

ISSN 2312-3028

**ПОЛИМЕРЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
научный Интернет-
журнал

**POLYMERS
IN CONSTRUCTION**
a scientific Internet-journal



<http://polymer.kgasu.ru>

№ 1 (13), 2025

E-mail: polymer.kgasu@yandex.ru

Научно-техническая поддержка

Казанский государственный архитектурно-строительный университет



Scientific and technical support

Kazan State University of Architecture and Engineering

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

EDITORIAL BOARD

Председатель редакционной коллегии

Chairman of the editorial board

ХОЗИН Вадим Григорьевич – главный редактор сетевого издания «Полимеры в строительстве: научный Интернет-журнал», Заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан, эксперт РОСНАНО, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета



KHOZIN Vadim Grigorjevich – chief editor of an online edition "Polymers in construction: a scientific Internet-journal", honoured Scientist of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, RUSNANO's expert, Doctor of Engineering, Professor, head of technology of building materials, products and structures Kazan State University of Architecture and Engineering

Члены редакционной коллегии

Members of the editorial board

АБДРАХМАНОВА Ляйля Абдулловна – заместитель главного редактора сетевого издания «Полимеры в строительстве: научный Интернет-журнал», доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета



ABDRAKHMANOVA Lyailya Abdullovna - deputy editor of the electronic scientific publications "Polymers in construction: a scientific Internet-journal", Doctor of Engineering, Professor, Department of Technology of building materials, products and structures Kazan State University of Architecture and Engineering

НИЗАМОВ Рашит Курбангалиевич – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Республики Татарстан, ректор Казанского государственного архитектурно-строительного университета



NIZAMOV Rashit Kurbangalievich - Doctor of Engineering, Professor, Honored Scientist of the Republic of Tatarstan, Rector of Kazan State University of Architecture and Engineering

СУЛЕЙМАНОВ Альфред Мидхатович – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе Казанского государственного архитектурно-строительного университета, член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан



SULEJMANOV Alfred Midhatovich - doctor of Engineering, Professor, vice-rector for research work of Kazan State University of Architecture and Engineering, a member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan

АМИРОВА Лилия Миниахмедовна – доктор химических наук, начальник монтажно-технологического отдела проектного института «Союзхимпромпроект» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева, профессор кафедры неорганической химии химического института КФУ



AMIROVA Liliya Miniahmedovna - Doctor of Chemical Sciences, Head of Assembly and Design Institute of Technology "Soyuzkhimpromproekt" Kazan National Research Technical University, Professor of department of Inorganic Chemistry, Chemical Institute KFU

АСКАДСКИЙ Андрей Александрович – доктор химических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий лабораторией полимерных материалов Института элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова Российской академии наук



ASKADSKII Andrei Aleksandrovich - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, head of laboratory polymeric materials A.N.Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences

ВОЛЬФСОН Светослав Исаакович – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Республики Татарстан, Лауреат государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники, заведующий кафедрой химии и технологии переработки эластомеров Казанского национального исследовательского технологического университета



VOLFSON Svetoslav Isaakovich - Doctor of Engineering, Professor, Honored Scientist of the Republic of Tatarstan, laureate of the State Prize of the Republic of Tatarstan in the field of science and technology, head of the department of chemistry and technology of processing of elastomers Kazan National Research Technological University

ГАЛИМОВ Энгель Рафикович – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Республики Татарстан, академик Российской экологической Академии, заведующий кафедрой материаловедения, сварки и



GALIMOV Engel Rafikovich - Doctor of Engineering, Professor, Honored Scientist of the Republic of Tatarstan, academician of the Russian Ecological Academy, Head of the Department of Materials Science, Welding and

производственной безопасности Казанского
национального исследовательского
технического университета им.А.Н.Туполева
(КНИТУ-КАИ)

industrial safety Kazan National
Research Technical University Tupolev
(KNITU-KAI)

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович - доктор
технических наук, профессор, заведующий
кафедрой строительных конструкций
Национального исследовательского
Мордовского государственного
университета им.Н.П.Огарева



SELJAEV Vladimir Pavlovich -
Doctor of Engineering, Professor, Head
of the Department of National Research
constructions Mordovia State University
im.N.P.Ogareva

**СИМОНОВ-ЕМЕЛЬЯНОВ Игорь
Дмитриевич** - доктор технических наук,
профессор кафедры химии и технологии
переработки пластмасс и полимеров
Московского государственного
университета тонких химических
технологий им.М.В.Ломоносова



**SIMONOV-EMELJANOV Igor
Dmitrievich** - Doctor of Engineering,
Professor of the Department of
Chemistry and Technology of plastic and
polymers, Moscow State University of
Fine Chemical Technology named after
MV Lomonosov

СТРОГАНОВ Виктор Федорович – доктор
химических наук, профессор, заведующий
кафедрой химии и инженерной экологии в
строительстве Казанского государственного
архитектурно-строительного университета



STROGANOV Victor Fedorovich -
Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Head of Department of Chemistry and
Environmental Engineering in the
construction of the Kazan State
University of Architecture and
Engineering

ПИЧУГИН Анатолий Петрович – доктор
технических наук, профессор, академик
Российской академии естественных наук,
декан факультета государственного и
муниципального управления
Новосибирского государственного аграрного
университета



PICHUGIN Anatolii Petrovich - doctor
of Engineering, Professor, academician
of the Russian Academy of Natural
Sciences, Dean of the Faculty of Public
Administration, Novosibirsk State
Agrarian University

СТАРОВОЙТОВА Ирина Анатольевна –
кандидат технических наук, помощник
проректора по НИР, докторант, председатель
Совета молодых учёных КГАСУ



STAROVOITOVA Irina Anatoljevna
- Ph.D., assistant rector for research,
doctoral candidate, chairman of Young
Scientists KSUAE

СОДЕРЖАНИЕ	стр./р.	CONTENTS
Предисловие редактора	6-8	Editor's Preface
Абдрахманова Л.А. <u>Студенческая научно-исследовательская работа – начало новых достижений и побед</u>	9-18	Abdrakhmanova L.A. <u>Student research work is the beginning of new achievements and victories</u>
Мурсалимова Д.Р., Семенова Д.А., Хантимиров А.Г., Исламов А.М. <u>Влияние дегазации на свойства экструдированных древесно-полимерных композитов</u>	19-25	Mursalimova D.R., Semenova D.A., Khantimirov A.G., Islamov A.M. <u>The effect of degassing on the properties of extruded wood-polymer composites</u>
Сучкова Е.А., Семенова Д.А., Хуснутдинов Р.Р., Хантимиров А.Г. <u>Особенности определения показателя истираемости для полимерных композитов</u>	26-31	Suchkova E.A., Semenova D.A., Khusnutdinov R.R., Khantimirov A.G. <u>Features of determining the abrasion index for polymer composites</u>
Морозова Н.Н., Гайнутдинов И.И., Гиззатуллин А.Р. <u>Бетонный лом в качестве наполнителя для высокопрочного цементного бетона</u>	32-39	Morozova N.N., Gaynutdinov I.I., Gizatullin A.R. <u>Concrete scrap as a filler for high- strength cement concrete</u>
Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Чумаков В.И., Садыкова А.И. <u>Влияние минеральных добавок на свойства песочного шлама</u>	40-48	Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Chumakov V.I., Sadykova A.I. <u>The effect of mineral additives on the properties of sand sludge</u>
Хузиахметова К.Р., Матвеев К.С., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. <u>Модификация наполненных ПВХ- композиций акрилонитрил-бутадиен- стиролом</u>	49-58	Khuziakhmetova K.R., Matveev K.S., Abdrakhmanova L.A., Nizamov P.K. <u>Modification of filled PVC compositio ns with acrylonitril-butadiene-styrene</u>
Кузнецова Г.В., Садыкова А.И. <u>Модификация известково-кремнеземистого вязущего добавкой боя неокрашенного стекла</u>	59-68	Kuznetsova G.V., Sadykova A.I. <u>Modification of calcium-siliceum binding by addition of uncolored glass sharding</u>

Уважаемые читатели-коллеги!

Перед Вами тринадцатый номер интернет-журнала «Полимеры в строительстве» (первый вышел в 2014 г.). Этот номер выходит в год 40-летия нашей кафедры, он не ставит своей целью подвести итоги нашей публикационной работы, а, скорее, рассказывает о некоторых научно-исследовательских работах самой молодой части нашего коллектива – студентах.

Здесь представлены лучшие научные труды студентов нашей кафедры, выполненные в этом юбилейном году. «Студенческая» наука – традиция, заложенная более 50-ти лет назад проф.Воскресенским В.А. – основателем кафедры пластических масс КИСИ, первой среди десятков строительных вузов Советского Союза. Подробнее об этом расскажет в своей статье проф.Абдрахманова Л.А., его талантливая ученица и продолжатель его школы ПВХ.

Нынешняя ситуация вовлечения студентов в науку сложнее, чем в былые времена. И дело не в ущербной системе двухуровневого образования, навязанного России Западом после развала СССР, обладающим лучшим образованием в мире. Изменились жизненные приоритеты у граждан России с ещё не определившимся социально-экономическим укладом государства, в котором частная собственность стала основой экономики, а «кэшбек» - привлекательной приманкой в повседневной жизни, материальный уровень которой неадекватен уровню профессионального образования россиянина. Наиболее отчётливо это проявляется в высшей школе, низкий уровень зарплаты работников которой в сравнении с производственными отраслями и, особенно, сферой услуг и торговли, привёл к тому, что вузы перестали быть притягательным местом трудоустройства для талантливых и энергичных людей («рыба ищет, где глубже, а человек – где лучше!»). И пока ситуация с оплатой труда преподавателей: ассистентов, старших преподавателей, доцентов и профессоров (они же кандидаты и доктора наук) не изменится, то есть не восстановится материальный стимул работать в науке (а она сосредоточена, в основном, в вузах), до тех пор будет падать стремление молодёжи к научной деятельности. А это ведёт к снижению притока в аспирантуру, с одной стороны, и к уходу из вузов молодых кандидатов и

докторов наук в производственную сферу или, реже, в административные структуры.

Для России, как государства, это опасный симптом надвигающегося ослабления кадрового потенциала вузов. А ведь давно известно, что богатство и могущество нации в нынешнее время определяется не природными ресурсами и даже не капиталом, а знаниями, и их носителями и генераторами - людьми с высшим образованием: учёными, учителями, врачами, инженерами и другими специалистами. «Поэтому центр тяжести в политическом, военном и экономическом противостоянии мировых держав всё сильнее смещается в сферу высшего образования» - это из доклада комиссии Сената президенту США ещё в 1963-м г. И далее: «страна, не обладающая системой образования, способной подготовить кадры высшей квалификации, неизбежно отстаёт в технике и технологиях. В политическом соперничестве она не имеет шансов на успех!». Это было заявлено тогда, когда Советский Союз с самой лучшей системой образования запустил первый искусственный спутник Земли и Юрий Гагарин стал первым космонавтом, а инженеры, конструкторы и учёные с советским образованием создали самое мощное в мире оружие, ядерную триаду, которая обеспечивает оборону и независимость нынешней России, её политический суверенитет.

В этой связи весьма актуально следующее сообщение у входа в Стелленбосский университет (ЮАР): «Уничтожение любой нации не требует атомных бомб или использования ракет дальнего радиуса действия. Требуется только снижение качества образования и разрешения обмана на экзаменах учащимися.

Пациенты умирают от рук таких врачей.

Здания разрушаются от рук таких инженеров.

Деньги теряются от рук таких экономистов и бухгалтеров.

Справедливость утрачивается в руках таких юристов и судей».

Напомню, что уровень зарплаты преподавателей с учёными степенями кандидатов и докторов наук в СССР был намного выше, чем во всех других сферах народного хозяйства. При сохранении нынешней ситуации с оплатой труда работников государственного высшего образования в России, процесс его деградации становится неизбежным. В этом случае декларации о технологическом суверенитете нашей страны окажутся пустым звуком.

Однако... Для истории России характерны как глубокие падения, так и удивительные взлёты. Поэтому «рано или поздно» (а лучше - раньше!) возобладает разум в руководстве страны, и высшее образование в нашей

стране вернётся на подобающее ей высокое место в структуре нашего государства.

Основой для оптимизма является студенчество, с присущим ему стремлением к знаниям, к поиску нового. Тем более, что у нашей молодёжи генетически заложены творческая энергия, природный ум, трудоспособность и бойцовский характер. А эти свойства – главные для исследователя, для человека науки.

Возвращаясь к общей теме нашего журнала – полимерам в строительстве и применению отходов промышленности в производстве различных строительных материалов, должен сказать, что только материалы обеспечивают реализацию всех разработок и проектов во всех областях техники. В то же время огромный мир материалов, в том числе строительных, столь же широк как Тихий океан и глубок как Марианская впадина в нём, или сверглубокая скважина на Кольском полуострове.

Исследование структуры материалов, способов управления ею, выявление связи свойств со структурой – это научная основа всех технологий создания новых материалов и изделий из них. Работы наших студентов выполнены в этом ключе и дай Бог им желание (а силы тогда найдутся!) продолжить свой путь в науке и, возможно, в высшем образовании.

Желаю здоровья и успехов.



Главный редактор В.Хозин
д.т.н., профессор,
Заслуженный деятель науки РФ и РТ,
заведующий кафедрой технологии
строительных материалов, изделий
и конструкций Казанского ГАСУ

АБДРАХМАНОВА Ляйля Абдулловна

д.т.н., профессор Казанского
государственного архитектурно-
строительного университета, Казань,
Россия,
laa@kgasu.ru

ABDRAKHMANOVA Lyayla A.

Doctor of Engineering, professor, Kazan State
University of Architecture and
Engineering, Kazan, Russia,
laa@kgasu.ru

**СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА –
НАЧАЛО НОВЫХ ДОСТИЖЕНИЙ И
ПОБЕД**

**STUDENT RESEARCH WORK IS THE
BEGINNING OF NEW ACHIEVEMENTS
AND VICTORIES**

Основная миссия кафедры - подготовка высококвалифицированных кадров с глубокими знаниями в сфере технологии производства и применения материалов, изделий и конструкций в строительстве современных гражданских и промышленных зданий и сооружений.

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций (ТСМИК), которой в этом году исполнилось 40 лет, является выпускающей. До 2015/16 уч.г. готовила специалистов-инженеров для производства строительных материалов, изделий и конструкций по трем специализациям:

- производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций – ПБЖК (открыта в 1953 году);
- производство стеновых, отделочных и изоляционных изделий и материалов – ПСОИИМ (открыта в 1965 году);
- технология строительной керамики – ТСК (открыта в 2000 году).

С 2011 года начата подготовка бакалавров по профилю – Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций. С 2013 года велась подготовка магистров по программе «Структурообразование и технология цементных бетонов». С 2015 года начата подготовка магистров по программе: «Полимерные строительные композиты и нанокompозиты». В настоящее время подготовка магистров по направлению 08.04.01 ведется по профилю «Инновационные материалы, изделия и конструкции в строительстве».

Сейчас на кафедре обучение студентов ведется на следующих направлениях подготовки:

- 08.03.01 «Строительство», профиль бакалавриата «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций» (ППСМИК);
- 08.04.01 «Строительство», профиль магистратуры «Инновационные материалы, изделия и конструкции в строительстве»;

Аспирантура на кафедре открыта по научным специальностям 2.1.5 «Строительные материалы и изделия» и 2.6.11 «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

Студенческая научно-исследовательская работа (НИРС) всегда была и остается одной из самых важных составляющих образовательного процесса на

нашей кафедре. Формы организации НИРС могут быть совершенно разные. Это и доклады, написание рефератов, выполнение курсовых проектов с элементами научного поиска. Такой работой занимаются практически все студенты, у нас есть так называемая УНИРС – это учебная научно-исследовательская работа студентов, которая входит в расписание аудиторных занятий, является обязательной формой обучения студентов бакалавриата. Наука в учебном процессе – традиционная особенность учебного процесса, заложенная впервые в нашем вузе основателем кафедры пластических масс проф. Воскресенским В.А. Эта форма обучения студентов была целой эпохой в научной жизни нашего вуза, небывалого до этого энтузиазма, вовлекшего в научную деятельность через студенческую научно-исследовательскую работу, а затем, аспирантуру десятки активных, талантливых молодых людей, жаждущих новых достижений и, конечно, ученых степеней. Воскресенский В.А. впервые в нашем вузе ввел вначале добровольную, а затем и обязательную учебную научно-исследовательскую работу студентов, что перевело лаборатории нашей кафедры почти в круглосуточный режим работы с полной загрузкой приборов, установок, рабочих мест. Для немалого числа студентов это стало стартом для последующего выполнения дипломных научно-исследовательских работ.

Здесь основная задача заинтересовать студентов формами научной деятельности и желанием проводить собственные научные эксперименты по различным перспективным направлениям, которые могут предложить им преподаватели и аспиранты кафедры.

В дальнейшем студенты бакалавриата защищают выпускные квалификационные работы с элементами научных исследований, которые являются собственными результатами, перспективность которых неизбежно приводит к продолжению тематики работы в процессе обучения в магистратуре. Студенты 3 и 4 курсов практически полностью охватываются научной работой в лабораториях кафедры по линии дисциплин: «Исследование строительных материалов на основе неорганического сырья» и «Исследование строительных материалов на основе органического сырья». Таким образом, научно-исследовательская работа преподавателей, аспирантов и уже «избранных» студентов разноплановая, но, естественно, объединена строительными материалами и технологиями.

Общее научное направление кафедры – Разработка новых и модификация существующих строительных материалов и наилучших доступных технологий их производства и переработки в изделия и конструкции, отвечающих критериям энергосбережения и минимуму негативного воздействия на окружающую среду (НВОС), а также принципам экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ).

Хочу более подробно остановиться на достижениях студенческих научно-исследовательских работ в последние годы, можно сказать, подвести некоторый итог в год 40-летнего юбилея нашей кафедры.

Сейчас научные разработки кафедры направлены на реализацию ресурсосберегающих технологий в производстве строительных материалов,

изделий и конструкций в соответствии со стратегией наилучших доступных технологий и экономикой замкнутого цикла, на разработку материалов и технологий, которые удовлетворяют требованиям инновационности в строительстве. Наиболее востребованными сегодня являются технологии и строительные материалы, связанные с энергосбережением, использованием вторичного сырья и техногенных отходов, развитием исследований в приоритетных направлениях экономики. Именно в таких направлениях к работе подключаются и студенты, как бакалавриата, так и магистратуры.

Постоянно проводится работа по актуализации программы магистратуры «Инновационные материалы, изделия и конструкции в строительстве». Введены новые дисциплины, в том числе по основам 3D-технологии в строительном материаловедении. Делается упор на активное обучение (что является одним из признаков инновационной технологии в образовании), то есть увеличение количества магистерских диссертаций, направленных на методы исследования, сбор и обобщение результатов. Именно магистерские диссертации, в основном, являются приоритетными в конкурсах по ВКР.

Продолжается внедрение нанотехнологий в научно-исследовательский и образовательный процессы. В частности, развиваются работы по применению новых видов наномодификаторов из числа промышленных отходов в составе полимерных композитов, разрабатываются новые инновационные решения с использованием наноструктур. Введена новая дисциплина в программу бакалавриата «Введение в нанотехнологии». Эта дисциплина является предшествующей для изучения дисциплин профессионального цикла, в основном, в рамках обучения в магистратуре.

Научные интересы кафедры неразрывно ориентированы на решение проблем, связанных с развитием сырьевой базы РТ, с разработкой новых эффективных строительных материалов и технологий. Это отражается в дипломных научно-исследовательских работах и в проектах «с реконструкцией» по заказам предприятий.

Будущие технологи-строители защищают как традиционные инженерные проекты, так и дипломные научно-исследовательские работы, причём доля последних составляет 20-25%. Особую актуальность приобретают инновационные дипломные проекты по разработкам кафедры, представляющие интерес для последующего освоения технологий. Такое направление в дипломном проектировании продиктовано современными условиями развития строительной индустрии.

