //Bulletin of the volgogr. state. archit.-builds. UN-TA. Series: Construction and architecture. 2009. №. 14. P. 5.

6. Lekhanova K.V., Novodzinsky A.L. Comparison of numerical and analytical methods for calculating the stability of soil slopes //Bulletin of the Perm national research Polytechnic University. Construction and architecture. 2011. no. 1.

7. Solomin V.I., Shmatkov S.B. calculation Methods and optimal design of reinforced concrete Foundation structures. 1986. 208 p.

8. Ikonin S.V., Kim M.S., Barannik A.V., Tokarev E.V. Calculation of reinforced cones of road embankments on approaches to bridges. Geotechnics of the Volga region-99 // SB. Tr. mezhdunar. Conf. on soil mechanics and Foundation construction-Yoshkar-Ola, 1999.

9. Patent for the invention № 2647521. Of the Russian Federation. A method for manufacturing solid slab foundations of a box-shaped section from ribbed slabs // Kolodyazhny S.A, Zolotukhin S.N, Abramenko A.A, Kukina O.B, Elmov A.Yu, Lobosok A.S, Milovanova V. Both the applicant and the patent holder. Federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh state technical University» of Russia. 06.03.2017 g; pub. 16.03.2018, bul. no. 8.

10. Zolotukhin S.N., Lobosok A.S. Reuse of construction materials and production waste in low-rise construction // Scientific Bulletin of the Voronezh state University of architecture and construction. Series: High technology. Ecology. 2011. no. 1. P. 63-66.

11. Ikonin S.V., Sukhoterin A.V. Construction of the Foundation plate with adjustable forces // Engineering and construction magazine. 2015. №. 3. P. 10-20.

12. Aleynikov S.M., Ikonin S.V. Spatial deformation of the surface of an elastic layer of variable thickness // Foundations, foundations and soil mechanics. 1990. №. 5. P. 21.

13. Veryuzhskii Yu.V., Ikonin S.V., Savitskii V.V. Application of potential method in calculation of rigid foundations // Bases and foundations. Budivelnyk Kyiv. 1982. Vol. 15. P. 21-25.

14. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Interaction of buildings and foundations: Notebook No. 2 // Appendix to the journal «Urban Reconstruction and geotechnical construction» Saint Petersburg: stroizdat, 2002. 48 p.

15. SP 381.1325800.2018 construction of retaining. The rules of design.

16. Guide to the design of retaining walls and basement walls for industrial and civil construction.

17. SP 43.13330.2012 Structures of industrial enterprises. Updated version of SNiP 2.09.03-85 (with Changes N 1, 2).

Буйлов Никита Борисович – студент 2-го курса магистратуры, группы мПВК-181 Воронежского государственного технического университета

Шулекин Виталий Александрович – студент 2-го курса магистратуры, группы мПВК-181 Воронежского государственного технического университета

УДК 543.68

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ПИГМЕНТОВ В ЦВЕТНЫХ ЦЕМЕНТАХ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

*О.В. Черноусова¹, Р.Г. Черепихина¹, Я.О. Рудаков^{*1,2}, К.Н. Стрункина²*

*¹Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

*²Воронежский государственный университет,
Российская Федерация, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1*

**Адрес для переписки: Рудаков Ярослав Олегович, E-mail: robi57@mail.ru*

Статья посвящена оценке стойкости пигментов в цветных цементах, которые все шире применяются в промышленном и гражданском строительстве. Цвет должен соответствовать эталону, установленному для каждого завода индивидуально. При этом определение такого важного эстетического параметра, как цвет происходит субъективно, отсутствует утвержденный инструментальный способ оценки. Предложено использовать цифровую цветометрию (ЦЦМ) с применением смартфонов для контроля стойкости цвета цементов, содержащих минеральные и органические пигменты. Для расчетов использовали шкалу цветности RGB и доступное программное обеспечение для смартфонов. Показано, что зависимости цветности цемента от содержания пигментов хорошо описываются полулогарифмическими функциями. Цвета портландцемента оценивали после предварительной тепловлажностной обработки и облучения ультрафиолетовой лампой. Применение ЦЦМ позволило дать количественную характеристику стойкости цвета.

Ключевые слова: цифровая цветометрия, цветовая модель RGB, портландцемент, пигменты, стойкость цвета

EVALUATION OF THE RESISTANCE OF PIGMENTS IN COLORED CEMENTS USING MOBILE DEVICES

*O.V. Chernousova¹, R.G. Cherepakhina¹, Ya.O. Rudakov^{*1}, K.N. Strunkina²*

¹*Voronezh state technical University, Russian Federation,*

394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya str., 84

²*Voronezh state University, Russian Federation,*

394018, Voronezh, Universitetskaya pl., 1

**Address for correspondence: Rudakov Yaroslav O., E-mail: robi57@mail.ru*

The article is devoted to assessing the stability of pigments in colored cements, which are increasingly used in industrial and civil construction. The color must correspond to the standard set for each plant individually. At the same time, the definition of such an important aesthetic parameter as color is subjective, there is no approved instrumental method of evaluation. It is proposed to use digital colorimetry (DCM) using smartphones to control the color stability of cements containing mineral and organic pigments. For calculations, we used the RGB color scale and available software for smartphones. It is shown that the dependence of cement color on the content of pigments is well described by semi-logarithmic functions. The colors of Portland cement were evaluated after preliminary heat and humidity treatment and irradiation with an ultraviolet lamp. The use of DCM allowed us to give a quantitative characteristic of color stability.