Например, студент Закиров Карим отлично выступил на международной олимпиаде по специальности и отлично презентовал свою выпускную работу на актуальную тему при защите ВКР «Производство бетонных смесей на основе цементов низкой водопотребности».



Показателями участия студентов в научной работе, отражающими их активность и эффективность работы научных руководителей, являются результаты проводимых в вузе, Республике и Российской Федерации научно-технических конференций, профессиональных межвузовских олимпиад и конкурсов научных работ. Только за последние годы в таких научных «состязаниях» в г.Казани, Самаре, Иванове, Белгороде, Санкт-Петербурге, Воронеже, Пензе, Новосибирске участвовало более 94 студентов, завоевавших медали, дипломы, премии и почётные грамоты, в т.ч. Госстроя РФ.

Ежегодно дипломные работы наших выпускников выставляются на межвузовские смотры-конкурсы и редко не получают призовых мест. Часть из «научных» выпускников, рекомендованных ГЭК в аспирантуру, остаются на кафедре и защищают диссертации, многие из них становятся преподавателями родного вуза.

Конкурс выпускных квалификационных работ и дипломных исследований играет ключевую роль в поддержке и развитии научного потенциала студентов, способствуя высокому качеству образования и научных исследований. Участие в конкурсе стимулирует студентов к созданию инновационных и актуальных проектов, что способствует развитию критического мышления и аналитических навыков. Конкурс становится отличной возможностью продемонстрировать свои научные достижения, установить новые связи.



На этом фото - студенты бакалавриата и магистратуры – победители последней (2025 года) Международной студенческой олимпиады по профилю "Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций" в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете вместе с кураторами доц. Колесниковой И.В и доц. Солдатовым Д.А.

Все 3 студента бакалавриата Нугуманова А., Закиров К. и Сучкова Е. (вы их видите на фото) заняли первые 3 места на олимпиаде. Они все поступили в магистратуру на бюджетной основе. Все 3 студента магистратуры Шадрин Д., Валиева Д., Нестерова К. (на фото они справа) также заняли первые призовые места и все трое перешли на следующую ступень научного образования – поступили в аспирантуру. Вот это и есть преемственность поколений.

Надо отметить, все они достигли таких результатов не на пустом месте. Например, Шадрин Д. – отличник учебы, занял 1 место на олимпиаде, еще обучаясь в бакалавриате, а затем снова завоевал 1 место уже на олимпиаде уровня магистратуры.

Валиева Диляра занималась научно-исследовательской работой, начиная почти с 1 курса обучения в бакалавриате. Очень разносторонний и квалифицированный экспериментатор, к тому же умеющий донести свои достижения до широкого круга научной общественности. Она - победитель в конкурсе Стипендии Академии наук РТ, конкурса НИР на соискание именных стипендий Мэра г.Казани среди студентов и аспирантов, Республиканского конкурса «Инженер года», обладатель стипендий Президента РФ и Правительства РФ. Имеет много публикаций, в том числе в журналах из Перечня RSCI и ВАК. Участник Всероссийского молодежного научного

форума «Наука будущего – наука молодых» в Самаре в 2024 году. В том же году ее работа заняла 1 место в конкурсе ВКР АСВ г. в номинации «НИР бакалавра в области производства и применения строительных материалов, изделий и конструкций».

Ксения Нестерова – опытный исследователь и уже несколько лет штатный работник кафедры. Она освоила работу на новом приборе по изучению реологических свойств водно-минеральных дисперсных систем. Стажировалась в Иркутском национальном исследовательском техническом университете.

В этом 2025 году на кафедре прошли защиты выпускных квалификационных работ более 30 студентов-магистрантов направления подготовки «Строительство» по профилю «Инновационные материалы, изделия и конструкции в строительстве», что еще раз подчеркивает актуальность направления подготовки и интерес к профилю. Работы заслушала государственная экзаменационная комиссия во главе с председателем, профессором КНИТУ им.А.Н.Туполева Э.Р.Галимовым.



После защиты магистерских ВКР с членами ГЭК

Представленные комиссии работы охватывают широкую область производства и применения различных строительных материалов, изделий и конструкций. Особое внимание уделяли разработке составов и модификации эпоксидных полимеров, цементных вяжущих, сухих смесей, органоминеральных добавок, газобетона автоклавного твердения, мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов и др. Представлены технологии проектирования светопрозрачных конструкций, изготовления малых архитектурных форм, монтажа стеновых и кровельных сэндвич-панелей.

Особый интерес у комиссии вызвали следующие научно-исследовательские работы:

1. «Реология водно-минеральных дисперсных систем» — К.О.Нестерова (руководитель — профессор Хозин В.Г.). Получены новые экспериментальные зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига и вязкости от скорости сдвига для порошков и водно-минеральных дисперсий на основе различных тонкомолотых цементов и функционализированных карбонатных наполнителей.

2. «Физико-химическая модификация эпоксидных полимеров ультрадисперсными и наноразмерными добавками» — Д.М.Валиева

(руководитель — профессор Абдрахманова Л.А.). Предложены новые высокодисперсные наполнители для создания эпоксидных композиционных составов двухстадийного отверждения. Установлено, что природа нанодобавок и их дисперсность определяет степень конверсии и надмолекулярную структуру нанокомпозитов.

А наиболее интересными выпускными работами, которые содержали высокую практическую ценность для Республики Татарстан и прошли опытно-промышленные испытания, были следующие:

1. «Цементы низкой водопотребности с использованием карбонатных пород Камаевского месторождения РТ» — Д.Н.Ахметова (руководитель — профессор Хохряков О.В.). По результатам работы был уложен экспериментальный участок бетонной дороги на основе этих вяжущих, которая является подъездным участком к промышленному предприятию, расположенному в селе Поспелово (РТ, Елабужский район). Длина участка дороги составляет 140 метров. Планируется движение грузового транспорта с предельной нагрузкой на ось более 10 т.

2. «Сухие кладочные смеси для возведения каменных конструкций механизированным способом» — И.Е.Панушин ((руководитель — профессор Хохряков О.В.). Разработана новая 3D-насадка из износостойкого пластика, позволяющая существенно ускорить возведение каменной кладки и, в целом, минимизировать ручной труд. При этом предложен эффективный состав сухой строительной смеси для приготовления кладочного раствора с повышенными технологическими и физико-механическими свойствами. Благодаря новому механизированному способу, было успешно уложено 70 погонных метров кирпичной кладки, на что получено положительное заключение.

И таких ориентированных на практическую реализацию защит ВКР было очень много, исполнителями их были студенты-магистранты, которые уже имеют немалый опыт работы в строительных компаниях РТ.

Стратегической задачей любого вуза является воспроизводство научно-педагогических кадров, а это возможно лишь через аспирантуру, привлечением в нее способных выпускников.

Со дня основания кафедры с 1985 г. защищено 30 кандидатских диссертаций, а также 4 докторских (Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Хохряков О.В., Аюпов Д.А.). Аспирантура — это основная форма послевузовского воспитания, обучения и подготовки педагогических и научных работников в высших учебных заведениях и научно-исследовательских институтах.



Успешно в срок обучения в аспирантуре защитили кандидатские диссертации Хантимиров А.Г. и Хузиахметова К.Р. Они уже влились в состав преподавателей, осваивают сложную и важную профессию воспитателей молодого поколения, не забывая при этом свои научные исследования. Возможно, из-за своей молодости они еще не могут делиться опытом прожитой жизни, но их возраст помогает быстрее найти общий язык со своими студентами. Им еще близки и понятны их переживания, цели, стремления. И они стараются личным примером подтвердить пользу полученных в КГАСУ знаний!

Остальные из аспирантов на этом фото закончили в этом юбилейном году обучение в аспирантуре и готовят свои работы для представления их в диссертационный совет.

Сейчас на кафедре учатся четыре аспиранта по двум научным направлениям. Они только на начале пути, надеемся, что он будет успешным, полным новых достижений, но, конечно, и новых трудностей.

Они осознают важность своей работы, как в научном, так и прикладном плане, стремятся обогатить свои знания, навыки, найти новые возможности. При разработке темы выдвигается конкретная задача в исследовании - разработать новый материал, конструкцию, технологию и т.д. Здесь очень важно расширять свой кругозор, использовать различные способы приблизить свои исследования к реальной актуальной проблеме. В этом очень помогает деловое общение, установление контактов в научном сообществе, что может помочь в принятии каких-либо важных решений. Студенты и аспиранты участвуют с докладами на различных конференциях, являются руководителями и исполнителями проектов разного уровня, как федерального, так и регионального. Например, в рамках правительственного гранта РТ «Алгарыш» аспирантка Качко Маргарита была направлена на стажировку в Египетско-Российский Университет (ЕРУ), город Бадр. Во время прохождения стажировки с 14 по 21 октября 2025 года ею были получены базовые знания по

применяемым материалам и технологиям, проведены лабораторные исследования с применением местных сырьевых материалов. По окончании стажировки по результатам испытаний будет подготовлена статья в журнале «Техника и технология силикатов».



Еще одна возможность для студентов и аспирантов получить опыт коммерциализации своих идей или заделов – это создание и развитие стартапов. Студенческие стартапы могут вдохновить на внедрение новых методов обучения и курсов, ориентированных на практику. Они служат мостом между университетом и бизнесом, что позволяет студентам получить доступ к реальным проектам.

Многие наши студенты и аспиранты участвовали в разные годы в конкурсе «Студенческий стартап» и вышли победителями, что говорит о перспективности и актуальности их работ.

Только в этом 2025 году победителями конкурса «Студенческий стартап» (очередь VI) в рамках программы «Студенческий стартап» стали:

1. Валиева Диляра Маратовна – ныне уже аспирант 1 года обучения;
2. Зигангиров Адель Ильясович – студент 4 курса бакалавриата;
3. Нугуманова Аделина Ришатовна – магистрант 1 курса;
4. Шангареев Семён Алексеевич – студент 4 курса бакалавриата;
5. Сучкова Екатерина Андреевна – магистрант 1 курса;
6. Мурсалимова Диана Рамилевна – магистрант 1 курса;
7. Шадрин Данил Михайлович – ныне уже аспирант 1 года обучения.

Все достижения кафедры, а может быть, и некоторые просчеты, - это результат деятельности всех ее членов.

Мы – сплоченный коллектив единомышленников, понимающий, что за немалыми достижениями встают новые задачи и стоят нерешенные проблемы. Мы готовы и готовимся к их решению, понимая всю ответственность перед молодым поколением студенчества. Здесь речь идет и об их профессиональном росте, максимального получения знаний и опыта, проживая 4 года или 6 лет бок о бок на кафедре.

И еще. Проблема воспитания гражданской ответственности перед обществом, высокой нравственности выпускников – одна из важнейших в учебной работе кафедры ТСМИК. Это имеет самое большое значение сейчас – в это трудное время для нашей страны.

МУРСАЛИМОВА Диана Рамилевна	MURSALIMOVA Diana R.
Студент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, diana.mursalimova0907@gmail.com	Master's student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, diana.mursalimova0907@gmail.com
СЕМЕНОВА Дарья Андреевна	SEMENOVA Darya A.
Студент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, jbobobm@gmail.com	Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, jbobobm@gmail.com
ХАНТИМИРОВ Аяз Габдрашитович	KHANTIMIROV Ayaz G.
К.т.н., старший преподаватель Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, тел. +7 987 417 91 76 khantimirov94@mail.ru	Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, tel. +7 987 417 91 76, khantimirov94@mail.ru
ИСЛАМОВ Анвар Махмудович	ISLAMOV Anvar M.
К.т.н., доцент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, тел. +7 950 315-03-11 islamovam@kgasu.ru	Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, tel. +7 950 315-03-11 islamovam@kgasu.ru
ВЛИЯНИЕ ДЕГАЗАЦИИ НА СВОЙСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	THE EFFECT OF DEGASSING ON THE PROPERTIES OF EXTRUDED WOOD-POLYMER COMPOSITES

Ключевые слова: поливинилхлорид, экструзия, дегазация, древеснонаполненные композиты

Keywords: polyvinyl chloride, extrusion, degassing, wood-filled composites

Экструдер (от лат. extrudo — «выталкиваю») — машина для размягчения (пластикации) материалов и придания им формы путём продавливания через профилирующий инструмент (экструзионную головку). Процесс переработки материалов в экструдере называется экструзией.

Первые экструдеры были созданы в XIX в. в Великобритании, Германии и США с целью нанесения гуттаперчевой изоляции на электрические провода. В начале XX в. было освоено серийное производство экструдеров. Примерно с 1930 г. их стали применять для переработки пластмасс. В 1935-1937гг. паровой обогрев корпуса заменили электрическим, а в 1937-1939гг. появились экструдеры с увеличенной длиной шнека (прототип современного экструдера), в этот же период был сконструирован первый двухшнековый экструдер.

Первые теоретические работы в области техники экструзии полимеров стали появляться в 1946-1953гг. В это же время произошел переход от

индивидуального изготовления каждого экструдера к серийному производству, основанному на теоретических (инженерных) расчетах. В начале 1960-х годов были создан первый дисковый экструдер.

Экструдеры играют ключевую роль в производстве полимерных изделий, позволяя формировать разнообразные формы и конструкции. Одним из наиболее востребованных применений экструдеров является производство полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Под термином композиционные материалы понимают гетерофазные системы, полученные из двух или более компонентов, где один из них является матрицей, в которой определенным образом распределен другой компонент (или другие компоненты), отделенный (или отделенные) от матрицы границей раздела. Свойства композиционного материала отличаются от свойств исходных составляющих компонентов. При этом состав, форма и распределение компонентов запроектированы заранее, количество каждого из компонентов достаточно велико [1].

В зависимости от характера процессов, сопутствующих формованию изделий, ПКМ делят на термопластичные и реактопластичные [2–5]. Экструзией перерабатываются ПКМ на основе термопластичных полимеров, способные многократно нагреваться и охлаждаться без потери свойств.

Самым динамично развивающимся ПКМ в настоящее время является древесно-полимерный композит (ДПК) – материал, состоящий из термопластичного полимера, специально подготовленных частиц органического наполнителя и комплекса химических добавок (модификаторов), улучшающих потребительские и технологические свойства исходной смеси и готовой продукции [1].

Основным компонентом, входящим в состав древесно-полимерного композита являются отходы деревообрабатывающего производства [6]. Для изготовления наполнителя применяются любые древесные отходы: горбыль, сучки, опилки, стружка. Так как размер фракции наполнителя не должен превышать 5 мм, древесные отходы измельчают в древесную муку. Между размером наполнителя и прочностью изделия наблюдается прямая зависимость – с увеличением размера фракций древесного наполнителя повышается прочность изделия на изгиб.

В качестве связующего используются термопластичные полимеры. Их выбор обоснован большей технологичностью и возможностью вторичного использования изделий из них по сравнению с реактопластами [7]. Как правило, ДПК изготавливают из первичных полимеров: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид (ПВХ) [1, 8-9].

Формование изделий из термопластичных ДПК может осуществляться несколькими методами: экструзией, литьем под давлением и достаточно редко горячим прессованием и вальцеванием.

Литье под давлением является широко распространенным способом промышленного изготовления изделий сложных геометрических форм из

термопластичных материалов. Этот метод реализуется при помощи специальных литевых машин, так называемых термопласт-автоматов.

Этим методом перерабатывается сейчас примерно 15% от всех термопластичных ДПК — например, для производства кровельных изделий, соединительных и декоративных элементов.

Но основным методом переработки ДПК является экструзия. Данный способ широко применяется при выработке полимерных листов и пленок, но особенно эффективен для выпуска профильно-погонажных изделий [10]. Экструзия может осуществляться как с естественной, так и с принудительной дегазацией.

Экструзия фактически представляет собой процесс непрерывного литья под давлением в бездонную пресс-форму, позволяющую получать изделия бесконечной длины. Для экструзии можно использовать заранее приготовленный гранулированный компаунд. Однако в последнее время в экструзии ДПК становятся популярными специальные экструзионные установки для так называемой прямой экструзии.

Одной из актуальных проблем, возникающих при переработке сырья экструдерами, является возникновение пор, как следствие наличия в исходном сырье излишней влаги.

Для ДПК эта проблема особо актуальна, так как в древесной муке всегда содержится остаточная свободная влага 1-2%, и кроме того, при переработке мука нагревается до 200 °С, за счет чего из внутренней структуры древесины выделяется связанная вода.

Для устранения данной проблемы существуют дегазирующие экструдеры (часто одношнековые) или дегазирующие камеры, которыми оснащаются экструзионные машины (часто двухшнековые).

Наиболее эффективной является дегазация расплава. Следует учитывать, что эффективность этого процесса определяется температурой и удельной поверхностью материала, временем его пребывания в зонах дегазации и давлением в этих зонах.

Дегазацию осуществляют вакуумируя определенные зоны экструдера, а также создавая декомпрессионные зоны на червяке экструдера. Форма червяка экструдера имеет решающее значение, так как полимер в декомпрессионных зонах должен быть деформирован в тонкую пленку, чтобы обеспечивалась наибольшая удельная поверхность дегазируемого материала. Для создания декомпрессионного эффекта степень заполнения межвиткового пространства червяка должна быть небольшой.

На рисунке 1 представлен типовой дегазирующий экструзионный шнек:

1 - зона питания; 2- зона сжатия; 3 - зона дозирования; 4 - декомпрессия (зона дегазации); 5 - экстракция; 6 - компрессия; 7 - зона нагнетания.

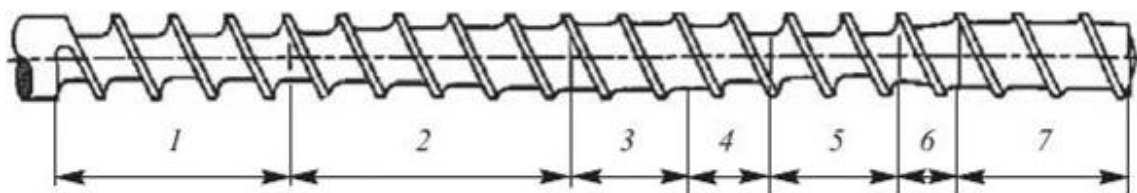


Рис.1. Типовой дегазирующий экструзионный шнек

В целом процесс экструзии заключается в следующем:

- изначально порошкообразная древесно-полимерная смесь поступает в загрузочную воронку, откуда материал подается на шнеки цилиндра;
- под действием создаваемого шнеком давления и дополнительного нагрева со стороны внешних нагревателей запускается процесс плавления;
- полностью текучая масса под давлением продавливается через фильеру в нагнетания.

Целью работы является изучение влияния процесса дегазации, а также вида используемой дегазации на технологические и эксплуатационные свойства ДПК на основе ПВХ.

В данном исследовании приведено сравнение свойств ДПК при использовании двух видов дегазации: естественной и принудительной. Составы композитов имели одинаковый состав: 100 м.ч. ПВХ марки 7059-С, 50 м.ч. древесной муки марки 180, акриловый модификатор ударной прочности 7 м.ч., термостабилизатор 5 м.ч., стабилизатор-смазка 3 м.ч.

Профильные композиты были получены на лабораторном двухшнековом экструдере LabTech Scientific LTE 16-40 с дегазирующей камерой и фильерой прямоугольного сечения 22×2 мм. При использовании принудительной дегазации в рабочей камере создавалось давление вакуума 0,8 бар (рисунок 2).



Рис.2. Экструдер LabTech Scientific LTE 16-40 с дегазирующей камерой

С помощью пульта управления экструдера осуществлялся контроль скорости вращения шнеков, давления расплава в фильере и мощности мотора (% от максимума).

Полученные образцы были сравнены визуально на наличие внешних дефектов, а также испытаны на основные физико-механические свойства: прочность при растяжении, изгибе, водопоглощение, плотность, твёрдость по Бринеллю, истираемость, разбухание по толщине, ударная вязкость.

Также было проведено сравнение изменений технологических параметров экструзии при естественной и принудительной дегазациях.

После проведенных испытаний было выявлено повышение основных физико-механических характеристик при использовании принудительной дегазации. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний

Показатель	Естественная дегазация	Принудительная дегазация	Изменение, %
Прочность на растяжение, МПа	32	41,3	29
Прочность при изгибе, МПа	50	73	46
Водопоглощение, %	1,68	1,06	36
Плотность, г/см ³	1,16	1,39	20
Твердость по Бринеллю, кг/см ²	85	175	106
Истираемость, мкм	2350	2200	6
Ударная вязкость, кДж/м ²	8,8	11,5	31
Разбухание по толщине	1,06	0,9	18
Скорость вращения шнеков, об/мин	20		-
Загрузка двигателя от макс. мощности, %	30	35	17
Давление в фильере, бар	20	21	5

Использование принудительной дегазации по сравнению с естественной значительно улучшает все физико-механические характеристики. Рост прочности при растяжении составил 29%, при изгибе – на 46%. Также получение более плотной структуры композита в значительной степени снижает водопоглощение образцов (с 1,68 до 1,06%), способствуя увеличению долговечности ДПК. Кроме того, выявлен более чем двукратный рост твердости по Бринеллю и увеличение ударной вязкости на 31%, что значительно повышает стойкость к динамическим нагрузкам.

Касаемо внешнего вида образцов для образцов с естественной дегазацией выявлена значительная шероховатость поверхности и выпуклости за счет образования воздушного захвата внутри образцов. Экструдаты, изготовленные с принудительной дегазацией, имеют гладкую поверхность и плотную структуру (рисунок 3). За счет отсутствия водяного пара в структуре расплава значительно уменьшается разбухание экструдата, что позволяет получить более точные геометрические размеры изготавливаемых изделий.

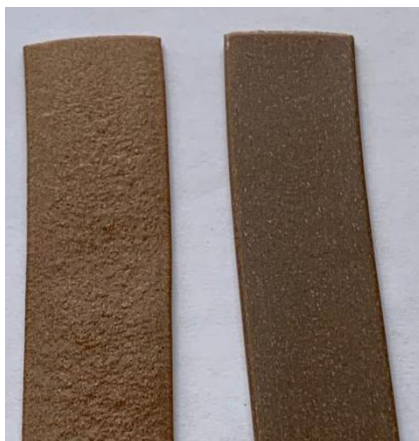


Рис.3. Внешний вид экструдированных образцов с естественной и принудительной дегазацией

Снятые с датчиков экструдера показания технологических параметров (загрузка двигателя, давление в фильере) позволяют сделать вывод о том, что принудительная дегазация приводит к незначительному росту загрузки двигателя и давления в фильере за счет течения плотного расплава без воздушных включений.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Были получены образцы древесно-полимерного композита на основе ПВХ методом экструзии с принудительной и естественной дегазацией;
2. Установленные основные физико-механические свойства композитов показали, что для ДПК на основе ПВХ важно применение принудительной дегазации для получения качественных образцов с высокими эксплуатационными свойствами;
3. Получили композиты с улучшенными характеристиками: прочность на растяжение увеличилась на 29%, на изгиб на 46%, ударная вязкость на 31%, водопоглощение снизилось на 58%, а истираемость на 6%;
4. Выявлено, что использование принудительной дегазации приводит к незначительному росту технологических параметров экструзии, что не является критичным.

Библиографический список:**References:**

- | | |
|--|--|
| 1. Адаменко Н.А., Агафонова Г.В., Фетисов А.В. Полимерные композиционные материалы. Волгоград, 2016. 96 с. | Adamenko N.A., Agafonova G.V., Fetisov A.V. Polymer composite materials. Volgograd, 2016. 96 p. |
| 2. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. 118 с. | Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. Polymer composite materials. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Press, 2013. 118 p. |
| 3. Сабсай О.Ю., Чалая Н.М. Технологические свойства термопластов (обзор) // Пластические массы. 1992. Т.1. С. 5–13. | Sabsai O.Yu., Chalaya N.M. Technological properties of thermoplastics (review) // Plastic masses. 1992. Vol.1. P.5-13. |
| 4. Хузиахметова К.Р., Исламов А.М., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Композиции на основе смеси полимеров поливинилхлорид/акрилонитрил-бутадиен-стирол и базальтовых волокнистых наполнителей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. Т.762, № 6. С. 46-55. DOI 10.32683/0536-1052-2022-762-6-46-55. | Khuziakhmetova K.R., Islamov A.M., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Compositions based on a mixture of polyvinyl chloride/acrylonitrile-butadiene-styrene polymers and basalt fibrous fillers // News of higher educational institutions. Construction. 2022. Vol.762, No. 6. P. 46-55. DOI 10.32683/0536-1052-2022-762-6-46-55. |
| 5. Akutin M.S. et al. Rheological Properties of Thermosetting Compositions // Russ. Chem. Rev. 1975. Vol.44, № 8. P.698–706. | Akutin M.S. et al. Rheological Properties of Thermosetting Compositions // Russ. Chem. Rev. 1975. Vol.44, № 8. P.698–706. |
| 6. Сафин Р.Г., Степанов В.В. Хайруллина Э.Р. Гайнуллина А.А. Степанова Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.20. | Safin R.G., Stepanov V.V. Khairullina E.R. Gaynullina A.A. Stepanova T.O. Modern building composite materials based on wood waste // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. Vol.20. |
| 7. Teuber L. et al. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation // J. Clean. Prod. 2016. Vol. 110. P. 9–15. | Teuber L. et al. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation // J. Clean. Prod. 2016. Vol. 110. P. 9-15. |
| 8. Хантимиров А.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида с использованием древесных отходов // Полимеры в строительстве. 2022. Т.10, № 1. С.69–74. | Khantimirov A.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Wood-polymer composites based on polyvinyl chloride using wood waste // Polymers in construction. 2022. Vol.10, No. 1. P. 69-74. |
| 9. Абдрахманова Л.А., Хузиахметова К.Р., Валиева Д.М., Низамов Р.К. Влияние природы сополимеров на структуру модифицированных поливинилхлоридных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 11. С. 34-41. DOI 10.32683/0536-1052-2023-779-11-34-41. | Abdrakhmanova L.A., Khuziakhmetova K.R., Valieva D.M., Nizamov R.K. The influence of the nature of copolymers on the structure of modified polyvinyl chloride composites // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Construction. 2023. No. 11. P. 34-41. DOI 10.32683/0536-1052-2023-779-11-34-41 |
| 10. Хузиахметова К.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т.69, № 3. С. 6-14. DOI 10.48612/NewsKSUAE/69.1. | Khuziakhmetova K.R., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K.. Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand // Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2024. Vol. 69, No. 3. P. 6-14. DOI 10.48612/NewsKSUAE/69.1. |

СУЧКОВА Екатерина Андреевна	SUCHKOVA Ekaterina A.
магистрант Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, katasuckova2004@gmail.com	Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, katasuckova2004@gmail.com
СЕМЕНОВА Дарья Андреевна	SEMENOVA Darya A.
студент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, jbobobm@gmail.com	Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, jbobobm@gmail.com
ХУСНУТДИНОВ Ранис Раисович	KHUSNUTDINOV Ranis R.
студент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, ranis6056@gmail.com	Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, ranis6056@gmail.com
ХАНТИМИРОВ Аяз Габдрашитович	KHANTIMIROV Ayaz G.
к.т.н, старший преподаватель Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань, Россия, тел. +79874179176 khantimirov94@mail.ru	Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, tel. +79874179176 khantimirov94@mail.ru
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ИСТИРАЕМОСТИ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	FEATURES OF DETERMINING THE ABRASION INDEX FOR POLYMER COMPOSITES

Ключевые слова: поливинилхлорид, древесно-полимерные композиты, ДПК, истираемость, абразивный износ

Key words: polyvinyl chloride, wood-polymer composites, WPC, abrasion, abrasive wear

Древесно-полимерный композит (ДПК) – это композиционный материал на основе термопластичных полимеров, органического наполнителя, главным образом, древесной муки, получаемой измельчением отходов лесопромышленной отрасли, и функциональных добавок [1, 2]. ДПК в основном применяется для изготовления террасной доски (декинга), которая широко используется для благоустройства парковых и иных зон отдыха – создание открытых площадок, террас, веранд, обустройство дорожек и променадов [3].

Стойкость к истиранию является важнейшим показателем качества ДПК и входит в состав основных эксплуатационных требований, предъявляемых к материалам различного назначения. Эта характеристика особенно важна для напольных покрытий, которые при наружном применении подвергаются

различным видам механических воздействий в сочетании с воздействием орошения, УФ-излучения, низких температур и т.д. [4–6].

Основной причиной повреждения ДПК и выхода его из эксплуатации является истирание вследствие износа наиболее нагруженных зон напольного покрытия.

Механизм разрушения декинга от истирания сложен и носит в основном усталостный (фрикционный) характер, т.е. разрушение идет постепенно в результате необратимых изменений в структуре материала. При этом могут быть выделены три основные стадии разрушения древесно-полимерных композитов от истирания (рис.1).

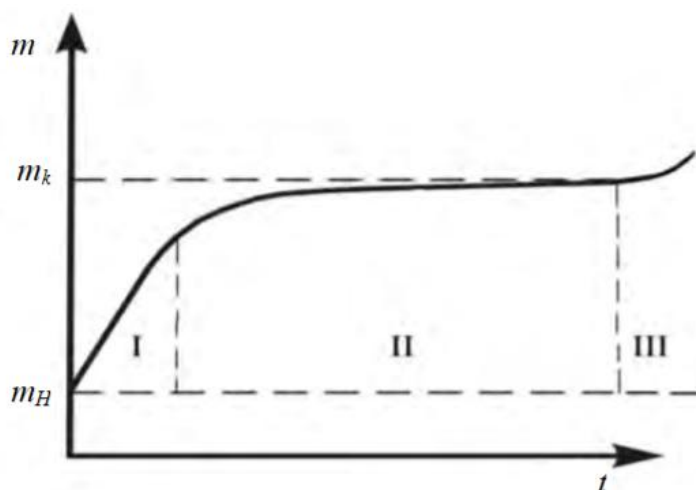


Рис.1. Кривая износа нагруженного участка декинга [5]:

I – зона приработочного износа (быстрый износ);

II – зона монотонного износа (медленный, основной рабочий износ);

III – зона аварийного износа (быстрый износ);

t – период эксплуатации древесно-полимерного композита;

m_H , m_k – начальная и конечная масса древесно-полимерного композита

Износ — это свойство материала сопротивляться одновременному воздействию абразивного износа и ударов. Одной из основных причин износа является абразивное изнашивание в результате внешнего трения материала о другие поверхности, сопровождающееся уменьшением его массы. В соответствии с современными представлениями о трении, абразивное изнашивание является результатом многократного разрушения связей между соприкасающимися поверхностями при их смещении относительно друг друга. При разрыве молекулярно-фрикционных связей, возникающих в зонах контакта поверхностей, отрываются микрочастицы, разрушаются поверхностные пленки [4].

Абразивность оценивается по потере начальной массы образца материала, относящейся к площади абразивного износа. Для оценки абразивного воздействия на ДПК на основе ПВХ на сегодняшний день существуют следующие нормативы для определения показателя истираемости: ГОСТ 11529-2016. «Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля» и

ГОСТ 11012-2017 «Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ». В связи с тем, что декинг является именно напольным покрытием, более корректным будет использование ГОСТ 11529-2016.

Испытания истираемости проводятся с использованием шлифовальной шкурки, состоящей из хлопчато-бумажной основы, двухслойного связующего для удержания абразивного зерна на основе, шлифовального материала и специального покрытия, предотвращающего забивание шлифовальной шкурки.

Однако, абразивная способность шкурки не является постоянной и зависит от количества испытанных на данной шкурке образцов. Тем не менее, в ГОСТ 11529-2016 отсутствует информация о снижении абразивности шкурки, и в связи с этим расчет истираемости без введения поправочных коэффициентов дает недостоверные результаты.

Поэтому целью работы является установление градуировочной зависимости при испытании на истирание ДПК.

Были проведены испытания пятидесяти контрольных образцов из ДПК на основе ПВХ на одной шлифовальной шкурке. Предварительно образцы диаметром $(16,0 \pm 0,5)$ мм были вырублены шанцевым ножом, после чего взвешены на лабораторных весах. Состав ДПК включал 100 м.ч. ПВХ марки 7059-С, 50 м.ч. древесной муки марки 180 и технологические добавки.

В качестве оборудования для испытаний используется истирающая машина, состоящая из полого цилиндра с закрепленной на нем шлифовальной шкуркой из нормального электрокорунда марок 15А-13А зернистостью 8Н и патрона с держателем, в который вставляется образец (рис.2).

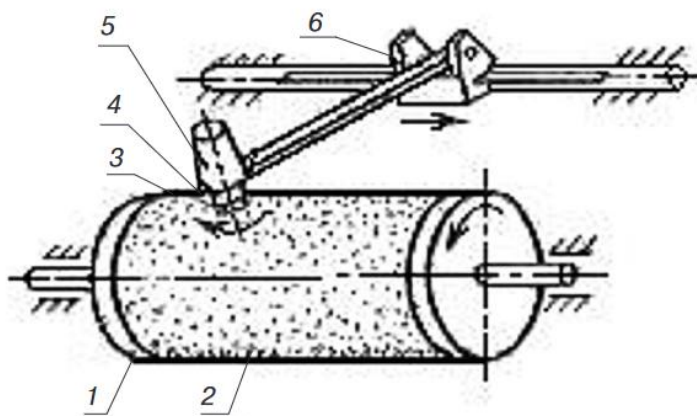


Рис.2. Машина барабанного типа для испытаний на истираемость (по ГОСТ 11529-2016) : 1 – полый цилиндр; 2 – шлифовальная шкурка; 3 – образец; 4 – держатель; 5 – патрон; 6 – каретка

Истираемость A_{br} оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания F , и вычисляют по формуле:

$$Abr(m) = \frac{(m_1 - m_2)}{F},$$

где m_1 и m_2 – массы образца до и после истирания соответственно.

По результатам испытаний получена градуировочная зависимость истираемости базового состава ДПК от количества проведенных испытаний (рис.3).

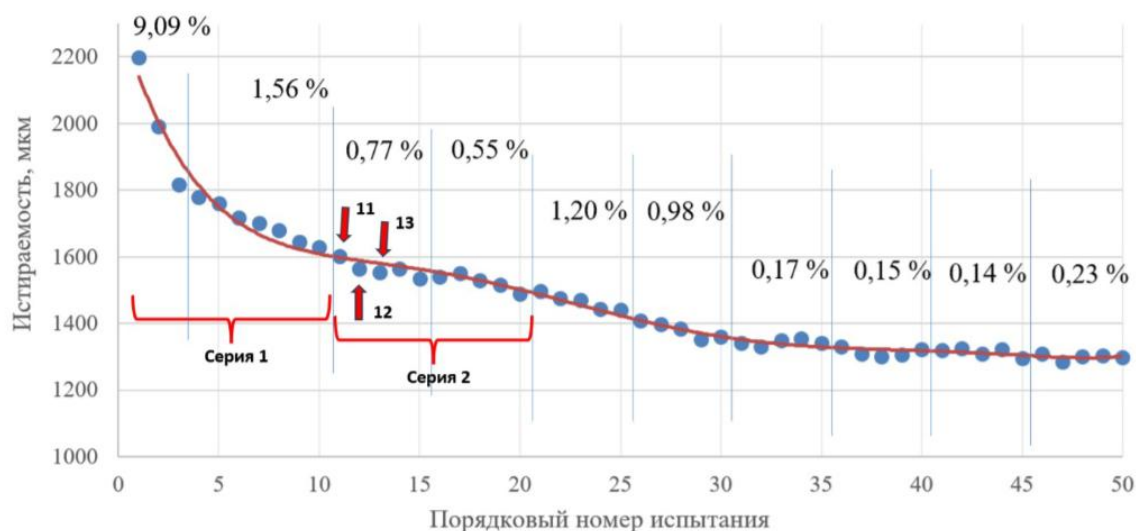


Рис.3. Изменение истирающей способности шлифовальной шкурки

Из графика видно, что для первых трех образцов истираемость резко уменьшается, что связано с повышенным осыпанием непрочно склеенных частиц электрокорунда и, соответственно уменьшением абразивности шкурки.

Далее кривая зависимости начинает принимать более пологий характер, при чем до 30-го испытания среднее изменение истираемости составляет от 0,55 до 1,56%, а при дальнейших испытаниях наблюдается минимальное снижение данного показателя (0,14-0,23%).

Данная градуировочная зависимость дает понимание о необходимости введения поправочных коэффициентов, которые учитывали бы изменение абразивной способности истирающей шкурки для исключения накопления большой погрешности. Для этого необходимо ввести два поправочных коэффициента.

Первый коэффициент K_1 должен учитывать корреляцию между истираемостью контрольных составов при испытании каждой серии. К примеру, истираемость базового состава при первом испытании составляет 2200 мкм, это будет эталоном. Далее испытывается первая серия экспериментальных образцов, допустим их будет 9 (итого в первой серии будет 10 экспериментов). При испытании второй серии образцов обязательно необходимо испытать заново контрольный состав. К примеру, он составил 1630 мкм и идет под

номером 11. Соответственно, для перевода 1630 мкм в эталонные 2200 мкм мы вводим поправочный коэффициент $K_1=1,35$ ($2200/1630=1,35$), на который умножаем каждый из получившихся результатов второй серии образцов.

Затем уже внутри отдельно взятой серии необходимо для каждого полученного результата вводить свой индивидуальный коэффициент K_2 в зависимости от номера испытания, проведенной для данной шлифовальной шкурки. Например, для образца № 12 коэффициент K_2 будет равен 0,9923 (1-0,0077). Для образца № 13 K_2 будет учитывать сумму поправок для 12-го и 13-го образцов. То есть $1-0,0077 \cdot 2=0,9846$. Итого для образца 13 фактический результат истираемости умножаем на $K_1=1,35$ и делим на $K_2=0,9846$. Для показателей последующих образцов базовой композиции расчет необходимо вести по аналогии.

Таким образом, для испытания образцов в количестве 50 штук на одной абразивной шкурке были получены коэффициенты, которые можно применять для модифицированных составов (соотношение ПВХ:древесная мука при этом должно оставаться постоянным). Для каждого номера испытания на новой шкурке коэффициенты K_1 и K_2 будут неизменными. Например, для базового образца № 13 $K_1=1,35$ и $K_2=0,9846$, при замене шкурки на новую и испытании на ней модифицированных образцов значения данных коэффициентов для образца № 13 будут такими же. Однако, при изменении соотношения главных компонентов ДПК необходимо устанавливать новую градуировочную зависимость.

Таким образом, можно сделать вывод:

- были проведены испытания базовой композиции ДПК на основе ПВХ на истираемость и построена градуировочная зависимость данного показателя от количества проведенных испытаний.

- в результате анализа графика были введены два поправочных коэффициента K_1 и K_2 , максимально точно учитывающие износ шлифовальной шкурки при абразивном воздействии.