Keywords: digital colorimetry, RGB color model, portland cement, pigments, color fastness

Введение. Цветные пигменты для бетонов и цементов используют с 50-х годов XX века для достижения эстетического вида новых зданий и при осуществлении реконструкции уже существующих. Бетон с добавкой пигментов похож на традиционный и обладает достаточной прочностью, устойчив к внешним воздействиям. Ранее [1-4] изучены характеристики и классификация цветных пигментов, рассмотрены способы их использования, показано влияние пигментов на свойства бетона: плотность, впитываемость и прочность на сжа-

тие, значение модуля упругости бетона, долговечность, сопротивление истиранию и непроницаемость, водопоглощение и морозостойкость, параметры усадки цветного бетона [5,6]. Рассматривались первичное и вторичное выцветание готовых цветных бетонных изделий [7]. Известно, что применение пигментов увеличивает удельную стоимость бетона, а, следовательно, и стоимость строительства [4], поэтому актуальной задачей является поиск дешевых пигментов на основе отходов и шлама различных производств [8,9].

Цветные добавки в цементы и бетоны могут применяться для контроля воздействия на готовые конструкции высоких температур. Известно, что повышение температуры способствует уменьшению прочности на сжатие и растяжение бетонных конструкций. Так, исследователи [10] применяли смесь темно-фиолетового цвета, в составе которой диоксид марганца, дигидрофосфат аммония и фосфорная кислота. При достижении температуры 410° С цвет смеси менялся на серовато-желтый в результате испарения воды и выделения аммиака. Использовали соотношение 1, 3 и 5 % пигмента от общей массы белого цемента. Цветность цемента определяли в шкалах RGB и CIELAB.

Количественная оценка содержания цветных пигментов в окрашенных бетонах и строительных смесях является актуальной теоретической и практической задачей. По нормативным документам Российской Федерации (см. ГОСТ 15825-80 «Портландцемент цветной. Технические условия») цементы могут быть разного цвета. В составе портландцементов допускается содержание не более 15 % минерального, искусственного или природного пигмента или не более 0,5 % органического пигмента от общей массы. Окраска портландцемента проверяется на соответствие утвержденному эталону. В качестве такого эталона служит портландцемент или цементная покраска, утвержденный на отдельном предприятии. Цвет цемента и эталона сравнивают визуально, при этом они должны располагаться друг от друга на расстоянии не более 5 см. При эксплуатации и при воздействии окружающей среды цвет цемента и изделий из него может изменяться, что оказывает влияние на эстетическое восприятие. При этом в нормативных документах нет количественной оценки стойкости окраски цветных цементов и бетонов.

В работах [11-16] предлагается применять ЦЦМ с использованием, например, смартфонов как перспективный метод для быстрого и недорогого определения цвета цементов. Доказательством перспективности метода цветометрии служит значительный рост числа публикаций, начиная с 2000 года по настоящее время, в том числе в статьях Web of Science, Scopus, отражающих применение ЦЦМ в химическом и фармацевтическом анализе, для контроля качества и безопасности различных материалов [17-20]. Так, в работе [21] бетон с добавками пигментов был подвергнут излучению, имитирующим солнечное, а затем были оценены изменения цвета и структуры поверхности. Авторы работы доказали, что оценить изменение цвета бетона невооруженным глазом невозможно, найти же отличия смогли лишь с помощью цифрового анализа на компьютере. При измерении параметров цветности белых и цветных портландцементов с помощью ЦЦМ отсутствует субъективность, характерная при выполнении этой процедуры оператором, что дает возможность осуществлять полноценный количественный анализ. Достоинствами ЦЦМ являются помимо дешевизны и экспрессности еще и отсутствие требования специальных профессиональных навыков оператора, возможность архивации и передачи данных измерений, их обработки с помощью специальных программ.

Ранее оценивали содержание в портландцементе минеральных добавок, отличающихся по цвету от портландцемента без добавок [11, 13-16], используя цифровые фотокамеры, сканеры, а также смартфоны. В обзорных статьях отмечено [18-20], что смартфоны с цифровыми камерами схожи с цифровыми фотоаппаратами, к тому же являются миникомпьютерами, позволяющими выполнять обработку изображений непосредственно в гаджете. Они включают передающее устройство, фотокамеру и микропроцессор, дающий возможность хранить и оценивать информацию. Сейчас для смартфонов существует большое число программ для обработки цифровых снимков. Мобильность ЦЦМ с применением смартфонов позволяет проводить измерения в «полевых условиях» – в цехе, у ретейлера, на строительной площадке. В результате всего перечисленного число таких методик постоянно растет.

Целью работы являлось изучение возможности использования ЦЦМ с применением смартфонов для контроля стойкости пигментов в цементах к параметрам окружающей среды.

Экспериментальная часть

Для испытаний выбрали белый портландцемент М-400, ГОСТ 10178-85 (г. Старый Оскол). Для получения цветного цемента применяли красный минеральный пигмент (FEPREN TP303, Чешская республика), коричневый минеральный пигмент (железооксидный №686, КНР), краску сухую пигментную для побелки органическую желтого цвета (ТУ 6-15-757-12) и розовый органический пигмент (розовый FBB, КНР).

Образцы помещали под штатив на расстоянии 20 см от фотокамеры смартфона в помещении с искусственным освещением (140 ± 5 люкс). Цифровые изображения регистрировали на смартфонах Huawei P Smart. Условия съемки: постоянная автофокусировка, автоматический режим баланса белого, без вспышки. Файлы изображений обрабатывали в программе *Color Detector*. Значения цветности регистрировали в цветовой системе *RGB*.

Результаты и их обсуждение

Программа *Color Detector* позволяет вычислять значения цветности в нескольких цветовых шкалах: *RGB*, *Lab*, *HSB* и *CMYK*. Изображение в программе можно увеличивать, можно устанавливать баланс белого, сохранять результаты нескольких измерений.

Предварительно исследовали возможность контроля общего содержания тех же пигментов в цветных цементах. Найдено, что зависимость цветности цемента от содержания изученных пигментов адекватно описывается полулогарифмическими анаморфозами для всех трех компонент цветности F'_R , F'_G и F'_B (табл. 1). Только для цемента с желтым органическим пигментом зависимость цветности от содержания красителя описывается линейной функцией.