Библиографический список:**References:**

- | | |
|--|--|
| 1. Мацевич Т.А., Аскадский А.А. Террасные доски: состав, изготовление, свойства. Часть 2. Термические свойства, водопоглощение, истираемость, твердость, устойчивость к климатическим воздействиям, использование вторичных полимеров // Строительные материалы. 2018. № 3. С.55-61. | Matseevich T.A., Askadskiy A.A. Decking boards: composition, production, properties. Part 2. Thermal properties, water absorption, abrasion, hardness, resistance to climatic influences, use of recycled polymers // Construction materials. 2018. No. 3. P. 55-61. |
| 2. Хантимиров А.Г., Абдрахманова Л. А., Хозин В. Г. Наполнение древеснополимерных композитов базальтовыми волокнами // Известия вузов. Строительство. 2022. №10. С. 5–13. | Khantimirov A.G., Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G. Filling wood-polymer composites with basalt fibers // News of universities. Construction. 2022. No. 10. P. 5–13. |
| 3. Хантимиров А.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Х.В.Г. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 61, № 3. С. 75–81. | Khantimirov A.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Wood-polymer composites based on polyvinyl chloride, reinforced with basalt fiber // Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2022. Vol. 61, No. 3. P. 75–81. |
| 4. Мацевич А., Мацевич Т., Аскадский А. Исследование абразивной стойкости древесно-полимерных композитов и смесей АБС-пластика с поливинилхлоридом // MATEC Web of Conferences. 2018. Т. 196. | Matseevich A., Matseevich T., Askadskii A. Study of the abrasion resistance of wood-polymer composites and mixtures of ABS-plastic with polyvinyl chloride // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 196. |
| 5. Котова А.П., Шилько В.К. Определение ресурса декинга по истираемости напольных покрытий. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016;(4):С.177-185. | Kotova A.P., Shilko V.K. Determination of decking service life based on abrasion resistance of floor coverings. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2016; No. 4. P. 177-185. |
| 6. Исламов А.М., Сучкова Е.А., Мурсалимова Д.Р., Валиева Д.М. Структура материалов на основе поливинилхлорида, модифицированного полиизоцианатом // Вестник Технологического университета. 2023. No 6. С.20-24. | Islamov A.M., Suchkova E.A., Mursalimova D.R., Valieva D.M. Structure of materials based on polyvinyl chloride modified with polyisocyanate // Bulletin of the Technological University. 2023. No. 6. P. 20-24. |
| 7. Абдрахманова Л.А., Хузиахметова К.Р., Валиева Д.М., Низамов Р.К. Влияние природы сополимеров на структуру модифицированных поливинилхлоридных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 11. С. 34-41. | Abdrakhmanova L.A., Khuziakhmetova K.R., Valieva D.M., Nizamov R.K. The influence of the nature of copolymers on the structure of modified polyvinyl chloride composites // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Construction. 2023. No. 11. P. 34-41. |
| 8. Хузиахметова К.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К.. Наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т.69, № 3. С. 6-14. | Khuziakhmetova K.R., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand // Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2024. Vol. 69, No. 3. P. 6-14. |

МОРОЗОВА Нина Николаевна

к.т.н., доцент кафедры технологии
строительных материалов, изделий и
конструкций КГАСУ, Казань,
Россия, ninamor@mail.ru

MOROZOVA Nina N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Pr
ofessor of the Department of Technology of Bui
lding Materials, Products and Structures of K
GASU Kazan, Russia, ninamor@mail.ru

ГАЙНУТДИНОВ Ильфат Ильгамович

студент КГАСУ, Казань,
Россия, gailfat16@mail.ru

GAYNUTDINOV Ilfat I.

KGASU student,
Kazan, Russia, gailfat16@mail.ru

ГИЗЗАТУЛЛИН Анас Рифкатович

к.т.н., Генеральный директор ООО «ДСК
РАФФ+», Новочебоксарск,
Россия, anasrg@yandex.ru

GIZZATULLIN Anas R.

Candidate of Technical Sciences, General man
ager of LLC «House-building plant RAFF+»,
Novocheboksarsk, Russia, anasrg@yandex.ru

БЕТОННЫЙ ЛОМ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

CONCRETE SCRAP AS A FILLER FOR HIGH-STRENGTH CEMENT CONCRETE

Объектом исследования является бетонный лом в виде отсева дробления фр. 0-5 мм, который подвергался измельчению. Изучены его размолоспособность и водопотребность в присутствии ПАВ различного класса и без них. Установлено, что поликарбоксилатный ПАВ позволяет повысить размолоспособность отсева дробления бетонного лома на 40% и снизить его водопотребность на 20%. Подобраны составы высокопрочных бетонов классов В60÷В80 при полной замене микрокремнезема МК-85 на наполнитель из бетонного лома без снижения прочностных характеристик.

The object of the study is concrete scrap in the form of crushed concrete fraction 0-5 mm, which was subjected to grinding. The grinding capacity and water requirement of the crushed concrete scrap were studied in the presence and absence of various classes of surfactants. It was found that the use of a polycarboxylate surfactant increases the grinding capacity of the crushed concrete scrap by 40% and reduces its water requirement by 20%. The compositions of high-strength concretes of classes B60÷B80 have been selected by completely replacing micro-silica MK-85 with a filler made of concrete scrap without reducing the strength characteristics.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, бетонный лом, помол, наполнитель, модификаторы

Keywords: high-strength concrete, concrete scrap, grinding, filler, modifiers

Введение. По утверждению ассоциации Союза производителей бетона одной из первостепенных перспективных инновации в производстве бетонной продукции является применение вторичных материалов. Такая инициатива сегодня закреплена федеральной отраслевой программой «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве», в которой запланировано увеличение доли используемого

вторсырья в промышленности к 2030 году до 34%, а внедрение промышленных отходов в производство снизит использование природного сырья на 10-30% [1].

Одним из основных потребителей промышленных отходов могут быть цементные бетоны [2-5], из которых высокопрочные наиболее привлекательные и ресурсосберегающие. Их основным достоинством и мотивацией использования в строительной практике обеспечиваются превосходными свойствами, по сравнению с бетонами общестроительного назначения, а именно, высокой прочностью, плотностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, меньшим весом конструкций и сооружений, за счет уменьшения геометрических размеров изделия, например толщины, и их компактности, увеличения пространства свободной планировки и других конструктивных решений [6-8].

Основными принципами получения высокопрочных бетонов являются «пуццоланизация обычного цемента» [9], которая достигается различными кремнеземсодержащими дисперсными материалами, уплотнением межзернового пространства цементирующего камня, уменьшение водопотребности смеси за счет применения эффективных водоредуцирующих поверхностно-активных веществ [10] или органоминеральных модификаторов [11].

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является разработка составов высокопрочных бетонов с использованием дисперсного наполнителя, полученного из отсевов дробления «старого» бетона.

Материалы и методы. В качестве исходных компонентов цементного бетона использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2020 (АО «Волга Цемент», Саратовская область, г.Вольск) с удельной поверхностью 3280 см²/г, крупный заполнитель – щебень гранитный фр. 5-20 мм, мелкий заполнитель – обогащенный песок с $M_{кр}=2,2$ и отсев дробления бетонного лома фр. 0-5; в качестве ПАВ выбраны ЛСТ, СП-1 и поликарбоксилатный–Полипласт ПК-1 тип S., наполнители – промышленный микрокремнезем МК-85 и порошки, полученные из отсевов дробления гравия, старого цементного бетона и гранита.

Первоначально все изучаемые отсеvy дробления отсевали на сите с сеткой 5 мм, затем высушивали до абсолютно сухого состояния и подвергали дроблению до размера зерен менее 1,25мм, после чего измельчали в вибрационно-шаровой мельнице марки СВМ-3 с периодическим контролем удельной поверхности при помощи ПСХ-10а. Помол отсевов дробления осуществляли без ПАВ и с ПАВ в течении 2, 5, 7 и 10 минут.

Водопотребность порошков оценивали по диаметру расплыва водно-минеральных суспензий равному 22-23 мм с применением мини-цилиндра диаметром 10 мм и высотой 20 мм [12]. Физико-механические свойства мелкозернистого бетона с наполнителями оценивали по прочности при изгибе и сжатию образцов балок 40х40х160 мм, а показатели прочности высокопрочного бетона на образцах 100х100х100 мм.

Результаты и обсуждение. Авторами [10] были получены бетоны с прочностью 100-120 МПа с использованием в качестве дисперсного наполнителя каменной муки из различных природных осадочных и вулканических горных пород. Поэтому дополнительно для сравнения в работе были изучены отсе́вы дробления гравия и гранита фракции 0-5 мм. Технология перевода их в дисперсное состояние подобна выше описанному. Результат оценки размолоспособности выбранных материалов приведен на рис.1.

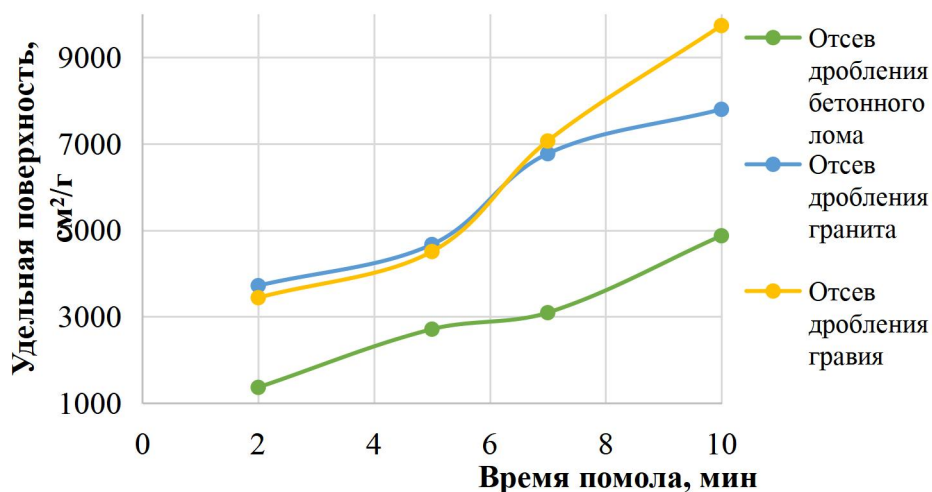


Рис.1. Кривые размолоспособности отсе́вов

Как видно из рис.1, отсев дробления бетонного лома имеет самую низкую размолоспособность по сравнению с отсе́вами гравия и гранита во всем интервале времени помола, и в среднем она меньше на 40÷50% в зависимости от времени помола.

Для повышения этого показателя помол отсе́ва дробления бетонного лома провели совместно с ПАВ, содержание которого составляло 1% от массы порошка. Результаты представлены на рис.2.

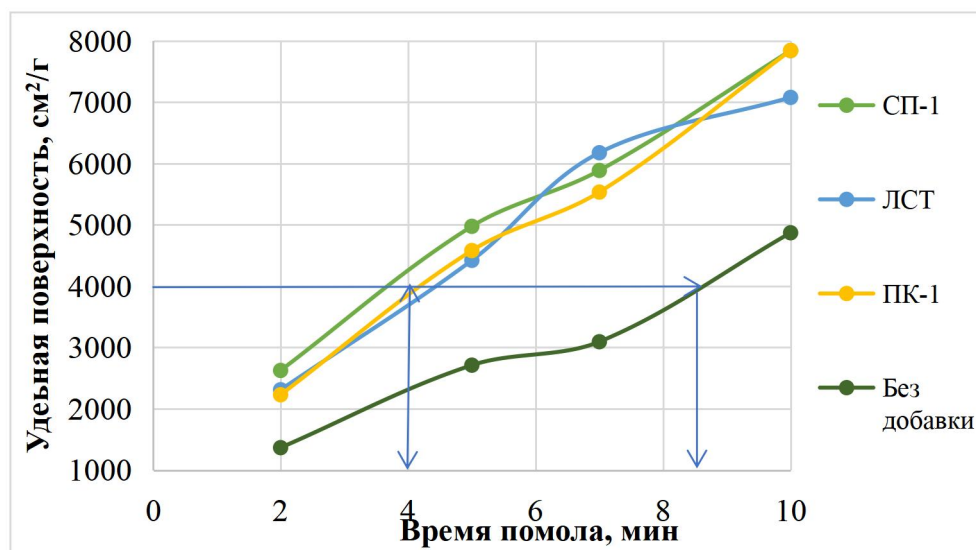


Рис.2. Кривые размолоспособности отсе́ва дробления бетонного лома с ПАВ

Из данных рисунка 2 можно сделать вывод, что совместный помол с ПАВ позволил повысить размолоспособность отсева дробления бетонного лома на $40\div 60\%$ в зависимости от вида активатора помола. Помол отсева с ПАВ уже через 5 минут позволяет получить порошки с дисперсностью больше портландцемента

Помол отсева дробления бетонного лома ПАВ способствует не только сокращению времени диспергирования, но и снижает водопотребность порошка (рис.3).

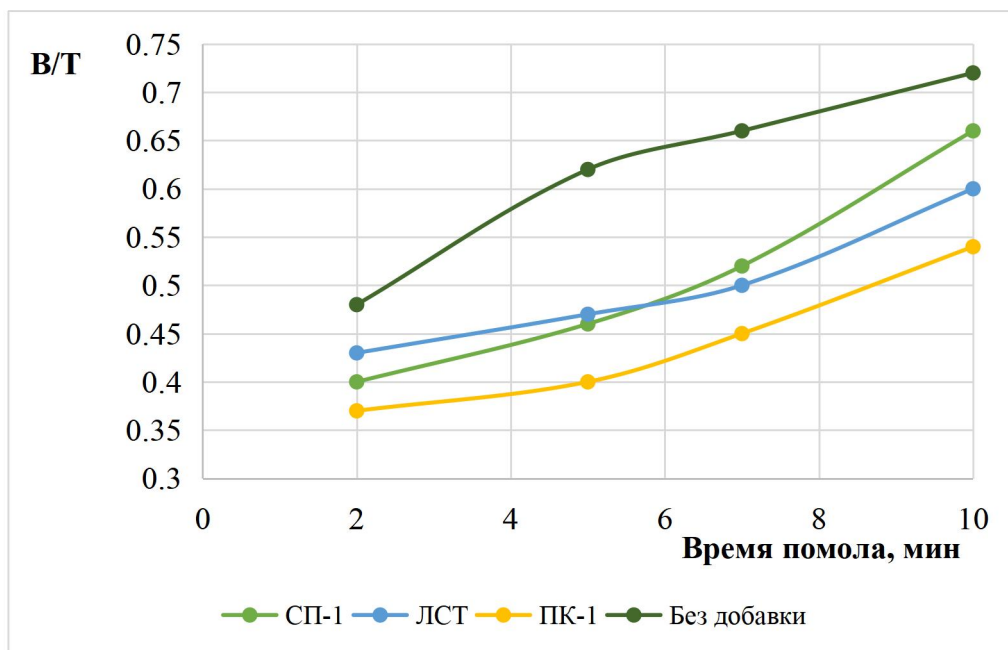


Рис.3. Зависимость В/Т от времени помола отсев дробления бетонного лома и вида ПАВ

Наибольшее снижение водопотребности порошка (23-25%) достигается с поликарбоксилатом Полипласт ПК-1 типа S. Добавки ЛСТ и СП-1 по эффективности снижения водопотребности измельченного отсева дробления бетонного лома близки.

Поскольку порошок с ПК-1 характеризуется невысокими В/Т, то частичная замена портландцемента на него не должна отрицательно повлиять на прочность бетона. Для этого были изготовлены контрольные образцы мелкозернистого бетона с расходом цемента 416 кг/м^3 , обогащенного песок — 1512 кг/м^3 , добавки ПК-1 — $4,16 \text{ кг/м}^3$. Количество воды подбирали для получения подвижности смеси с распылом на встряхивающем столике диаметром 115-116 мм. Использовали два варианта наполнителя - порошок отсева дробления бетонного лома, молотый 5 минут и он же молотый с ПК-1. Результаты испытаний представлены в табл.1.

Таблица 1

Физико-механические испытания образцов мелкозернистого бетона

№ состава	Количество наполнителя в замен цемента, %	Расход воды, л/м ³	Прочность после ТВО, МПа		Прочность на сжатие на 28-е сутки, МПа
			на изгиб	на сжатие	
1	0	157	7,3	20,3	27
Наполнитель – молотый отсев дробления бетонного лома без ПК-1					
2	10	157	6,3	23,1	31,3
3	15	157	4,8	13,7	26,8
4	20	156	4,8	13,2	25,7
5	25	154	4,8	12,8	25
6	30	155	4,7	11,6	22,2
Наполнитель – молотый отсев дробления бетонного лома с ПК-1					
7	10	157	5,5	23,3	31,8
8	15	157	5,2	24	34,2
9	20	159	5,1	23,1	32,1
10	25	154	4,9	22,2	29,9
11	30	155	4,9	20,1	25

Как видно из табл.1, замена 10% цемента на молотый отсев из бетонного лома повышает прочность мелкозернистого бетона на 15% относительно контрольного состава. Использование молотого отсева с ПК-1 в мелкозернистом бетоне возможно до 25%, при этом прочность на сжатие не ниже контрольного состава.

Сегодня достаточно информации об использовании минерального сырья из «старого» бетона в технологии производства бетонов общестроительного назначения [13–17], но в высокопрочных бетонах незначительно. Поэтому далее были рассчитаны составы высокопрочного бетона классов В60, В70, В80 с микрокремнеземом, на основе которых изготовлены контрольные образцы для испытания на прочность с частичной и полной заменой микрокремнезема на молотый порошок из отсева дробления бетонного лома с ПК-1. Результаты испытаний бетонов в возрасте 28 суток нормального твердения представлены на рис.4.

Как видно из рис.4, полная замена микрокремнезема на молотый отсев с ПК-1 в составе бетона класса В60 удовлетворяет требованиям прочности данного класса (80-86 МПа). Аналогичные результаты получены для бетонов классов В70 и В80, где прочность образцов в марочном возрасте достигает 93-95 МПа и 106-107 МПа, соответственно.

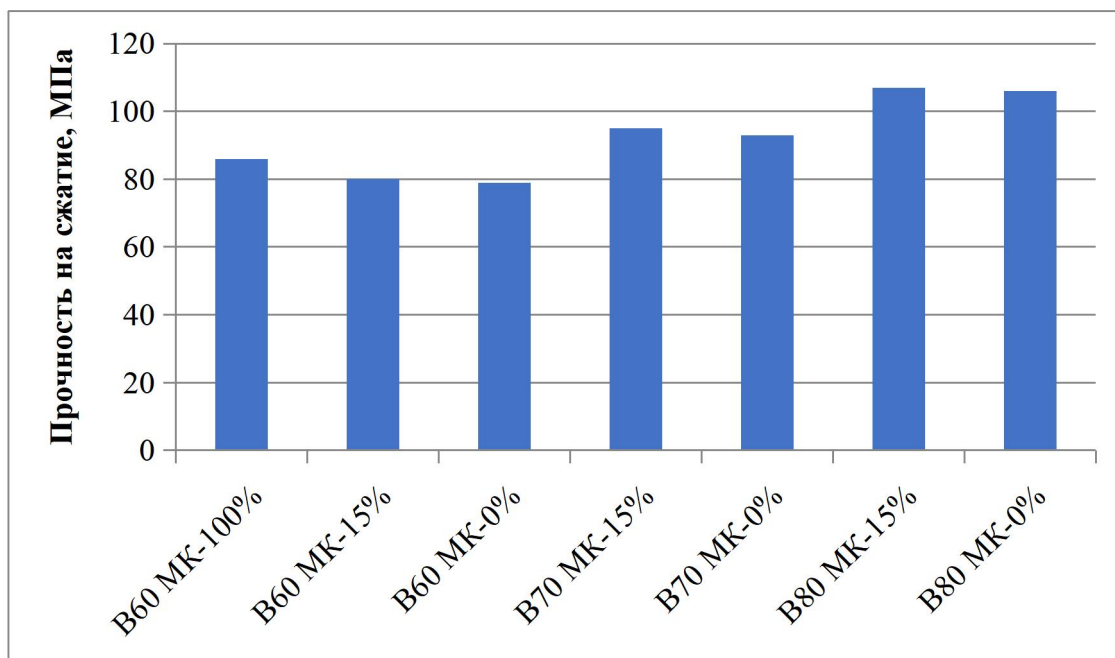


Рис.4. Изменение прочности образцов бетона классов В60, В70 и В80 от содержания микрокремнезема в их составе

Итак, проведенные исследования показали что, дисперсный наполнитель из отсева дробления «старого» бетона характеризуется низкой размолоспособностью и значительной водопотребностью. Свойства такого наполнителя улучшаются за счет ПАВ, введенного при его помоле: размолоспособность повышается на 40%, а водопотребность порошка снижается на 20%.