Для учета погрешностей определения параметров цветности F_R , F_G и F_B анализируемого образца, связанных с освещением и техническими характеристиками смартфона, использовали не сами значения интенсивности компонент цветности (F_i), а относительные величины F'_i , найденные по формуле (1), где $F_{i,e}$ – интенсивность компонент цветности образца сравнения ($BaSO_4$), зарегистрированные параллельно:

$$F'_i = F_i / F_{i,e} . \quad (1)$$

Например, относительная интенсивность компоненты F'_R для образца белого цемента без добавок пигментов $F'_R = F_R(\text{цемент}) / F_R(BaSO_4) = 209 / 227 = 0,92$. Цвет сульфата бария часто применяют в качестве стандартного белого цвета.

В табл. 1 представлены полученные градуировочные уравнения (2)-(13), по которым можно определять содержание пигмента в белом портландцементе.

Таблица 1

Градуировочные уравнения для определения содержания пигментов (%) в смеси с белым портландцементом, полученные с помощью смартфона

Пигмент	Градуировочное уравнение $F'_i = a - b X$, где $X = \ln \omega$	Коэффициент детерминации, R^2
Красный (0-15%)	$F'_R = 0.87 - 0.10X$ (2)	0.99
	$F'_G = 0.63 - 0.17X$ (3)	0.96
	$F'_B = 0.60 - 0.17X$ (4)	0.96
Коричневый (0-15%)	$F'_R = 0.77 - 0.17X$ (5)	0.98
	$F'_G = 0.66 - 0.19X$ (6)	0.98
	$F'_B = 0.64 - 0.19X$ (7)	0.97
Розовый (0-3%)	$F'_R = 0.95 - 0.03X$ (8)	0.95
	$F'_G = 0.94 - 0.02X$ (9)	0.99
	$F'_B = 0.94 - 0.02X$ (10)	0.99
Желтый (0-3%)	$F'_R = 1.00 - 0.02 \omega$ (11)	0.71
	$F'_G = 0.96 - 0.02 \omega$ (12)	0.89
	$F'_B = 0.94 - 0.05 \omega$ (13)	0.98

Таблица 2

Стойкость цвета портландцемента с добавками пигментов после испытаний,
предусмотренных ГОСТ 15825-80

Пигмент	Образец	F_i		
		F_R	F_G	F_B
красный	стандартный	76±4	28±2	16±1
	после тепловлажностной обработки	69±3	30±3	21±3
	стойкость цвета C, %	-9,2	4.2	28.4
	после УФ-облучения	74±2	28±1	17±2
	стойкость цвета C, %	-2.6	0	4.9
коричневый	стандартный	55±5	35±4	28±4
	после тепловлажностной обработки	37±5	22±5	19±5
	стойкость цвета C, %	-33.2	-35.6	-32.1
	после УФ-облучения	53±2	34±2	27±2
	стойкость цвета C, %	-5.1	-3.4	-4.3
желтый	стандартный	193±2	193±2	175±4
	после тепловлажностной обработки	189±4	188±4	171±6
	стойкость цвета C, %	-2.2	-2.8	-2.2
	после УФ-облучения	196±3	199±2	187±7
	стойкость цвета C, %	1.6	3.1	6.5
розовый	стандартный	169±2	168±3	163±2
	после тепловлажностной обработки	159±1	160±1	151±2
	стойкость цвета C, %	-5.8	-5.2	-7.4
	после УФ-облучения	181±2	184±3	177±3
	стойкость цвета C, %	7.2	9.1	8.2

В ГОСТ 15825-80 предусмотрен контроль стойкости цвета портландцемента после предварительной тепловлажностной обработки и облучения ультрафиолетовой лампой. При этом предполагается только визуальное сравнение со стандартным образцом. Нами предложено использовать ЦЦМ с регистрацией на смартфон, что позволяет устранить неточность и субъективность визуальной оценки, а также ввести количественные характеристики. Для контроля стойкости красителей вводили 15 % минеральных пигментов (в нашем эксперименте красного и коричневого) и 3% органических (т.е. розового и желтого) в цемент белого цвета. Для измерений подготовили по 6 образцов-лепешек окрашенного цемента нормальной густоты по ГОСТ 310.1-76 «Цементы. Методы испытаний». Две лепешки из них использовали в качестве контрольных образцов, две подвергали ультрафиолетовому облучению, а еще две испытывали с

помощью тепловлажностной обработки. Тепловлажностную обработку проводили следующим образом: через сутки после изготовления лепешек их помещали в емкость с водой на решетку, воду доводили до кипения, поддерживали кипячение в течение 4 ч. После охлаждения лепешки извлекали из воды, вытирали и удаляли пленку карбоната кальция 0.01 % раствором соляной кислоты, затем промывали водой и высушивали в сушильном шкафу в течение 2 ч при температуре не выше 60°C. Две другие лепешки через сутки после изготовления выдерживали под ультрафиолетовым облучением в течение 48 часов. При этом лепешки помещали на расстоянии 0,5 м от ртутно-кварцевой лампы, излучение которой направляли под углом 45 градусов.

Для количественной оценки стойкости цвета пигментов в цветном цементе вычисляли относительное изменение компонент цветности по формуле:

$$C = [(F_i - F_i(cm)) / F_i(cm)] \times 100\%, \quad (14)$$

где F_i – цветность компоненты R , G и B соответствующего образца цемента после тепловлажностной обработки или облучения под ультрафиолетовой лампой, $F_i(cm)$ цветность компоненты R , G и B соответствующего образца цемента, оставленного для сравнения как стандартный. Результаты представлены в табл. 2.

Цемент, окрашенный пигментом в красный цвет, наиболее значительно изменил цветность по синей компоненте цветности после тепловлажностной обработки и незначительно по той же компоненте после УФ-облучения. Коричневый пигмент стал значительно потемнел после тепловлажностной обработки, что проявилось во всех трех цветометрических характеристиках. Но, после УФ-облучения этот пигмент лишь немного потемнел, в среднем на 4%. Портландцемент, окрашенный в желтый цвет с помощью органического красителя, стал незначительно темнее после тепловлажностной обработки и немного светлее после воздействия ультрафиолетового света. Цемент розового цвета, окрашенный органическим красителем, посветлел после воздействия ультрафиолета в среднем на 8 % от первоначальной окраски и потемнел где-то на 6% после тепловлажностной обработки.

Заключение. Для количественной оценки стойкости цвета портландцемента с добавками пигментов может быть использована цифровая цветометрия, реализованная с помощью смартфонов и программного обеспечения по обработке электронных изображений в цветовой системе *RGB*. Она позволяет перейти от субъективного визуального сравнения с эталоном к инструментальной количественной оценке. Кроме того, ЦЦМ дает возможность документировать результаты и проследить динамику изменения цвета цемента в зависимости от влияния различных факторов (температуры, влаги, ультрафиолетового облучения). Представленный способ контроля цвета цементной продукции с использованием смартфонов характеризуется простотой получения отклика, невысокой стоимостью и быстротой анализа.

Список литературы

1. Hospodarova V. Color pigments in concrete and their properties / V. Hospodarova, J. Junak, N. Stevulova // Pollack Periodica. 2015. Т.10. № 3. С. 143-151. <https://doi.org/10.1556/606.2015.10.3.15>.
2. Pecur I. Influence of pigments on concrete properties / I. Pecur, S. Juradin, M. Duvnjak [и др.] // Beton-Technologie, Konstrukce, Sanace. 2009. Т.6. С. 66-69.
3. Uysal M. The use of waste maroon marble powder and iron oxide pigment in the production of coloured self-compacting concrete // Advances in Civil Engineering. 2018. Т. 2018. DOI: 10.1155/2018/8093576.
4. Yildizel S.A. Cost optimization of mortars containing different pigments and their freeze-thaw resistance properties / S.A. Yildizel, G. Kaplan, A.U. Öztürk // Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Т. 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5346213>.
5. Bruce S.M., Rowe G.H. The influence of pigments on mix designs for block paving units // Proceedings of the 4th International Conference on Concrete Block Paving. Auckland, New Zealand. 1992. Т.2. С. 117-124.
6. Lee H.S. Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks / H.S. Lee, J.Y. Lee, M.Y. Yu // Cement and Concrete Research. 2003. Т. 33. №.11. С. 1889-1896. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00209-6).

7. Sutan N.M., Sinin H. Efflorescence Phenomenon on Concrete Structures // *Advanced Materials Research. Trans. Tech. Publications Ltd.* 2013. Т. 626. С. 747-750. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.747>.
8. Nenadović S.S. Physicochemical, mineralogical and radiological properties of red mud samples as secondary raw materials / S.S. Nenadović, G. Mucsi, L.M. Kljajević [и др.] // *Nuclear Technology and Radiation Protection.* 2017. Т. 32. № 3. С. 261-266. <http://doi.org/10.2298/NTRP1703261N>.
9. Sadasivam S., Thomas H.R. Colour and toxic characteristics of metakaolinite-hematite pigment for integrally coloured concrete, prepared from iron oxide recovered from a water treatment plant of an abandoned coal mine // *Journal of Solid State Chemistry.* 2016. Т. 239. С. 246-250. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2016.05.003>.
10. Rajadurai R.S., Lee J.H. High temperature sensing and detection for cementitious materials using manganese violet pigment // *Materials.* 2020. Т. 13. № 4. С. 993. <https://doi.org/10.3390/ma13040993>.
11. Рудаков О.Б. Цифровой цветометрический контроль минеральных добавок в цемент / О.Б. Рудаков, Е.А. Хорохордина, С.М. Усачев [и др.] // *Химия, физика и механика материалов.* 2017. № 2. С.3-13.
12. Рудаков О.Б. Цифровой цветометрический контроль качества строительных материалов / О.Б. Рудаков, Е.А. Хорохордина, Е.Н. Грошев [и др.] // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения.* 2013. № 7. С. 104-120.
13. Бахметьев К.А. Цифровая цветометрия цементов с применением мобильных устройств / К.А. Бахметьев, В.Е. Гридяев, Д.Е. Степанов [и др.] // *Химия, физика и механика материалов.* 2018. № 2 (17). С. 110-120.
14. Рудаков О.Б. Цветометрический контроль цементов мобильными устройствами / О.Б. Рудаков, О.В. Черноусова, Т.О. Вострикова [и др.] // *Химия, физика и механика материалов.* 2019. № 3 (22). С. 35-48.
15. Черноусова О.В. Цифровая цветометрия сыпучих и полимерных материалов / О.В. Черноусова, Р.Г. Черепахина, С.О. Садыков [и др.] // *Инженерные системы и сооружения. Вып. 1 (38).* 2020. С. 37-45.

16. Рудаков О.Б. Цветометрическое определение минеральных примесей в цементах с использованием мобильных устройств / О.Б. Рудаков, О.В. Черноусова, Р.Г. Черепихина [и др.] // Аналитика и контроль. 2020, №2. С. 114-123. DOI: 10.15826/analitika. 2020. 24.2.003.

17. Рудаков О.Б. Тонкослойная хроматография и цветометрия в контроле фенольного индекса отделочных строительных материалов / О.Б. Рудаков, Е.А. Хорохордина, Чан Хай Данг // Строительные материалы. 2014. № 6. С.66-70.

18. Иванов В.М. Возможности и перспективы развития цветометрического метода в аналитической химии / В.М. Иванов, О.В. Моногарова, К.В. Осколок // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70. №10. С. 1011-1025. DOI: 10.7868/S0044450215100114.

19. Апяри В.В. Использование бытовых цветорегистрирующих устройств в количественном химическом анализе / В.В. Апяри, М.В. Горбунова, А.И. Исаченко [и др.] // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 11. С. 963-977. DOI: 10.7868/S0044450217110019.

20. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. №2. С.55-125.