Получен эффективный дисперсный наполнитель из отсева дробления бетонного лома с поликарбоксилантным ПАВ, позволяющий в в бетонах низкомарочных снизить расход цемента на 25-30%, а в высокопрочных бетонах отказаться от дорогостоящего микрокремнезема.

Библиографический список:**References:**

- | | |
|--|--|
| 1. Паспорт отраслевой программы "Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве" (утв. Правительством РФ 17 ноября 2022 г. № 13493п-П11). | Passport of the industry program "The use of secondary resources and secondary raw materials from waste in industrial production" (approved by By the Government of the Russian Federation on November 17, 2022, No. 13493p-P11). |
| 2. Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А., Зенкин В.В., Саденко С.М. Влияние вторичного заполнителя на основе бетонного лома на свойства бетона // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6 (114). С. 705-712. | Korovkin M.O., Shesternin A.I., Eroshkina N.A., Zenkin V.V., Sadenko S.M. Influence of secondary aggregate based on concrete scrap on concrete properties // Engineering Bulletin of the Don. 2024. No. 6 (114). Pp. 705-712. |
| 3. Кищенко Т.П., Омелянович Д.С. Использование крупного заполнителя из бетонного лома в тяжелых бетонах// Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 1 (141). С. 99-103. | Kitsenko T.P., Omelyanovich D.S. The use of coarse aggregate from concrete scrap in heavy concretes// Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2020. No. 1 (141). Pp. 99-103. |
| 4. Гамаюнова О.С., Слободянюк Т.Р. Вторичное использование строительных отходов. //Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 1. С. 18-26. | Gamayunova O.S., Slobodyanyuk T.R. The secondary use of construction waste. //High technologies in the construction complex. 2022. No. 1. Pp. 18-26. |
| 5. Степанов С.В., Петропавловских О.К., Копылов М.А. Применение модифицирующих добавок в мостовом бетоне // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2025. № 1 (9). С. 28-35. | Stepanov S.V., Petropavlovskikh O.K., Kopylov M.A. Application of modifying additives in bridge concrete // Automobile roads and transport infrastructure. 2025. No. 1 (9). Pp. 28-35. |
| 6. Аласханов А.Х., Муртазаева Т.С.-А., Сайдумов М.С., Омаров А.О. Разработка составов наполненных вяжущих на основе вторичного сырья для монолитных высокопрочных бетонов. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. №46 (3). С.129-138. | Alaskhanov A.Kh., Murtazaeva T.S.-A., Saidumov M.S., Omarov A.O. Development of compositions of filled binders based on secondary raw materials for monolithic high-strength concretes. // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2019. No. 46 (3). Pp. 129-138. |
| 7. Нестерова К.О., Гиззатуллин А.Р., Морозова Н.Н., Гайнутдинов И.И., Хозин В.Г. Цементные бетоны классов В60-В80 с применением дробленого гравия Камского месторождения // Строительные материалы. 2024. № 10. С.29-36. | Nesterova K.O., Gizzattullin A.R., Morozova N.N., Gainutdinov I.I., Khozin V.G. Cement concretes of classes B60-B80 with the use of crushed gravel of the Kama deposit // Construction materials. 2024. No. 10. Pp.29-36. |
| 8. Палагин Н.Г., Никитин Г.П., Трунов А.Н. Экономическая эффективность применения колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами из высокопрочного песчаного бетона// Известия КГАСУ. 2022. №1(59). С. 41-53. | Palagin N.G., Nikitin G.P., Trunov A.N. Economic efficiency of using rectangular section columns of single-storey production buildings with overhead cranes made of high-strength sand concrete// Izvestiya KGASU. 2022. No. 1(59). Pp. 41-53. |
| 9. Каприелов С.С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов// Строительные материалы, 2017. №11. С.4-10 | Kaprielov S.S. Cements and additives for the production of high-strength concretes// Construction Materials, 2017. No. 11. Pp. 4-10 |
| 10. Тараканов О.В., Калашников В.И. Перспективы применения комплексных | Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I. Prospects for the use of complex additives in new generation |

	добавок в бетонах нового поколения. // Известия КГАСУ. 2017 №1(39). С. 223-229.	concretes. // Izvestiya KGASU. 2017 No. 1(39). Pp. 223-229.
11.	Беляков А.Ю., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Функционализированный минеральный наполнитель - эффективный модификатор цементных бетонов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 3 (65). С. 45-56.	Belyakov A.Yu., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Functionalized mineral filler as an effective modifier for cement concretes // Izvestiya of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. No. 3 (65). Pp. 45-56.
12.	Калашников В.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Вязущие вещества». Пенза: ПГАСИ, 1995. 32 с.	Kalashnikov V.I. Guidelines for Laboratory Work in the Course "Binding Agents". Penza: PGASI, 1995. 32 p.
13.	Пуляев С.М., Каддо М.Б., Пуляев И.С. Исследование процесса раннего структурообразования бетона на щебне из бетонного лома. // Вестник МГСУ. 2012. №1. С. 68–71.	Pulyayev S.M., Kaddo M.B., Pulyayev I.S. Research of the process of early structure formation of concrete on crushed stone from concrete scrap. // Bulletin of MGSU. 2012. No. 1. Pp. 68–71.
14.	Гончарова М.А., Борков П.В., Аль-Суррайви Х.Г.Х. Рециклинг крупнотоннажных бетонных и железобетонных отходов при реализации контрактов полного жизненного цикла. // Строительные материалы. 2019, №12. -С. 52–57.	Goncharova M.A., Borkov P.V., Al-Surrayvi H.G.H. Recycling of large-tonnage concrete and reinforced concrete waste in the implementation of full-life-cycle contracts. // Construction Materials. 2019, No. 12, pp. 52–57
15.	Alwaeli M., Alshawaf M. Waste Utilization in Concrete Technology as a Substitute for Natural Aggregates in the Context of Circular Economy: an Overview. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. №19. – P. 151–158.	Alwaeli M., Alshawaf M. Waste Utilization in Concrete Technology as a Substitute for Natural Aggregates in the Context of Circular Economy: an Overview. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. №19. – P. 151–158.
16.	Красиникова Н.М., Кириллова Е.В., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов. // Строительные материалы. 2020. №1(2). С. 56–65.	Krasinikova N.M., Kirillova E.V., Khozin V.G. Secondary use of concrete scrap as raw materials for cement concretes. // Construction Materials. 2020. No. 1(2). Pp. 56–65.
17.	Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Холодник М.Г., Кузьменко Д.В. Исследование факторов, влияющих на эффективность мелкозернистого самоуплотняющегося бетона с песком из дроблёного бетона. // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2025. №4(2). С.57–66.	Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Kholodnyak M.G., Kuzmenko D.V. Study of factors affecting the efficiency of fine-grained self-compacting concrete with crushed concrete sand. // Modern Trends in Construction, Urban Planning, and Territorial Planning. 2025. No. 4(2). Pp. 57–66.

КУЗНЕЦОВА Галина Васильевна

инженер, Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, Казань, Россия,
тел. +7 960 052 84 09,
e-mail: Kuznetzowa.gal@yandex.ru

KUZNETSOVA Galina V.

engineer, Kazan state University of Architecture
and Civil Engineering, Kazan, Russia,
tel. +7 960 052 84 09,
e-mail: Kuznetzowa.gal@yandex.ru

МОРОЗОВА Нина Николаевна

к.т.н., доцент Казанский
государственный архитектурно-
строительный университет, Казань,
Россия, e-mail: ninamor@mail.ru

MOROZOVA Nina N.

candidate of technical sciences, Kazan State
University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russia, e-mail: ninamor@mail.ru

ЧУМАКОВ Вадим Игоревич

магистр Казанского государственного
архитектурно-строительного
университета, Казань, Россия, e-mail:
vadyusha_chumakov@mail.ru

CHUMAKOV Vadim I.

master of Kazan State University of
Architecture and Civil Engineering, Kazan,
Russia e-mail: vadyusha_chumakov@mail.ru

САДЫКОВА Алия Ирековна

студент Казанского государственного
архитектурно-строительного
университета, Казань, Россия,
e-mail: aliya.sadykova@mail.ru

SADYKOVA Aliya.I.

student of Kazan State University of
Architecture and Civil Engineering, Kazan,
Russia, e-mail: aliya.sadykova@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ
ДОБАВОК НА СВОЙСТВА
ПЕСОЧНОГО ШЛАМА**

**THE EFFECT OF MINERAL ADDITIVES
ON THE PROPERTIES OF SAND
SLUDGE**

Комплексные добавки давно нашли свое применение в производстве цементных бетонов. Вопросы использования добавок и улучшение физико-механических свойств актуальны и в производстве ячеистого бетона автоклавного твердения. Как в цементных, так и в ячеистых бетонах минеральные добавки применяются в тонкомолотом виде. Одним из решений проблемы ввода добавок или собственных отходов в состав смеси — это их ввод на участке мокрого помола песка. Однако материалы-добавки имеют разное значение pH среды. Приводится анализ кислотно-щелочного баланса, модификации кислотной среды, влияния гипсового камня, совместного воздействия молотого кирпича и гипса на ускорение процесса осаждения шлама.

Complex additives have long been used in the production of cement concrete. The use of additives and the improvement of their physical and mechanical properties are also relevant in the production of autoclaved aerated concrete. In both cement and aerated concrete, mineral additives are used in a finely ground form. One solution to the problem of adding additives or waste materials to the mixture is to introduce them during the wet grinding of sand. However, the additives have different pH levels. The analysis includes the acid-base balance, acid environment modification, the effect of gypsum stone, the combined effect of crushed brick and gypsum, and the acceleration of sludge precipitation.

Ключевые слова: известь, песок, гипсовый камень, молотый кирпич, песочный шлам.

Key words: lime, sand, gypsum stone, ground brick, sand sludge.

Вопрос повышения прочностных характеристик пористых материалов, включая ячеистый бетон, неизменно остается в центре внимания научного сообщества и промышленной практики. В настоящее время в области производства газобетона активно исследуются возможности использования минеральных добавок и техногенных отходов. Этот аспект представляет значительный интерес с точки зрения оптимизации физико-механических свойств материалов, что подтверждается многочисленными научными исследованиями и разработками [1].

Еще одним важным направлением в сфере производства строительных материалов является разработка технологий переработки крупнотоннажных промышленных отходов. Это направление не только способствует решению экологических проблем, но и обладает значительным экономическим потенциалом [2]. В процессе производства газобетона неизбежно образуются отходы, что характерно и для смежных отраслей, таких как изготовление силикатного кирпича и блоков. Например, при обработке декоративного силикатного кирпича методом рустировки и околки до 8% от общего веса изделия массой 5 кг превращаются в отходы [3].

В технологии газобетона ключевое значение имеет коэффициент заполнения автоклава, который для изделий, запариваемых без форм, должен находиться в диапазоне 0,3-0,4 [4]. Одинарное кантование способствует упрощению технологии, однако возникает проблема утилизации подрезного слоя, что для крупных предприятий приводит к образованию значительных объемов отходов газобетона [5]. В связи с этим возникает необходимость повторного использования данного материала [6] в качестве частичной замены песка при мокром помоле [7, 8].

Опыт применения модификаторов в производстве газобетона автоклавного твердения пока ограничен. Основные исследования в этой области сосредоточены на технологии пенобетона и бетонов неавтоклавного твердения [9]. В условиях дефицита информации о влиянии минеральных добавок на свойства газобетона автоклавного твердения, актуальным становится изучение их воздействия на сохранение песочного шлама в процессе производства.

Целью данного исследования является анализ влияния минеральных модификаторов на стабильность песочного шлама в течение производственного цикла.

Для достижения поставленной цели было проведено исследование влияния минеральных модификаторов на качественные характеристики песочного шлама.

В рамках данного исследования были использованы следующие материалы:

Кварцевый песок с гранулометрическим составом Мкр 1,3, соответствующий требованиям ГОСТ 8736-2014. Данный материал характеризуется содержанием не менее 85% диоксида кремния (SiO_2), не более 0,5% слюды и не более 3% илистых или глинистых примесей.

Бой силикатного кирпича, представляющий собой фракцию зерен размером до 25 мм. Материал был получен из кирпичей с маркой по прочности М200, произведенных на заводе ООО КЗССМ (г.Казань, Республика Татарстан).

Гипсовый камень с содержанием дигидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) не менее 90%, добытый на Камско-Устинском месторождении (Республика Татарстан).

Кальциевая быстрогасящаяся известь с содержанием активных оксидов кальция и магния ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 76,1%, также произведенная на заводе ООО КЗССМ (г.Казань, Республика Татарстан).

Подготовка материалов осуществлялась следующим образом: в предварительно отобранный с завода ООО «Завод строительных материалов "Волга Блок"» (г.Волжск Республика Мари Эл) песочный шлам вводились исследуемые компоненты. Для изучения их влияния на физико-химические характеристики шлама оценивалось изменение показателя рН среды, плотности шлама и его расслоение методом седиментационного анализа.

Измерение рН среды проводилось на приборе Hanna рН 213, предварительно откалиброванном с использованием дистиллированной воды с известным значением рН 6,24. Калибровка прибора была выполнена в строгом соответствии с методическими рекомендациями производителя, что обеспечило высокую точность и воспроизводимость результатов измерений.

Исследование плотности песочного шлама проводилось с использованием мерной емкости объемом 1 литр. Седиментационный анализ осуществлялся с помощью торсионных весов, которые позволяли фиксировать массу взвеси в определенные интервалы времени, что способствовало детальной оценке процесса седиментации.

В предыдущих исследованиях был разработан комплексный модификатор, включающий в себя бой силикатного кирпича, гипсовый камень и суперпластификатор СП-1 [10]. Данный состав, обогащенный пластификатором, был предложен в качестве эффективного комплексного модификатора (КМ) для достижения высокой прочности газобетона автоклавного твердения.

Было установлено, что комплексный модификатор может быть получен путем тонкого измельчения компонентов. Однако в ходе предыдущих исследований не было проведено изучение влияния компонентов модификатора на стабильность песочного шлама, в частности, на расслаиваемость.

В свете этого, в настоящей работе была проведена комплексная оценка возможности введения компонентов комплексного модификатора на стадии приготовления песочного шлама. Особое внимание уделялось анализу их влияния на процессы седиментации и гомогенизации песочного шлама. Результаты данного исследования могут представлять значительный интерес

для оптимизации технологического процесса производства газобетона и повышения его эксплуатационных характеристик.

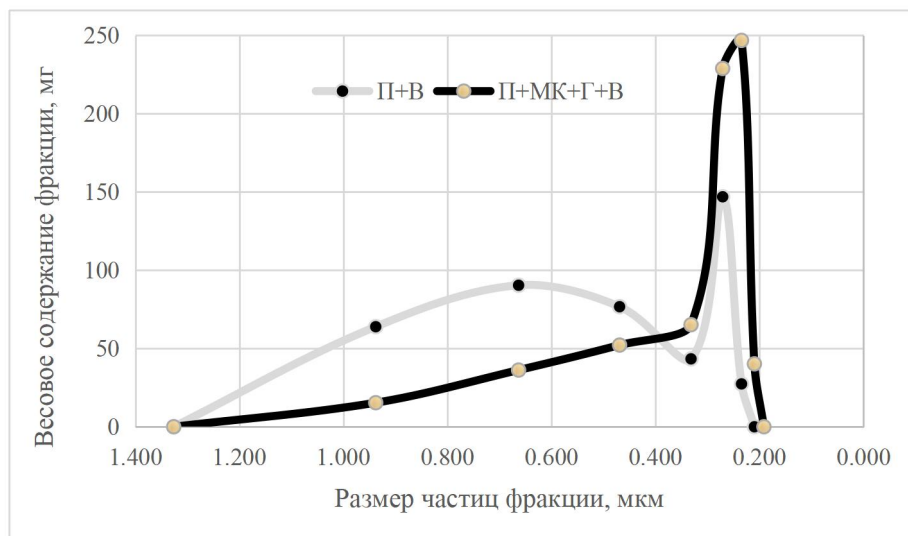


Рис.1. Распределение частиц песочного шлама по размерам при введении КМ:
обозначение П+В – песочный шлам;
П+МК+Г+В – песочный шлам с комплексным модификатором

Из представленных данных видно, что песочный шлам представляет собой неоднородную систему, состоящую преимущественно из двух типов частиц, что приводит к бимодальному распределению. При добавлении комплексного модификатора (КМ) в объеме 9 г в песочный шлам наблюдается значительное увеличение доли мелкой фракции (на 66%) и соответствующее двукратное снижение крупной фракции.

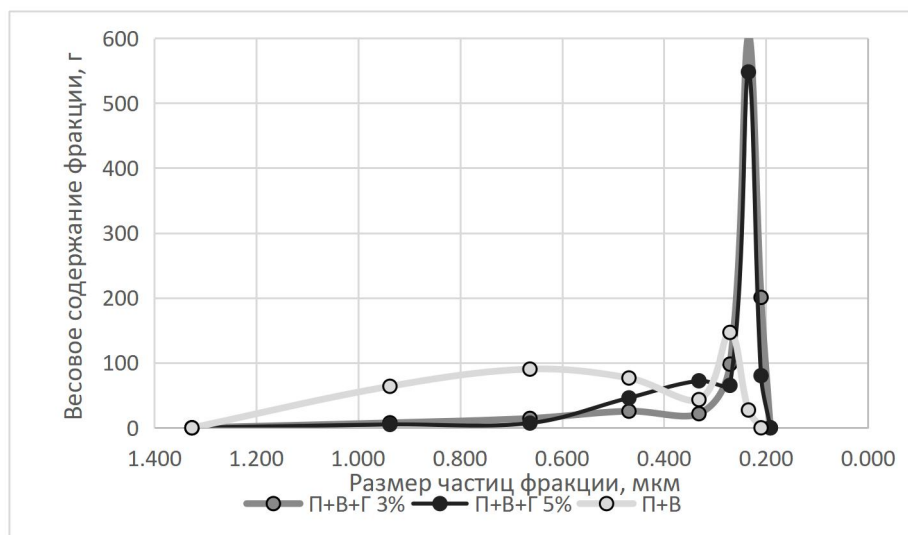


Рис.2. Распределение частиц песочного шлама по размерам
при введении гипсового камня: обозначение П+В+Г – песочный шлам
с гипсовым камнем; П+В – песочный шлам

В рамках исследования детально изучалось влияние каждого компонента модификатора на процесс оседания песочного шлама. Результаты добавления гипсового камня в песочный шлам показаны на рис.2.

На основании полученных результатов выявлено, что увеличение мелкой фракции песочного шлама как при 3% содержании гипсового камня в составе, так и при 5%, снижает его крупную фракцию. Можно сделать вывод, что, вероятно, гипс диспергирует песок в шламе.

Далее проведено исследование влияния молотого кирпича на седиментацию песочного шлама. Результаты представлены рис.3.

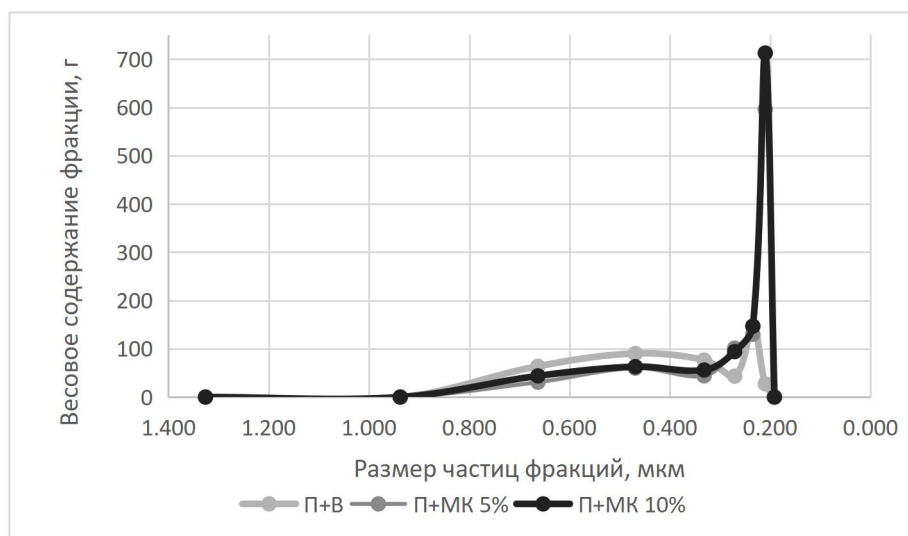


Рис.3. Распределение частиц песочного шлама по размерам при введении молотого кирпича:

обозначение П+В – песочный шлам; П+МК – песочный шлам с молотым кирпичом

Экспериментальное исследование, в рамках которого изучалось воздействие молотого кирпича на гранулометрический состав песочного шлама, показало значительное увеличение содержания мелких частиц и незначительное уменьшение доли крупных. Эти результаты свидетельствуют о том, что добавление молотого кирпича в песочный шлам изменяет распределение частиц по размерам, что может существенно повлиять на технологические свойства конечного продукта.