21. Kulhavý P. Laboratory analysis of the main properties and a color stability of a coating layers under the UV loading / P. Kulhavý, E. Kaniová, V. Fliegel [и др.] // In MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2017. Vol. 89. С.01008. DOI: 10.1051/matecconf/20178901008.

References

1. Hospodarova V., Junak J., Stevulova N. Color pigments in concrete and their properties. Pollack Periodica, 2015, vol.10, no. 3, P. 143-151. <https://doi.org/10.1556/606.2015.10.3.15>.

2. Pecur I., Juradin S., Duvnjak M., Lovric T. Influence of pigments on concrete properties. Beton-Technologie, Konstrukce, Sanace, 2009, vol. 6, P. 66-69.

3. Uysal M. The use of waste maroon marble powder and iron oxide pigment in the production of coloured self-compacting concrete. *Advances in Civil Engineering*. 2018, vol. 2018. DOI:10.1155/2018/8093576.
4. Yıldız S.A., Kaplan G., Öztürk A.U. Cost optimization of mortars containing different pigments and their freeze-thaw resistance properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. vol. 2016. [http:// dx.doi.org /10.1155/2016/5346213](http://dx.doi.org/10.1155/2016/5346213).
5. Bruce S.M., Rowe G.H. The influence of pigments on mix designs for block paving units. *Proceedings of the 4th International Conference on Concrete Block Paving*. Auckland, New Zealand, 1992. vol. 2. P. 117-124.
6. Lee H.S., Lee J.Y., Yu M.Y. Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks. *Cement and Concrete Research*, 2003, vol.33, no.11, P.1889-1896. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00209-6).
7. Sutan N.M., Sinin H. Efflorescence Phenomenon on Concrete Structures // *Advanced Materials Research*. Trans. Tech. Publications Ltd, 2013, vol. 626, P. 747-750. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.747>.
8. Nenadović S.S., Mucsi G., Kljajević L.M., Mirković M.M., Nenadović M.T., Kristaly F., Vukanac, I.S. Physicochemical, mineralogical and radiological properties of red mud samples as secondary raw materials. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 2017, vol.32, no.3, P.261-266. <http://doi.org/10.2298/NTRP1703261N>.
9. Sadasivam S., Thomas H.R. Colour and toxic characteristics of metakaolin-ite-hematite pigment for integrally coloured concrete, prepared from iron oxide recovered from a water treatment plant of an abandoned coal mine // *Journal of Solid State Chemistry*, 2016, vol. 239, P. 246-250. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2016.05.003>.
10. Rajadurai R.S., Lee J.H. High temperature sensing and detection for cementitious materials using manganese violet pigment. *Materials*, 2020, vol.13, no. 4, P. 993. <https://doi.org/10.3390/ma13040993>.

11. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Usachev S.M., Khorokhordin A.M. Digital colorimetric control of mineral additives in cement. *Himiya, fizika i mekhanika materialov*, 2017, no. 2, P. 3-13 (in Russian).
12. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Groshev E.N., Tran Hai Dang, Selivanova E.B. Digital colorimetric control quality of construction materials. *Nauchnyj vestnik VGASU. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*, 2013, no.7, P. 104-120 (in Russian).
13. Bakhmetyev K.A., Gridiaev V.E., Stepanov D.E., Rudakov O.B. Digital colorometry of cements using mobile devices. *Himiya. fizika i mekhanika materialov*, 2018, no. 2 (17), P. 110-120 (in Russian).
14. Rudakov O.B., Chernousova O.V., Vostrikova T.O., Usachev S.M. Colorimetric control of cements by mobile devices. *Himiya, fizika i mekhanika materialov*, 2019, no. 3 (22), P. 35-48 (in Russian).
15. Chernousova O.V., Cherepakhina R.G., Sadykov S.O., Rudakov O.B. Digital colorimetry of bulk and polymeric materials. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*, 2020, no. 1 (38), P. 37-45. (in Russian).
16. Rudakov O.B., Chernousova O.V., Cherepakhina R.G., Rudakov Ya.O. Colorimetric determination of admixtures in cements using mobile devices. *Analytics and Control*, 2020, vol. 24, no. 2, P. 114-123. DOI: 10.15826/analitika.2020.24.2.003 (in Russian).
17. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Chan Hai Dang. Thin-layer chromatography and colorimetry for control of phenol index of finishing building materials. *Stroitel'nyye materialy*, 2014, no. 6, P. 66-70 (in Russian).
18. Ivanov V.M., Monogarova O.V., Oskolok K.V. Capabilities and prospects of the development of a chromaticity method in analytical chemistry. *Journal of Analytical Chemistry*, 2015, vol.70, no.10, P.1165-1178. DOI: 10.7868/S0044450215100114 (in Russian).
19. Apiary V.V., Gorbunova M.V., Isachenko A.I., Dmitrienko S.G., Zolotov Y.A. Use of household color-recording devices in quantitative chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*, 2017, vol. 72, no. 11, P. 963-977. DOI: 10.7868/S0044450217110019 (in Russian).

20. Chernousova O.V., Rudakov O.B. Digital images in analytical chemistry for quantitative and qualitative analysis. *Himiya, fizika i mekhanika materialov*, 2019, no. 2, P.55-125. (in Russian).

21. Kulhavý P., Kaniová E., Fliegel V., Vik M. Laboratory analysis of the main properties and a color stability of a coating layers under the UV loading. In *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017, vol. 89, C.01008. DOI: 10.1051/ matec-conf/20178901008.