Кроме того, в рамках данного исследования было проведено комплексное изучение pH-характеристик компонентов модификатора КМ, включая песочный шлам, гипсовый камень и молотый кирпич. Поскольку эти материалы обладают различными значениями pH, варьирующимися от кислотных до щелочных, то основной целью было оценить степень растворимости гипсового камня в процессе приготовления газобетонной смеси. Результаты этого анализа представлены на рис.4.

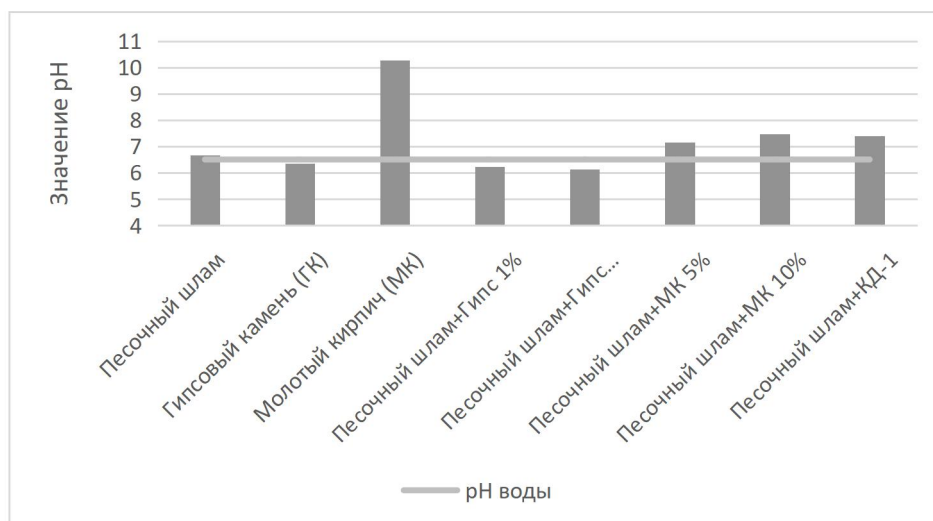


Рис.4. Значение pH среды шлама

Результаты анализа показывают, что песочный шлам и гипс обладают кислой средой, с показателями pH 6,68 и 6,35 соответственно. Молотый кирпич, напротив, характеризуется щелочной средой с pH 10,26. При добавлении 5% молотого кирпича к песочному шламу кислотность последнего нейтрализуется, и pH повышается до 7,15. Увеличение доли молотого кирпича до 10% приводит к дополнительному повышению pH песочного шлама на 5%. Важно отметить, что pH смеси песочного шлама с гипсовым камнем остаётся неизменным (6,2) независимо от пропорций компонентов. Совместное введение молотого кирпича и гипса также не изменяет pH песочного шлама по сравнению с добавлением 10% молотого кирпича в чистом виде.

Установлено, что осветление суспензии, состоящей из 2%-го молотого кирпича и песочного шлама, происходит за 6 минут, в то время как чистый песочный шлам осветляется за 8 минут.

Для оценки устойчивости песочного шлама с известью было проведено исследование, результаты которого представлены на рис.5.

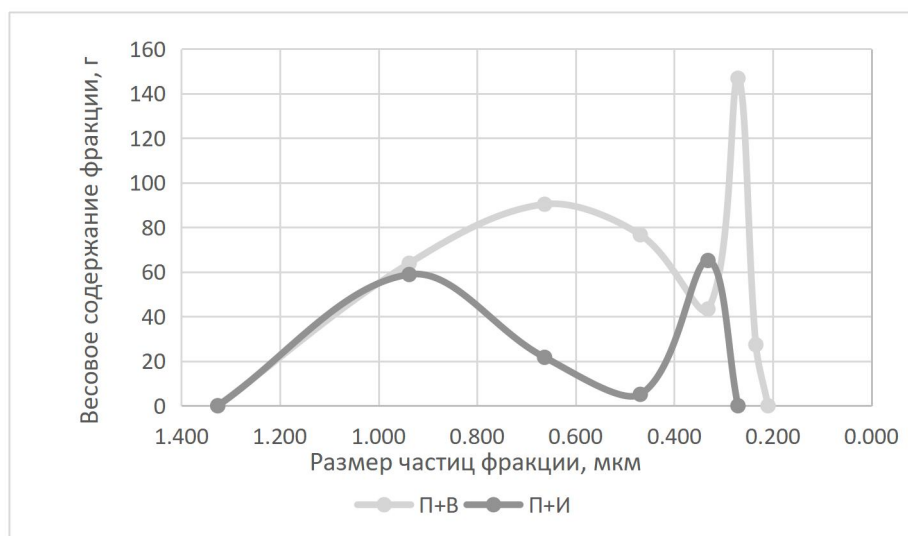


Рис.5. Распределение частиц песочного шлама по размерам при введении извести

На основании полученных экспериментальных данных можно констатировать, что добавление извести в песочный шлам вызывает трансформацию кислотной среды в щелочную. В свою очередь, изменение pH песочного шлама индуцирует ускоренное осаждение дисперсных частиц, что проявляется в сокращении времени седиментации до 4 минут для суспензии с концентрацией 2%.

Выводы:

1. Анализ кислотно-щелочного баланса.

Исследования показали, что песочный шлам и гипс характеризуются кислыми значениями pH, равными 6,68 и 6,35 соответственно. В отличие от них, молотый силикатный кирпич демонстрирует ярко выраженную щелочную природу с pH 10,26. Это свидетельствует о его способности значительно влиять на кислотно-щелочной баланс среды.

2. Модификация кислотной среды.

Инкорпорация молотого силикатного кирпича в песочный шлам в количестве 5% приводит к нейтрализации кислотного характера среды и смещению pH до 7,15, что указывает на начало процесса нейтрализации. При увеличении доли молотого кирпича до 10% наблюдается дальнейшее повышение щелочности, что выражается в приросте pH на 5% по сравнению с первоначальным значением. Это свидетельствует о том, что молотый силикатный кирпич является эффективным агентом для модификации кислотных сред.

3. Влияние гипсового камня.

В отличие от молотого силикатного кирпича, введение гипсового камня в песочный шлам не оказывает существенного влияния на уровень pH. Значение pH остается стабильным на уровне 6,2, независимо от соотношения компонентов, что указывает на инертность гипсового камня в данном контексте.

4. Совместное воздействие молотого кирпича и гипса.

При совместном добавлении молотого силикатного кирпича и гипса в песочный шлам наблюдается значение pH, аналогичное таковому при использовании 10% молотого кирпича в отдельности. Это свидетельствует о синергетическом эффекте между этими двумя материалами в контексте модификации кислотно-щелочного баланса.

5. Ускорение процесса осаждения.

Модификация pH песочного шлама из кислотного в щелочной диапазон посредством введения извести способствует значительному ускорению процесса осаждения дисперсных частиц. Время седиментации для суспензии с концентрацией 2% сокращается до 4 минут, что указывает на высокую эффективность извести в ускорении коагуляции и осаждения частиц.

Библиографический список:**References:**

- | | |
|--|--|
| 1. Кузнецова Г.В. Исследование влияния дисперсных добавок на свойства автоклавного газобетона/ Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова, И.Д. Юсупов// Строительные материалы. 2018. - № 5. – С. 20-23. | Kuznetsova G.V. Study of the effect of dispersed additives on the properties of autoclaved aerated concrete/ G.V. Kuznetsova, N.N. Morozova, I.D. Yusupov// Construction Materials. 2018. - No. 5. – pp. 20-23. |
| 2. Вагапов Р.Ф. Строительные материалы на основе промышленных отходов Республики Башкортостан / Р.Ф. Вагапов, Д.А. Синицин, А.А. Оратовская, Тэненбаум Г.В // Известия КГАСУ. – 2012. - №4. – С. 279-283. | Vagapov R.F. Building materials based on industrial waste of the Republic of Bashkortostan / R.F. Vagapov, D.A. Sinitsin, A.A. Oratovskaya, Tenenbaum G.V. // Izvestiya KGASU. – 2012. - No. 4. – pp. 279-283. |
| 3. Кузнецова Г. В. Силикатный кирпич и автоклавный газобетон с использованием отходов собственного производства / Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова, В.В. Клоков, С.Р. Зигангараева // Строительные материалы. – 2016. - №4. – С. 76-79. | Kuznetsova G. V. Silicate bricks and autoclaved aerated concrete using waste from their own production / G.V. Kuznetsova, N.N. Morozova, V.V. Klovok, S.R. Zigangaraeva // Construction materials. – 2016. - №4. – P. 76-79. |
| 4. Сажнев. Н.П. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика/ Н.Н. Сажнев, Н.Н Сажнева., Н.М Голубев – Минск: Стринко, 2010. – 464 с. | Sazhnev. N.P. Production of cellular concrete products. Theory and practice/ N.N. Sazhnev, N.N Sazhneva., N.M Golubev – Minsk: Strinko, 2010. – 464 p. |
| 5. Пастушков П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона/ П.П. Пастушков //Технологии бетонов. – 2016. - №3-4. – С. 20-23. | Pastushkov P.P. Calculation of the operational humidity of autoclave aerated concrete/ P.P. Pastushkov //Concrete technologies. – 2016. - No. 3-4. – Pp. 20-23. |
| 6. Вдовин Е. А., Буланов П. Е., Мавлиев Л. Ф. Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32. | Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries. // Izvestiya KGASU. 2021. No. 3 (57). Pp. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32. |
| 7. Зоткин А. Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне // Бетон и железобетон. 1994. №3. С. 7-9. | Zotkin, A. G. The micro-filling effect of mineral additives in concrete // Concrete and reinforced concrete. 1994. No. 3. Pp. 7-9. |
| 8. Беляков А.Ю., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Функционализированный минеральный наполнитель – эффективный модификатор цементных бетонов // Известия КГАСУ, 2023, № 3(65), с.45-56, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_45, EDN: FCPOKY. | Belyakov A.Yu., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Functionalized Mineral Filler as an Effective Modifier for Cement Concretes // Izvestiya of Kazan State Architectural University, 2023, No. 3(65), pp. 45-56, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_45, EDN: FCPOKY. |
| 9. Усов Б.А. Ячеистые бетоны с химическими добавками и редиспергаторами / Б.А. Усов, Т.Н. Горбунова // Системные технологии.2015 | Usov, B.A. Cellular concretes with chemical additives and redispersants / B.A. Usov, T.N. Gorbunova // System Technologies.2015 - No. 16. – Pp. 115- |

- №16. – С. 115-126.		126.
10.	Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Потапова Л.И., Клоков В.В. Комплексная добавка для автоклавного газобетона //Строительные материалы .2017. №5. С.36-40.	Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Potapova L.I., Klovov V.V. Complex additive for autoclaved aerated concrete //Building materials .2017. No. 5. Pp. 36-40.

ХУЗИАХМЕТОВА Карина Рустамовна

ассистент Казанского государственного
архитектурно-строительного университета,
Казань, Россия, karina261996@mail.ru

KHUZIAKHMETOVA Karina R.

assistant, Kazan State University of
Architecture and Engineering, Kazan,
Russia, karina261996@mail.ru

МАТВЕЕВ Константин Сергеевич

магистр Казанского государственного
архитектурно-строительного университета,
Казань, Россия, kosma8@bk.ru

MATVEEV Konstantin S.

Student, Kazan State University of
Architecture and Engineering, Kazan, Russia,
kosma8@bk.ru

АБДРАХМАНОВА Ляйля Абдулловна

д.т.н., профессор Казанского государственного
архитектурно-строительного университета,
Казань, Россия,
laa@kgasu.ru

ABDRAKHMANOVA Lyayla A.

Doctor of Engineering, professor, Kazan
State University of Architecture and
Engineering, Kazan, Russia,
laa@kgasu.ru

НИЗАМОВ Рашид Курбангалиевич

д.т.н., профессор Казанского государственного
архитектурно-строительного университета,
Казань, Россия, nizamov@kgasu.ru

NIZAMOV PASHIT K.

Doctor of Engineering, professor, Kazan
State University of Architecture and
Engineering, Kazan, Russia,
nizamov@kgasu.ru

**МОДИФИКАЦИЯ НАПОЛНЕННЫХ ПВХ-
КОМПОЗИЦИЙ АКРИЛОНИТРИЛ-
БУТАДИЕН-СТИРОЛОМ**

**MODIFICATION OF FILLED PVC
COMPOSITIONS WITH
ACRYLONITRIL-BUTADIENE-
STYRENE**

Аннотация: Исследована наполненная мелом жесткая ПВХ-композиция, модифицированная акрилонитрил-бутадиен-стиролом. Установлено, что комбинация акрилонитрил-бутадиен-стирола и мела проявляет уникальное сочетание свойств: ударная вязкость возрастает в 3 раза, сохраняется высокая прочность при изгибе и твердость (+20% и +30%, соответственно), а также увеличивается относительное удлинение на 16%. Материал приемлем с точки зрения экструзионной переработки. Результаты подтверждают перспективность использования разработанной композиции для производства навивных ПВХ-профилей для канализационных коллекторов.

Abstract: A chalk-filled rigid PVC composition modified with ABS has been studied. It has been found that the combination of ABS and chalk exhibits a unique combination of properties: the impact strength increases by a factor of 3, while the exural strength and hardness remain high (+20% and +30%, respectively), and the elongation increases by 16%. The material is suitable for extrusion processing. The results confirm the potential of using the developed composition for the production of spiral PVC profiles for sewer.

Ключевые слова: поливинилхлорид, акрилонитрил-бутадиен-стирол, канализационные коллекторы, санация, модификация, жесткие ПВХ-композиции,

Keywords: polyvinyl chloride, acrylonitrile-butadiene-styrene, sewerage collectors, sanitation, modification, rigid PVC compositions, extrusion,

Введение.

Канализационные системы играют ключевую роль в обеспечении санитарного состояния городов и населённых пунктов, способствуя безопасному удалению сточных вод и предотвращению загрязнения окружающей среды. Однако срок службы канализационных коллекторов подходит или уже подошёл к концу (рисунок 1) [1].

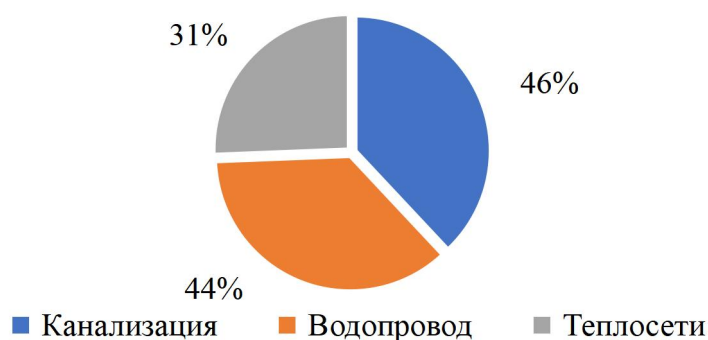


Рис.1. Износ сетей по данным Минстроя РФ [1]

В связи с тем актуальной задачей становится повышения надежности и долговечности данных систем [1]. Одним из перспективных направлений для восстановления канализационных коллекторов является использование навивных профилей, изготовленных из поливинилхлорида (ПВХ) [2, 3].

ПВХ является широко используемым материалом в строительной отрасли благодаря своей высокой коррозионной стойкости, легкости обработки и доступности. Однако, несмотря на свои преимущества, чистый ПВХ имеет определенные ограничения, такие как низкая ударная вязкость, склонность к термической деструкции, высокая вязкость расплава и т.д. [4]. Модификация ПВХ акрилонитрил-бутадиен-стиролом (АБС) позволяет значительно улучшить эти характеристики, обеспечивая тем самым более высокую прочность и устойчивость к механическим воздействиям [5, 6].

Комбинирование полимеров ПВХ и АБС дает возможность создать композитные материалы, которые могут эффективно функционировать в условиях, характерных для систем водоотведения [7]. Навивные профили, изготовленные из данной композиции, способны показывать улучшенные эксплуатационные характеристики, а также повысить долговечность и надежность канализационных систем [8].

В данной работе рассматриваются наполненные мелом жесткие ПВХ-композиции, модифицированные АБС, для производства навивных профилей. Производится оценка технологических и эксплуатационных свойств наполненной мелом ПВХ-композиций с отечественным модификатором ударной прочности АБС.

Материалы и методы.

В качестве основных компонентов были использованы: порошкообразный ПВХ марки С-6359-М (ГОСТ 14332-78); комплексный стабилизатор в виде двухосновного стеарата свинца марки АКСТАВ Pb BLS 51 (CAS 56189-09 -4), стабилизатор-смазка - стеарат кальция (ТУ 6-09-4104-87), модификатор ударной прочности АБС-20П и наполнитель – гидрофобизированный мел (ОМУАСАРВ 1Т-КА). Состав ПВХ-композиций приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав ПВХ-композиций

Компонент	Концентрация, м.ч.
ПВХ	100
Двухосновный стеарат свинца	5
Стеарат кальция	3
АБС	100
Мел	5

Перемешивание всех компонентов осуществлялось на лабораторном диссольтере с трехлопастной пропеллерной насадкой серии ЛДУ-3 МПР при 700 об/мин в течение 4 мин.

Профильные ПВХ-композиции были получены на лабораторном двухшнековом экструдере LabTech Scientific LTE 16-40 с фильерой прямоугольного сечения (22×2 мм).

Прочность при растяжении σ_r определялась, на пяти предварительно вырубленных образцах (тип 2) ГОСТ 11262-2017, на разрывной машине GOTECH AI-7000M (Тайвань) при скорости перемещения траверсы 100 мм/мин.

Изгибающее напряжение σ_f определяли на 5 образцах размерами 8,0×2,2 см на разрывной машине РМ-250 при скорости растяжения образцов 50 мм/мин.

Ударная вязкость по Шарпи определялась на маятниковом копре НТ-2412 с энергией маятника 5 Дж и скоростью движения в момент удара 2,9 м/с при температуре 23±2 °С на заранее вырубленных образцах типа «3/179-1» с V-образным надрезом типа «А» по ГОСТ 4647-2015.

Твердость определяли на твердомере WPM LEIPZIG 300/436 путем вдавливания металлического шарика диаметром 5 мм в поверхность образца под действием нагрузки 62,5 кг/см². Для расчета твердости измеряются два расположенные вертикально друг к другу диаметра отпечатка на поверхности образца с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 (ТУ 3-3.824-78).

Высокоразрешающая сканирующая электронная микроскопия проводилась в междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» на универсальном аналитическом комплексе сканирующей автоэмиссионной электронной микроскопии Merlin компании CarlZeiss при ускоряющем

напряжении первичных электронов 5 кВ и зондовом токе 300 пА для минимального воздействия на объект исследования. Количественное определение содержания элементов на поверхности сополимеров осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе «Merlin» компании «CarlZeiss» с помощью спектрометра энергетической дисперсии «INCA X-MAX».

Результаты и обсуждение результатов.

В таблице 2 представлены технологические свойства ПВХ-композиций, изготовленных на экструдере при скорости вращения шнеков 25 об/мин. Из представленных данных следует то, что при введении АБС (без наполнителя) снижает загрузку двигателя, что связано с высоким ПТР самого сополимера, который должен повысить текучесть композиции. В работе [9] было обозначено, что гидрофобизированный мел практически не влияет на текучесть композиций на основе смесей полимеров. Поэтому для композиций ПВХ+АБС и ПВХ+АБС+Мел наблюдается практически одинаковые показатели по давлению в фильере и разбуханию экструдата, зависящие от вязкости расплава. Однако загрузка двигателя наполненной композиции ПВХ+АБС+Мел повышается ввиду высокой насыпной плотности нерасплавленной смеси, подающейся в загрузочный бункер экструдера.

Таблица 2

Технологические свойства ПВХ-композиций

Композиция	Загрузка двигателя, % от max	Давление в фильере, бар	Разбухание экструдата
ПВХ	46	13	1,59
ПВХ+АБС	35	15	1,40
ПВХ+АБС+Мел	47	16	1,37

Диаграммы деформирования ПВХ-композиций являются типичными для жестких полимеров (рис.2). Причем важно то, что деформации относятся не к пластическим (необратимым), а к вынужденным эластическим (обратимым при определенных условиях). Академиком Александровым было отмечено то, что деформация вынужденной эластичности при $T < T_{ст}$ необратима, и лишь при $T > T_{ст}$ образец может восстанавливать форму и размеры – частично или полностью в зависимости от текучести полимера [10].

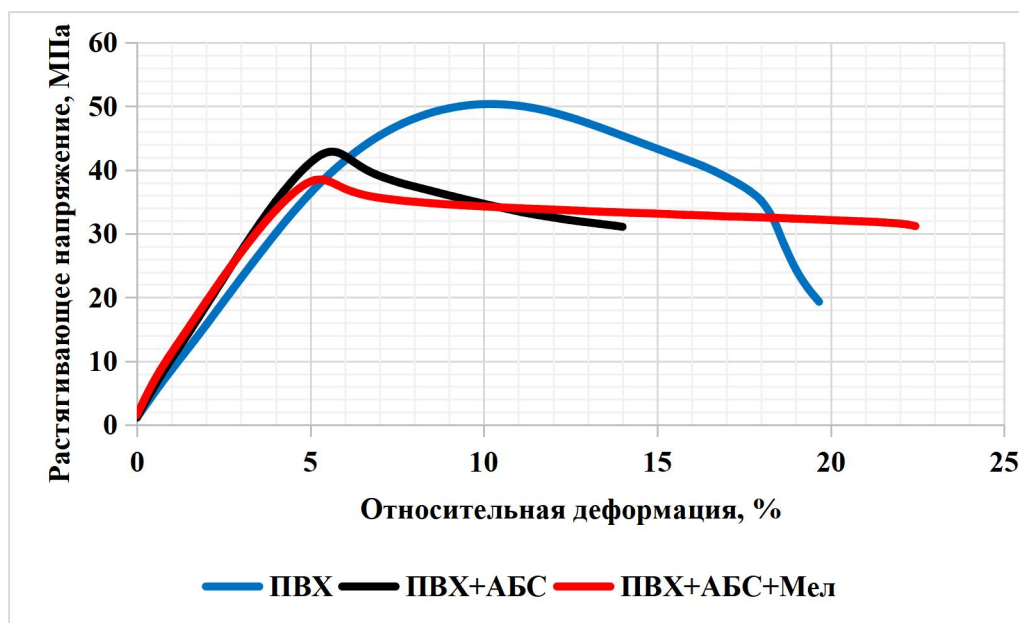


Рис.2. Диаграммы деформирования при растяжении ПВХ-композиций

В самых высоких точках кривой происходит утончение материала и возникает «шейка», что в дальнейшем способствует увеличению удлинения образца. Длина шейки растет до тех пор, пока не распространится на всю рабочую зону. Образование «шейки» связано с увеличением свободного объема за счет микроразрывов слабых цепей, приводящих к образованию микротрещин.

Из диаграмм ПВХ и ПВХ+АБС следует, что композиционный материал является упругим с низкой способностью к деформированию из-за накопления большой упругой энергии, которую при разрушении ПВХ-матрица не способна поглотить (рис.2). Материал прочен, но не энергоемок при разрушении и поэтому обладает низкой живучестью. Применение материала в конструкции требует использования высокого значения коэффициента запаса прочности.

В композиции ПВХ+АБС+Мел прочность образцов снижается, но при этом в разы увеличивается «живучесть» материала, которую можно оценить как площадь под кривой деформирования. Большие обратимые деформации, отвечающие плато на кривой ПВХ+АБС+Мел, обусловлены перемещением сегментов макромолекул под действием внешнего напряжения, что свидетельствует о наилучшем совмещении ПВХ и АБС в присутствии мела.

Следует отметить повышение прочности при разрыве в присутствии мела на 61% и относительного удлинения на 16%. Логично снижение прочности при растяжении и условного предела текучести в композиции ПВХ+АБС на 24% и 11%, соответственно, которое может быть связано с образованием свободного объема в структуре композитов (таблица 3) [11].

Известен факт снижения модуля упругости полимерных композиций в присутствии второго полимера. Аналогичное явление было обнаружено в композициях ПВХ+АБС в сравнении с ПВХ, где модуль упругости снизился на 18%. Однако введение мела повысило модуль упругости композиции ПВХ+АБС+Мел на 10% в сравнении с ПВХ+АБС.

Таблица 3

Деформационно-прочностные свойства ПВХ-композиций

Показатель	ПВХ	ПВХ+АБС	ПВХ+АБС+Мел
Прочность при растяжении, МПа	50,34	42,85	38,49
Прочность при разрыве, МПа	19,33	31,09	31,20
Условный предел текучести, МПа	39,00	39,42	34,95
Относительное удлинение, %	19,7	14,0	23
Модуль упругости, МПа	2723	2252	2481

По сравнению с немодифицированной композицией, АБС повышает ударную вязкость композитов в случае с ПВХ+АБС в 6 раз, а ПВХ+АБС+Мел – в 3 раза (рис.3).

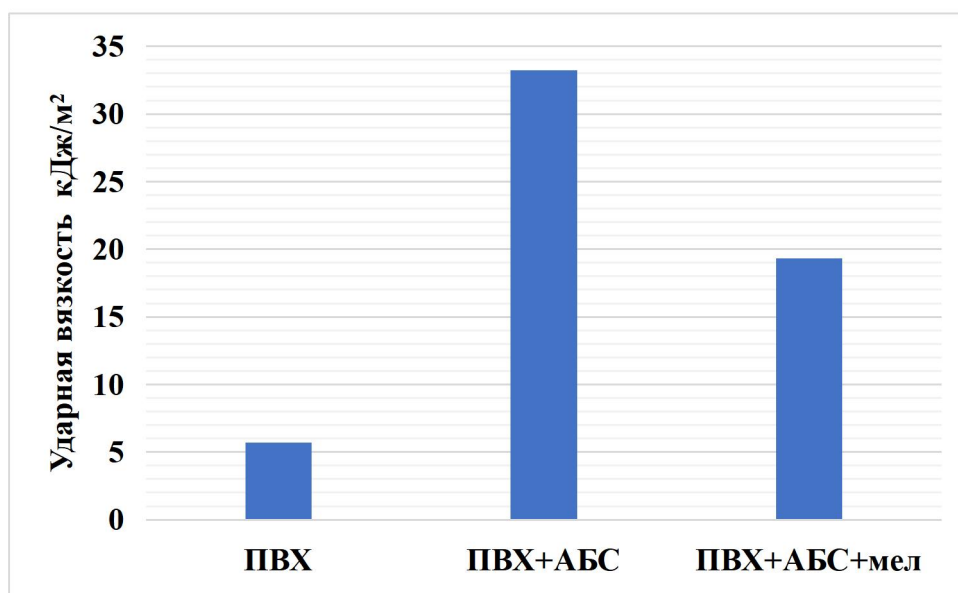
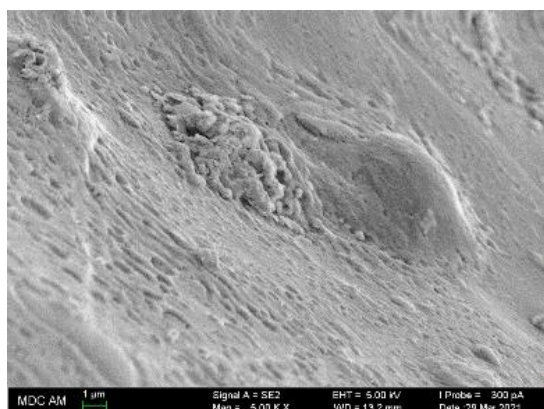
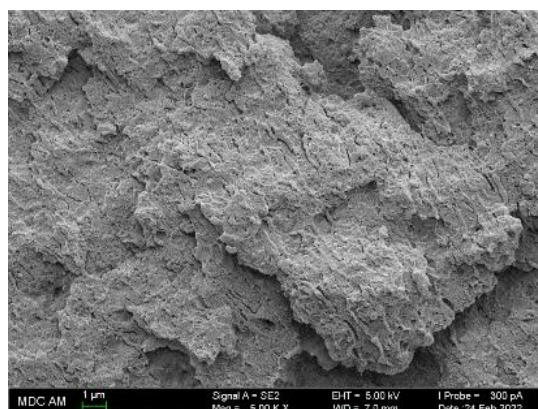


Рис.3. Ударная вязкость ПВХ-композиций

Для обоснования эффективности модификатора ударной прочности АБС приведены результаты сканирующей электронной микроскопии. На рисунке 4 представлены микрофотографии поверхности хрупкого скола ПВХ-композиций при увеличении $\times 5000$ крат.



ПВХ



ПВХ+АБС

Рис.4. Микрофотографии ПВХ-композиций (увеличение $\times 5000$)

Очевидно то, что имеет место образование двух непрерывных структур за счет того, что АБС и ПВХ имеют полярные группы (в АБС – акрилонитрильные, в ПВХ – хлор). Кроме того, в АБС есть полибутадиеновая фаза (ядро), поглощающая развитие трещин в своем присутствии, что и объясняет повышение ударной вязкости с 5,71 до 33,2 кДж/м².

Прочность при изгибе и твердость находится практически на одном уровне в случае ПВХ и ПВХ+АБС, а введение наполнителя повышает прочность при изгибе на 20% и твердость на 30% по сравнению с ПВХ (рис.5).

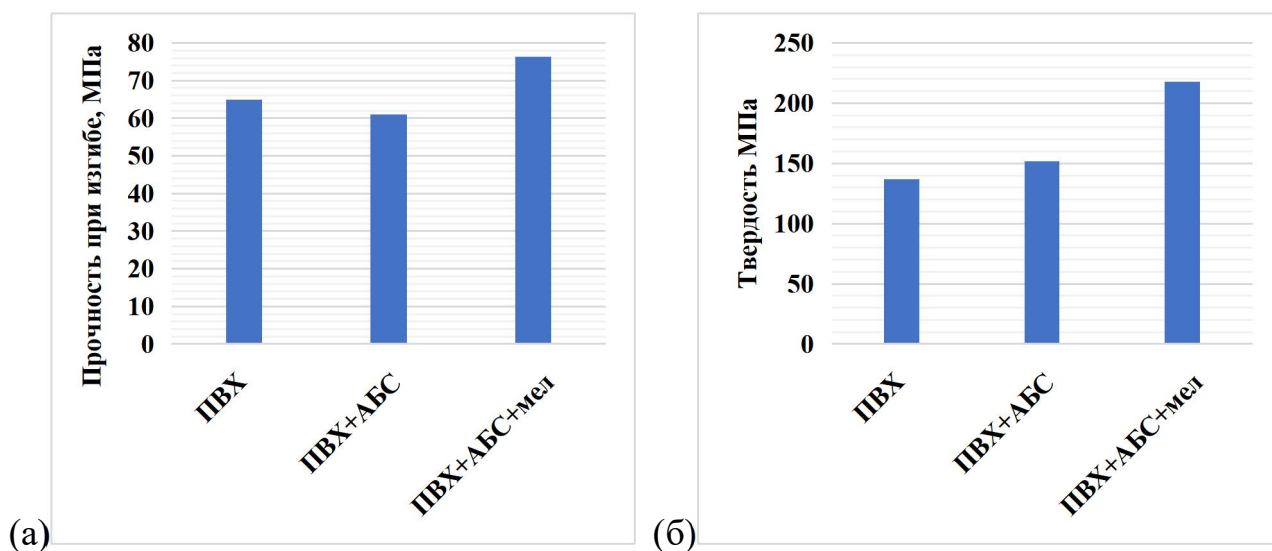


Рис.5. Эксплуатационные свойства: а – Прочность при изгибе, б – Твердость

Это связано с тем, что АБС полностью модифицирует дисперсионную среду в композиции, как это следует из энергодисперсионного анализа (рис.6).

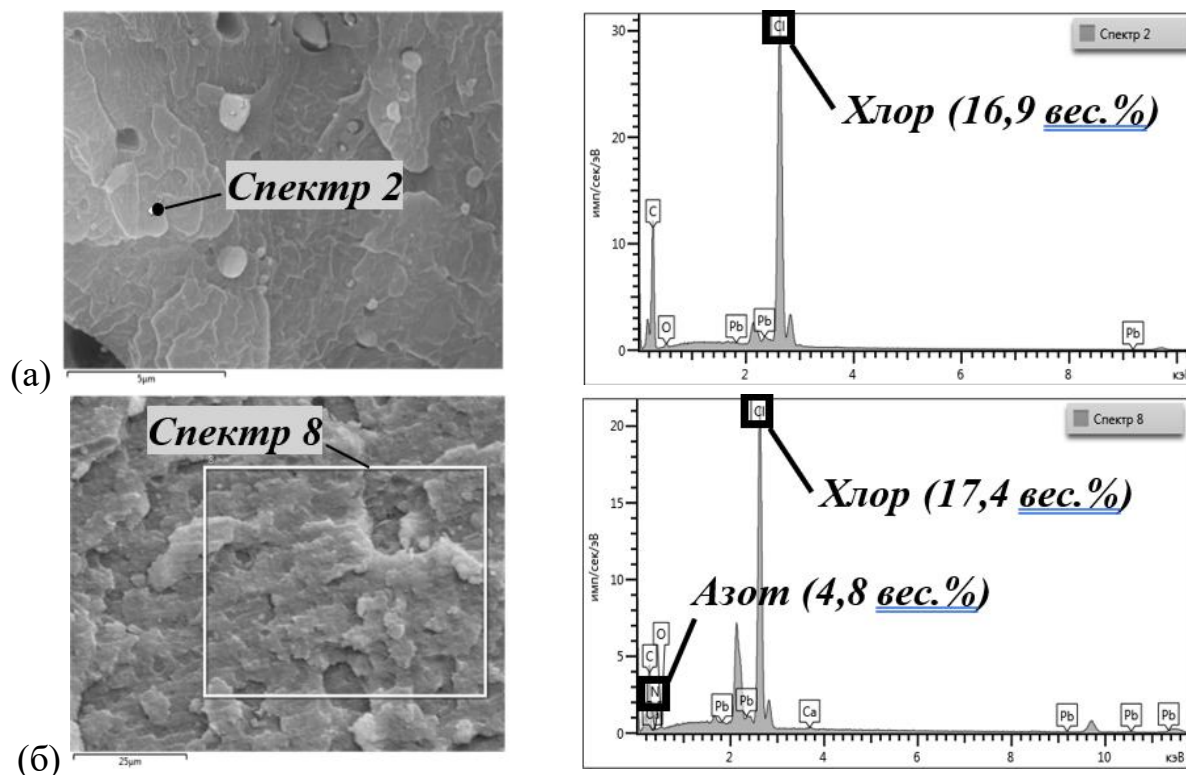


Рис.6. Энергодисперсионный анализ дисперсионной среды: а – ПВХ; б – ПВХ+АБС

Таким образом, при добавлении АБС наблюдается снижение прочности на растяжение на 15%, однако введение мела увеличивает модуль упругости на 10%, прочность при разрыве на 60% и деформативность на 40%. При этом прочность при изгибе и твердость у ПВХ и ПВХ+АБС сопоставима, а добавление наполнителя повышает прочность на 20% и твердость на 30%. Это следует из элементного анализа, по которому АБС оказывает модифицирующее действие на дисперсионную среду ПВХ.

Благодаря образованию непрерывных структур и полибутадиеновому ядру АБС, которое поглощает развитие трещин, АБС увеличивает ударную вязкость ПВХ-композиций в 6 раз, а при добавлении мела – в 3,5 раза.

Библиографический список:**References:**

- | | | |
|---|---|--|
| 1 | В российских регионах изношена почти половина сетей канализации // Национальное информационное агентство. 2022 | Almost half of Russia's sewage networks are worn out // National News Agency. 2022. URL: https://nia.eco/ (accessed on 24.04.2025). |
| 2 | Исламов, А. Вспененные древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида / А. Исламов, В. Фахрутдинова // Конспекты лекций по гражданскому строительству : Материалы STCCE 2021. Избранные статьи, Швейцария, 28 апреля 2021 года. Том 169. – Швейцария: SPRINGER INT. | Islamov, A. Foamed Wood-Polymer Composites Based on Polyvinyl Chloride / A. Islamov, V. Fakhrutdinova // Lecture Notes in Civil Engineering : Proceedings of STCCE 2021. Selected Papers, Switzerland, 28 апреля 2021 года. Vol. 169. – Switzerland: SPRINGER INT |
| 3 | Хантимиров А. И. др. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, армированного хризотил-асбестом // Науч.-практ. матер. Технология. 2025. Т. 10, № 1. С. 49-56. | Khantimirov A. и др. Wood-polymer composites based on polyvinyl chloride reinforced with chrysotile asbestos // J. Adv. Mater. Technol. 2025. V. 10, № 1. P. 49–56. |
| 4 | Паушкин Я.М., Адельсон С.В., Вишнякова Т.П. Технология нефтехимического синтеза. Часть 2. М.: Химия, 1985. 608 с. | Pauskin Ya.M., Adelson S.V., Vishnyakova T.P. Technology of Petrochemical Synthesis. Part 2. M.: Chemistry, 1985. 608 p. |
| 5 | Антонов, Д.О. Шарафутдинов Р.Ф. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида и промышленных отходов // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Международная молодёжная научная конференция: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 томах, Казань, 08–10 ноября 2017 года. Том I. Казань: Издательство Академии наук РТ, 2017. С. 223–229. | Antonov, D.O. Sharafutdinov R.F. Composite materials based on polyvinyl chloride and industrial waste // XXIII Tupolev Readings (School of Young Scientists): International Youth Scientific Conference: Conference Proceedings. Collection of Reports: in 4 volumes, Kazan, November 08–10, 2017. Volume I. Kazan: Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2017. Pp. 223–229. |
| 6 | Рабинович Э.Б., Лакатус Э., Саммерс Дж.У. Механизм смазывания систем стеарат кальция/парафин в ПВХ-компаундах // J. Vinyl Technol. 1984. Т. 6, № 3. | Rabinovitch E.B., Lacatus E., Summers J.W. The lubrication mechanism of calcium stearate/paraffin wax systems in PVC compounds // J. Vinyl Technol. 1984. V. 6, № 3. |
| 7 | Хузиахметова К. и др. Влияние волокнистого наполнителя на структуру и свойства смесей поливинилхлорида / акрилонитрил-бутадиен-стирола // Науч.-практ. матер. Технология. 2021. Т. 6, № 4. С. 291-298. | Khuziakhmetova K. и др. Influence of fiber filler on the structure and properties of polyvinyl chloride / acrylonitrile-butadiene-styrene blends // J. Adv. Mater. Technol. 2021. V. 6, № 4. P. 291–298. |
| 8 | Состояние канализационных коллекторов, причины их разрушения в городах России, способы их восстановления // Трубопровод. РФ. 2013. URL: http://трубопровод.рф/ (дата обращения | The condition of sewage collectors, the causes of their destruction in Russian cities, and methods of their restoration // Truboprovod. RF. 2013. URL: http://truboprovod.rf/ (accessed on |

	22.04.2025).	22.04.2025).
9	Хузиахметова К.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand. 2024. Т. 3, № 69. С. 6–14.	Khuziakhmetova K.R., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand. 2024. Vol. 3, No. 69. Pp. 6–14.
10	Дорожкин В.П., Галимова Е.М. Химия и физика полимеров : Учебное пособие. Нижнекамск: НХТИ КНИТУ, 2013. 240 с.	Dorozhkin V.P., Galimova E.M. Chemistry and Physics of Polymers: Textbook. Nizhnekamsk: NKhTI KNRTU, 2013. 240 p.
11	Кулезнев В.Н. Смеси и сплавы полимеров (конспект лекций). СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 216 с.	Kuleznev V.N. Mixtures and Alloys of Polymers (Lecture Notes). St. Petersburg: Scientific Foundations and Technologies, 2013. 216 p.