Черноусова Ольга Валентиновна – канд. хим. наук, научный сотрудник кафедры химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета

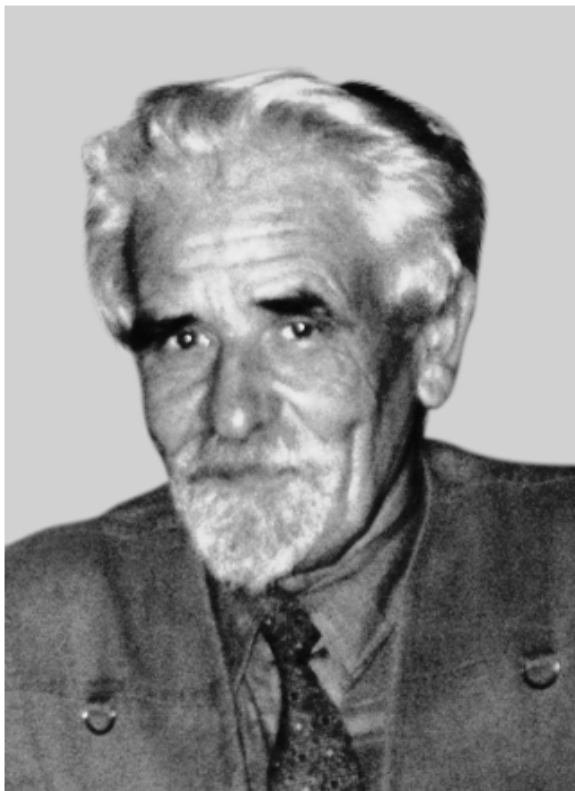
Черепихина Раиса Григорьевна – зав. лабораторией кафедры химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета

Рудаков Ярослав Олегович – инженер кафедры химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета, аспирант химического факультета Воронежского государственного технического университета

Стрункина Кристина Николаевна – магистрант химического факультета Воронежского государственного технического университета

ПЕРСОНАЛИИ

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА ЖУЛИНА ВИКТОРА МИХАЙЛОВИЧА



27 августа 2020 г. исполнилось бы 90 лет со дня рождения Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора химических наук, профессора Виктора Михайловича Жулина (27.08.1930-3.08.2003).

Это был выдающийся ученый в области физической органической химии и химии высоких давлений. Жулин В.М. родился в крестьянской семье в деревне Бежаново Нижегородской области. В 1953 г. он с отличием закончил Горьковский Государственный Университет и с 1 октября 1953 г. и до последних дней жизни (50 лет) занимался наукой в Институте Органической Химии им. Н.Д. Зелинского (ИОХ) АН СССР (сейчас РАН). После окончания аспирантуры, защиты кандидатской и докторской диссертаций Виктор Михайлович, работал заведующим Лабораторией химии высоких и сверхвысоких давлений (лабораторией №4), заместителем директора Института.

Интересна история, как он попал в ИОХ. После войны Екатерина Павловна Каплан (уже в то время заведующая аспирантурой ИОХ, эту миссию она выполняла в течение нескольких десятилетий) по поручению академика Несмеянова А.Н. много ездила по стране, отбирая лучших студентов для поступления в аспирантуру профильных химических институтов. Сохранились ее воспоминания об этом периоде жизни, опубликованные в журнале «Вестник Россий-

ской академии наук», где описывается следующий факт. Приехав в 1953 г в Горьковский госуниверситет, она увидела перспективного студента, которому она предложила работать в ИОХ. Но комиссия по распределению не согласилась с ее мнением. Причина, как рассказал один из старейших сотрудников Института, была в комсомольской характеристике, без которой не обходилось ни одно назначение в те времена. «Способен раздавить голой рукой стакан? Отлично, – сказала комиссии Екатерина Павловна. – Будет заниматься химией высоких давлений». Вернувшись в Москву, она сообщила об этом Несмеянову А.Н., тот ничего не ответил, но направил телеграмму ректору Горьковского университета, и Виктора Жулина распределили в аспирантуру ИОХ АН СССР.

В начале своего научного пути Виктор Михайлович прошел стажировки в США и Великобритании, прекрасно знал разговорный и научный английский язык. Это позволило ему свободно знакомиться с англоязычными публикациями, зарубежным научным сообществом, занимающимся его тематикой. В.М. Жулин легко воспринимал новые идеи, генерировал собственные гипотезы, умел тонко работать с коллективом. В.М. Жулин состоялся как яркий, талантливый исследователь, организатор научных исследований международного уровня.

В.М. Жулин со своими учениками изучал влияние давления на кинетику и термодинамику химических процессов, на возможности применения давления в тонком органическом синтезе, синтезе полимеров. Его исследования превосходно вписываются в направленность нашего журнала – химия, физика и механика материалов. Большое внимание в своих работах В.М. Жулин уделял роли растворителей и фазовых переходов при высоких давлениях в кинетике и механизме химических реакций. Профессор внес существенный вклад также в изучении химических процессов, проходящих в твердом теле в условиях высоких давлений и сдвига. Он один из первых отечественных ученых успешно применял хемометрические расчеты и компьютерные технологии в своих исследованиях. Его аспиранты ночами выполняли расчеты на громоздких ЭВМ в вычислительном центре Академии наук. Персональных компьютеров, как понимаете, в то время

не существовало, но математическая обработка экспериментальных данных, алгоритмы моделирования и оптимизации уже получили заметное развитие.

Виктор Михайлович является автором около 300 публикаций (книг, обзоров, статей, авторских свидетельств на изобретения). Актуальность его работ сохраняется, они до сих пор активно цитируются, как в отечественных, так и в международных изданиях, демонстрируя их высокий научный потенциал.

В.М. Жулин подготовил около двух десятков кандидатов наук, ряд из которых стали впоследствии докторами наук. Выпускники его научной школы работают в академических институтах Москвы, в вузах, институтах и наукоемких фирмах России, Германии, Канады, США.

В.М. Жулин пользовался высоким авторитетом и уважением среди коллег в ИОХ, был членом экспертного совета ВАК, членом редколлегии Журнала физической химии. В своей лаборатории он смог создать атмосферу доверия, уважения и научного творчества. Как заместитель директора Института он уделял большое внимание инструментальной базе, на которой работали химики – развитию техники высоких давлений, газохроматографического оборудования. Он занимал активную общественную позицию, например, не побоялся вместе с фронтовиком Шаховским Г.П. дать положительную партийную характеристику своему аспиранту, который высказал тогда мысль, что коммунизм не будет построен в ближайшее время (дело было в 1983 году), «так как человечество будет бесконечно долго стремиться к такому общественному строю».

Памяти таких людей, как Виктор Михайлович Жулин, посвящают научные конференции, семинары. Авторы персоналии об этом замечательном человеке гордятся тем, что вышли из его научной школы.

Рудаков О.Б., Сташина Г.А., Седишев И.П., Каботянская Е.Б., Яковлева И.И.

К ЮБИЛЕЮ ЧЕРЕПАХИНОЙ РАИСЫ ГЕОРГИЕВНЫ



Заведующей лабораторией Кафедры химии и химической технологии материалов (ХХТМ) Воронежского государственного технического университета Черепahiной Раисе Георгиевне 27 июля 2020 г. исполнилось 75 лет. Кроме обеспечения учебного процесса по химическим дисциплинам она активно занимается научной работой и хозяйственной деятельностью, являясь химиком-аналитиком высшей категории. Без надежных данных результаты исследований не могут корректно подтвердить теоретические изыскания и научные гипотезы, охарактеризовать качество и безопасность исследуемых сред и материалов.

Трудовой стаж Черепahiной Р.Г. начинается в 1967 г., с 22 августа этого года она приступила к работе учителем химии и биологии в Краснознаменской средней школе Калининградской области, с 1969 по 1970 гг. она работала учителем в школах Воронежской области и Воронежа.

Ровно 50 лет назад Раиса Георгиевна стала работать на кафедре химии Воронежского инженерно-строительного института (ВИСИ) старшим лаборантом, затем техником, а с 2005 г. заведующим лабораторией кафедры химии. За это время ВИСИ поменял статус на ВГАСА, а потом и ВГАСУ. В настоящее время ВГАСУ волился в опорный университет, объединившись с ВГТУ.

Одновременно с основной работой в лаборатории Черепahiна Р.Г. ассистирует на почасовой основе, проводит лабораторные и практические занятия со студентами бакалавриата, курирует научно-исследовательскую работу маги-

странтов, аспирантов, да и сама поступила в 2019 г. в очную магистратуру, чтобы не отставать от современного уровня материаловедения.

За годы работы на своей кафедре Черепяхина Р.Г. зарекомендовала себя как добросовестный сотрудник, умеющий организовать рабочий процесс и контролировать качество выполняемой работы в соответствии с поставленными задачами. Она обладает хорошими организаторскими способностями, творческим подходом к выполняемой работе. Имеет несколько научных публикаций в изданиях различного уровня, в том числе в журналах, индексируемых в международных базах.

Раиса Георгиевна ведет воспитательную и общественную работу со студентами – и в аудиториях, и в общежитиях. В былые времена (до 90-х годов) руководила студентами на сельхозработах и на предприятиях Воронежской области. Несколько раз избиралась профоргом кафедры, делегировалась на конференции трудового коллектива вуза.

Черепяхина Р.Г. непрерывно повышает свою квалификацию – изучает специальную научную, техническую и нормативную литературу по химии и материаловедению, анализирует и обобщает результаты своих научно-исследовательских работ. Для инженеров и лаборантов кафедры она ежегодно проводит мастер-класс по приготовлению лабораторных практикумов по общей, физической, органической, коллоидной, аналитической химии, по химии высокомолекулярных соединений и технике безопасности.

В коллективе поддерживает ровные дружеские отношения и пользуется уважением и авторитетом у руководства Университета, факультетов, других кафедр и настоящей любовью преподавателей и сотрудников кафедры ХХТМ.

За многолетний добросовестный труд, большой личный вклад в развитие Университета, в подготовку выпускников, за высокую результативность Черепяхина Р.Г. имеет неоднократные поощрения грамотами, дипломами от администрации вуза, Воронежа. За качественное и своевременное выполнение работы ей было присвоено звание «Ветеран труда» и «Почетный работник сферы образования».

Коллектив кафедры, администрация Университета поздравляет Раису Георгиевну Черепихину с 75-летием со дня рождения и 50-летием трудового стажа в нашем Университете и желает ей здоровья и дальнейших успехов на ниве высшего образования и науки, благополучия в семье.

Рудаков О.Б., Кукина О.Б., Колосов А.И., Небольсин В.А.

К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА САФРОНОВА ВЛАДИМИРА СЕРГЕЕВИЧА



4 октября 2020 года исполнилось 80 лет главному редактору журнала «Строительная механика и конструкции», выдающемуся учёному и педагогу, признанному специалисту в области динамического расчёта автодорожных мостов Сафронову В.С. Профессиональный путь доктора технических наук, профессора кафедры строительной механики Владимира Сергеевича Сафронова – прекрасный пример органичного сочетания научной, педагогической и инженерной деятельности. Во всех этих обла-

стях Владимир Сергеевич добился наивысших результатов:

- в науке – это развитие передовых направлений исследований, создание научной школы строительной механики, одной из лучших в стране;

- в педагогической деятельности – многолетнее руководство кафедрой, воспитание квалифицированных специалистов, создание новых актуальных дисциплин, основанных на собственных знаниях и опыте;

- в практической деятельности – обеспечение надёжной и безаварийной эксплуатации сотен мостовых сооружений.

Вся жизнь Владимира Сергеевича, включая студенческие годы, прошла в Воронеже, в стенах вуза ВИСИ – ВГАСА – ВГАСУ – ВГТУ: окончание с отличием строительного факультета в 1963 г., путь от ассистента до профессора (1963 – 1984), заведование кафедрами теоретической механики (1981 – 1987), строительной механики (1987 – 2009), активная деятельность как профессора кафедры строительной механики в настоящее время.

Свою кандидатскую диссертацию, посвящённую исследованию колебаний плитных систем при действии автомобильной нагрузки, Владимир Сергеевич защитил в 1970 г. в диссертационном совете Воронежского инженерно-строительного института, докторскую диссертацию на тему «Актуальные про-

блемы статики и динамики современных автодорожных мостов» – в 1984 г. в диссертационном совете Московского института инженеров транспорта.

В деятельности Владимира Сергеевича особенно выделяется сохранение и развитие традиций кафедры строительной механики, без которых её нельзя представить и которые сохраняются в памяти многих поколений инженеров на протяжении их последующей профессиональной жизни. То, что было создано учителями В.С. Костроминым, Я.Б. Львиным, А.Г. Барчёнковым, Н.М. Кирсановым, под руководством Владимира Сергеевича стало научной и методической базой для последующих исследований, воспитания новых специалистов и единомышленников в профессии.

Главными в научных исследованиях В. С. Сафронова являются два взаимосвязанных направления:

- вероятностный анализ колебаний мостов различных систем при движении транспортных потоков;
- развитие теории риска для оценки работоспособности строительных конструкций при сейсмических воздействиях и критических нагрузениях.

На этих направлениях под руководством В.С. Сафронова подготовлены и защищены 19 кандидатских и одна докторская диссертация. Его ученики сформировали нынешний состав кафедры строительной механики, а также успешно работают на других кафедрах опорного университета. Кандидаты наук, бывшие аспиранты Владимира Сергеевича – граждане Алжира, Вьетнама, Сирии.

По результатам своих исследований Владимир Сергеевич опубликовал более 250 научных работ: статей, монографий, учебных пособий, докладов на конференциях. В.С. Сафронов является руководителем ежегодной научно-практической конференции по строительной механике эксплуатируемых мостов. Большим интересом среди специалистов пользовались сборники статей, выпускаемые в течение многих лет под его научным редактированием. Сегодня это новый рецензируемый журнал «Строительная механика и конструкции», который в настоящее время рассматривается для включения в список ВАК по разделу «Строительство».

Владимир Сергеевич возглавляет научную и профессиональную школу воронежских строителей. Уникальные знания как инженера-профессора позволяют ему быть понятным и убедительным в любом кругу: среди учёных-исследователей, практических инженеров, в студенческой аудитории, на совещаниях хозяйственных руководителей. Инженерный кругозор, педагогический опыт позволили ему создать и возглавить наиболее прогрессивное на строительном факультете направление подготовки магистров «Теория и проектирование зданий и сооружений». За короткий срок на кафедре строительной механики подготовлена большая группа молодых высокообразованных специалистов – проектировщиков и исследователей, будущей опоры инженерного корпуса Воронежа.

Начиная с 1992 г. В. С. Сафронов входит в состав главного для нашего университета специализированного докторского совета по строительным специальностям и возглавляет направление научной аттестации по строительной механике. О его признании как специалиста свидетельствует утверждение в качестве заместителя председателя специализированного Совета по присуждению ученых степеней при ВГТУ

Как заведующий кафедрой В.С. Сафронов был неизменно безупречен. За годы его руководства кафедра строительной механики сохранила свои лучшие черты высокопрофессионального педагогического коллектива, постоянно находясь на передовых позициях строительной отрасли. Творческая и деловая атмосфера на кафедре поддерживалась высоким авторитетом её заведующего и общим пониманием значимости преподаваемых дисциплин. Владимир Сергеевич как никто умеет ценить научные успехи коллег. Ему присуще умение увидеть лучшие профессиональные качества и помочь реализоваться каждому работнику кафедры и даже учащимся.

В.С. Сафронов выполняет большой объём научных исследований на строящихся и эксплуатируемых мостах на территории России. Его руководство предприятием «Дормост», личное участие в мониторинге, диагностике, обследованиях и испытаниях сотен мостовых сооружений (в том числе через круп-

ные водные преграды: Волга, Дон, Днепр, Ворона, Воронеж, Сура и другие) являются заметным вкладом в устойчивость работы дорожной сети страны.

Нет сомнений, Владимир Сергеевич – лидер, созидатель, высоконравственная личность. Без этих качеств результаты, которых он добился, невозможны. Не вызывает сомнений, что своими усилиями он повлиял на качество образования не только прошлых и настоящих, но и, через своих учеников, будущих поколений выпускников нашего университета. Среди наград, которых он удостоен, мы, его коллеги, выделяем звание Заслуженного работника высшей школы РФ.

От имени коллектива Строительного факультета, всего коллектива кафедры выражаем Владимиру Сергеевичу глубокое уважение и признательность за многолетнее сотрудничество, уверенность в том, что он не остановится на своём профессиональном пути, желаем ему новых профессиональных достижений.

Козлов В.А., Габриелян Г.Е., Ефрюшин С.В., Панфилов Д.В.

БИБЛИОГРАФИЯ, ИНФОРМАЦИЯ

ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

«HANDBOOK OF NANOMATERIALS AND NANOCOMPOSITES

FOR ENERGY AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS»

Издательство «Springer» выпустило новый энциклопедический справочник «Hand book of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications», в котором опубликована работа академика Олега Фиговского «Изготовление наномембран новейшими методами» (Producing Nanomembranes by Novel Methods). В аннотации сообщается: «Membrane separation processes and novel separation science are not immature yet visionary avenues of science». Scientific endeavor in nano-filtration and nano-membranes needs to be readdressed and reenvisioned at each step of human research pursuit. This chapter provides mainly comprehensive overview of the current state-of-the-art polymeric nano-membranes. The main experimental results were carried out by academician Oleg Figovsky and his researchers in IRC Polymate (Israel).

С полным текстом главы можно ознакомиться по ссылке:
https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-11155-7_82-1.pdf

О.Б. Кукина

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Выпуск № 3 (26), 2020

Научный журнал

В авторской редакции

*Дата выхода в свет: 13.11.2020.
Формат 60×84 1/8. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 18,7. Уч.-изд. л. 13,9.
Тираж 500 экз. Заказ № 170
Цена свободная*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский проспект, 14

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84