КУЗНЕЦОВА Галина Васильевна

инженер, Казанский государственный
архитектурно-строительный университет,
Казань, Россия,
тел.+7 960 052 84 09
Kuznetzowa.gal@yandex.ru

KUZNETSOVA Galina V.

Engineer, Kazan State University of
Architecture and Civil Engineering, Kazan,
Russia, tel.+7 960 052 84 09
Kuznetzowa.gal@yandex.ru

САДЫКОВА Алия Ирековна

Студент Казанского государственного
архитектурно-строительного университета,
Казань, Россия, тел.+79625740745
aliya.sadykova@mail.ru

SADYKOVA Aliya.I.

Student of Kazan State University of
Architecture and Civil Engineering, Kazan,
Russia, tel. +79625740745
aliya.sadykova@mail.ru

**МОДИФИКАЦИЯ ИЗВЕСТКОВО-
КРЕМНЕЗЕМИСТОГО ВЯЖУЩЕГО
ДОБАВКОЙ БОЯ НЕОКРАШЕННОГО
СТЕКЛА**

**MODIFICATION OF CALCIUM-
SILICEUM BINDING BY ADDITION OF
UNCOLORED GLASS SHARDING**

В статье рассматриваются перспективы применения стеклобоя, содержащего кварц, в качестве частичной замены кварцевого песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего для производства силикатных прессованных изделий. Экспериментальные исследования показали, что интеграция стеклобоя в количестве от 5% до 15% в состав вяжущего увеличивает его водопотребность на 16%, снижает предельное напряжение сдвига на 14%, повышает прочность сырца на 25% и уменьшает водопоглощение на 10%. Однако повышенное содержание щелочных компонентов в составе стеклобоя оказывает негативное влияние на автоклавную прочность конечного продукта. Тем не менее, замена половины объема кварцевого песка на стеклобой позволяет достичь уровня прочности изделий 15МПа–20МПа, что удовлетворяет требованиям современного рынка строительных материалов.

Ключевые слова: бой стекла, известково-кремнеземистое вяжущее, песок.

The article discusses the prospects of using quartz-containing glass waste as a partial substitute for quartz sand in the composition of lime-silica binders for the production of silicate pressed products. Experimental studies have shown that integrating glass waste in amounts ranging from 5% to 15% into the binder increases its water demand by 16%, reduces its ultimate shear stress by 14%, increases its raw strength by 25%, and reduces its water absorption by 10%. However, the increased content of alkaline components in the glass waste has a negative effect on the autoclave strength of the final product. Nevertheless, replacing half of the quartz sand volume with glass waste allows to achieve a strength level of products 15MPa–20MPa, which meets the requirements of the modern market of building materials.

Key words: broken glass, lime-silica binder, sand.

Актуальной проблемой современных производств является утилизация отходов. Большую часть из них занимает бой искусственных стекол. Отходы из него несут вред природе, особенно когда разбиваются. На осколках разбитого стекла возникает коррозия, что приводит к выделению щелочи, которая, проникнув в почву, отравляет ее. Бой стекла может вызвать пожары: осколок является линзой для солнца, соответственно, через него может пройти солнечный луч [1]. На свалках он только вредит окружающей среде и занимает место, но на самом деле это эффективный вторичный ресурс, который можно правильно использовать в строительстве [2].

В производстве силикатных прессованных стеновых материалов природный песок традиционно применяется в количестве более 2 м³ на 1 тыс. шт. условного кирпича. Оптимизация затрат посредством замены природного песка альтернативными материалами представляет собой актуальную задачу, стимулирующую разработку новых технологий и материалов. Известны положительные результаты ввода в состав вяжущего небольших количеств цеолита - аморфного кремнезема [3]. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению использования отходов смежных отраслей в качестве сырьевых компонентов [4].

Переработка материалов, содержащих диоксид кремния (SiO₂), позволяет снизить финансовые издержки на производство при сохранении или улучшении эксплуатационных характеристик строительных изделий. В частности, стеклобой, образующийся в процессе строительства и являющийся компонентом твердых бытовых отходов, представляет собой перспективный вторичный ресурс. В Российской Федерации ежегодно на 1 млн. человек образуется 60–100 тыс. тонн битого стекла [5], что подчеркивает значительный потенциал его утилизации.

Одним из эффективных решений проблемы утилизации стекольных отходов в силикатной промышленности является их использование в качестве мелкозернистой добавки для улучшения гранулометрического состава кремнеземистой составляющей смеси. Известно, что смешивание песков различных фракций способствует оптимизации технологических параметров производства силикатных прессованных изделий, таких как формуемость, плотность, прочность и экономическая эффективность [6].

Исследования составов силикатных стеновых материалов направлены на повышение их водостойкости, поскольку влага является носителем агрессивных химических агентов [7]. Несмотря на то, что силикатные материалы традиционно характеризуются низкой водостойкостью по сравнению с керамическим кирпичом [9], современные научные разработки позволяют существенно улучшить этот показатель. Повышение водостойкости силикатных изделий расширяет область их применения и повышает конкурентоспособность на рынке строительных материалов [9].

Так, одним из вариантов решения вопроса использования боя стекла является применение его в качестве добавки в составе известково-

кремнеземистого вяжущего для производства силикатных прессованных стеновых изделий.

Для всестороннего анализа влияния добавки измельченного боя стекла в вяжущем на его физико-механические характеристики необходимо провести дополнительные исследования.

Исследование направлено на выяснение возможности использования стеклобоя в производстве прессованных силикатных изделий. В процессе работы решались следующие задачи:

1. Определение оптимального содержания стеклобоя в известково-кремнеземистом вяжущем.

2. Анализ воздействия добавки стеклобоя на физико-механические характеристики готовых изделий.

Известь кальциевая негашёная второго сорта, быстрогасящаяся, соответствует ГОСТ 9179–2018. В её составе содержится 78% активных $\text{CaO}+\text{MgO}$, время гашения составляет 4 минуты, а температура гашения достигает 69 °С. Производитель: г. Казань, ООО «КЗССМ».

Кварцевый речной песок. Насыпная плотность в сухом состоянии равна 1,45 т/м³.

Гранулометрический состав песка приведён в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав песка

	Номера сит							Модуль крупности
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16	
Частные остатки на сите, %	0	0,2	0,4	1,6	29,2	57,6	11	1,2
Полные остатки на сите, %		0,2	0,6	2,2	31,4	89	100	

Группа песка по ГОСТ 8736–2014 согласно п. 4.2.2– песок группы очень мелкий. Песок по ГОСТ 8736–2014 согласно п.п 4.3.1–4, и 4.4.1 относится к очень мелкому песку II класса.

Бой неокрашенного стекла. Стеклобой, рассматриваемый как потенциальный компонент сырьевой смеси, содержит значительное количество кварца. В бесцветном стекле его доля составляет от 70 до 74%. Однако, стеклобой также характеризуется повышенным содержанием щелочей, что в пересчете на Na_2O составляет 13-16%[10].

Для достижения оптимальных параметров стеклобоя и его интеграции в технологический процесс, измельчение битого стекла было проведено в два этапа с использованием лабораторной щековой дробилки марки ШД-10. Данный подход позволил существенно уменьшить размер частиц материала, что в свою очередь способствовало повышению его дисперсности и, как следствие, улучшению эксплуатационных характеристик.

Помол компонентов вяжущего осуществляли на лабораторном дисковом истирателе ИДА-175. Определение активных ($\text{CaO}+\text{MgO}$) в извести и вяжущем

осуществляли методом титрования. Пластифицирующий эффект и водоредуцирующее действие оценивали по методу В.И.Калашникова [11].

Смеси готовились по двухстадийной технологии. На первом этапе сухие компоненты перемешивались до однородного состояния. На втором этапе проводили затворение водой при температуре 90 °С.

Определение прочностных характеристик, водопоглощения образцов, а также подбор составов и их изготовление проводились в испытательной лаборатории Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Для исследования влияния добавки стеклобоя на состав известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ), были подготовлены смеси из дробленой извести, песка и стеклобоя для совместного помола. Эти составы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Составы известково-кремнеземистого вяжущего

	Состав известково-кремнеземистого вяжущего, %		
	известь	песок речной	стеклопесок
Известково-кремнеземистое вяжущее №1	50	50	0
Известково-кремнеземистое вяжущее №2	50	45	5
Известково-кремнеземистое вяжущее №3	50	25	25
Известково-кремнеземистое вяжущее №4	50	35	15

Для составов известково-кремнеземистого вяжущего были определены содержание активных оксидов кальция и магния ($\text{CaO}+\text{MgO}$) и тонина помола. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики известково-кремнеземистого вяжущего

	Содержание активных ($\text{CaO}+\text{MgO}$)	Удельная поверхность
	%	м ² /кг
Известково-кремнеземистое вяжущее №1	36	270,0
Известково-кремнеземистое вяжущее №2	37	280,0
Известково-кремнеземистое вяжущее №3	39	260,0
Известково-кремнеземистое вяжущее №4	39	250,0

В рамках исследования реологических характеристик порошков составов ИКВ № 1-4 были проведены комплексные эксперименты по определению их реологических параметров. Изменение водопотребности и подвижности оценивали по величине расплыва на границе гравитационной растекаемости. Результаты влияния варьирования водо-твердого отношения (В/Т) и предельного напряжения сдвига (τ) на реологические свойства порошков представлены на рисунках 1 и 2.

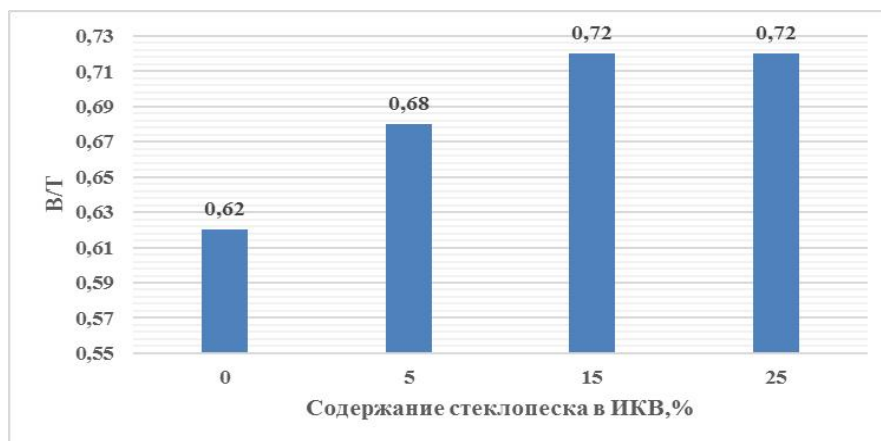


Рис.1. Зависимость водо-твердого отношения от содержания стеклопеска в ИКВ

Анализ результатов исследования демонстрирует, что варьирование содержания добавки в диапазоне от 5 до 15% в составе известково-кремнеземистого вяжущего привело к незначительным изменениям водопотребности смеси. Дальнейшее повышение концентрации добавки не оказало статистически значимого влияния на данный параметр.

Графическое представление динамики изменения предельного напряжения сдвига представлено на рисунке 2.

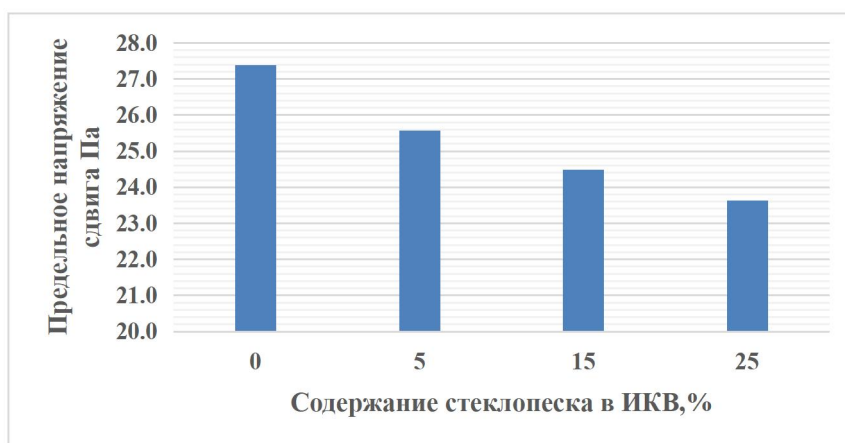


Рис.2. Изменение предельного напряжения сдвига от содержания стеклопеска в ИКВ

На основании проведенного анализа установлено, что увеличение содержания добавки в вяжущем композите привело к снижению предельного напряжения сдвига на 13,8%.

В рамках исследования были разработаны и оптимизированы составы формовочных смесей для вяжущих материалов № 1-4. Расчет составов осуществлялся на основе данных о содержании активных оксидов кальция (CaO) и магния (MgO) в контрольном составе известково-кремнеземистого вяжущего. Полученные результаты послужили основой для приготовления формовочных смесей. В состав известково-кремнеземистого вяжущего вводили необходимое количество стеклопеска и речной песок в заданной пропорции, после чего смесь тщательно перемешивали до достижения однородной консистенции. Затем добавляли расчетное количество воды и продолжали перемешивание до полного распределения компонентов. Для гашения извести в смеси с песком композиция выдерживалась при комнатной температуре в течение 1-1,3 часов. Готовность смеси определялась по снижению температуры до 30-40 °С.

После вторичного перемешивания из приготовленных смесей формовались образцы-цилиндры с высотой 60 ± 2 мм и диаметром 60 мм на гидравлическом прессе МС-125 при максимальной нагрузке 20 МПа. Через полчаса после изготовления образцов были проведены измерения их сырцової прочности и плотности. Результаты исследования представлены на рисунке 3.

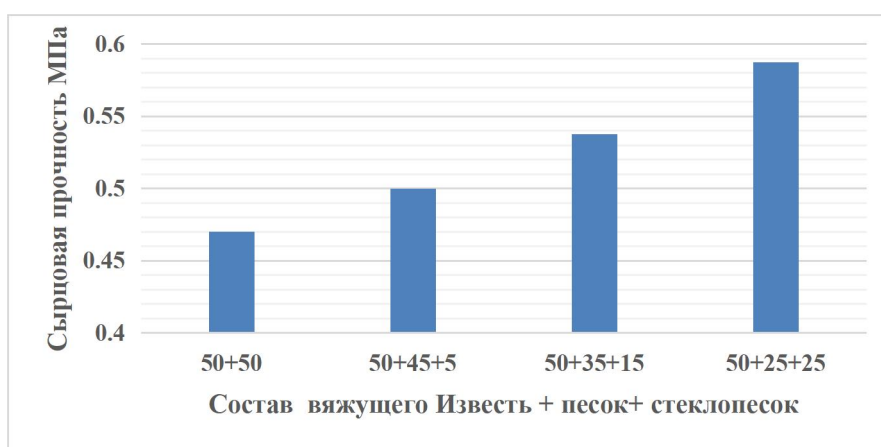


Рис.3. Влияние состава известково-кремнеземистого вяжущего на сырцовую прочность

Замена кварцевого песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего привела к значительному увеличению сырцової прочности (на 25%). Это подтверждает эффективность модификации рецептуры вяжущего материала, что свидетельствует о перспективности дальнейших исследований.

После проведения предварительных испытаний образцы были подвергнуты тепловлажностной обработке (ТВО) в промышленном автоклаве на производстве ООО «КЗССМ». В процессе ТВО образцы были запарены при давлении 0,9 МПа и температуре 183 °С по режиму 1,5+10+1,5 с. По

завершении ТВО была определена автоклавная прочность образцов, результаты которой представлены на рис.4.

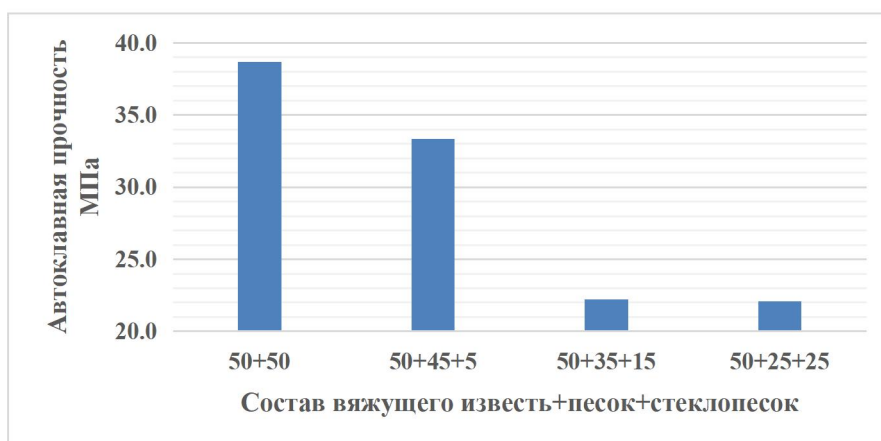


Рис.4. Зависимость автоклавной прочности от состава известково-кремнеземистого вяжущего

Анализ полученных экспериментальных данных демонстрирует, что введение всего 5% кварцевого песка в состав известково-кремнеземистого вяжущего приводит к статистически значимому снижению автоклавной прочности на 13,6%. Дальнейшее увеличение содержания кварцевого песка до 25% вызывает более существенное ухудшение прочностных характеристик, что выражается в потере прочности почти на 43%.

Дополнительно было проведено исследование водопоглощения образцов, результаты которого представлены на рисунке 5. Эти данные позволяют более детально оценить влияние модифицирования состава, вяжущего на его гидратационные свойства и структурную стабильность.



Рис.5. Влияние содержания добавки в ИКВ на водопоглощение

В рамках настоящего исследования была проведена замена традиционного кварцевого песка на его аналог - дробленый бой стекла в составе вяжущего сырьевой смеси для производства силикатных изделий. Анализ результатов сравнительных испытаний продемонстрировал

значительное улучшение физико-механических характеристик конечного продукта. В частности, было зафиксировано снижение водопоглощения на 10%, что является важным показателем повышения эксплуатационных свойств материалов.

Таким образом, проведенная модификация состава сырьевой смеси за счет замены кварцевого песка на стеклопесок в составе известковокремнеземистого вяжущего позволила существенно улучшить эксплуатационные характеристики силикатных изделий, сохраняя при этом их соответствие требованиям, предъявляемым к современным строительным материалам.

Выводы

Анализ экспериментальных данных позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Частичная замена кварцевого песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего в диапазоне от 5 до 15% вызывает увеличение водопотребности вяжущего на 10-16%. Данный эффект обусловлен изменением гранулометрического состава и физико-химических свойств вяжущей системы.

2. В результате частичной замены кварцевого песка от 5 до 15% в составе известково-кремнеземистого вяжущего наблюдается снижение предельного напряжения сдвига на 9-13,8%. Это снижение связано с модификацией структуры и реологических характеристик вяжущего, что приводит к изменению его сырьевой прочности.

3. Частичная замена кварцевого песка в известково-кремнеземистом вяжущем способствует повышению сырьевой прочности материала. Этот эффект может быть объяснен улучшением физико-химических взаимодействий между компонентами вяжущей системы, что приводит к формированию более прочных межзерновых связей.

4. Частичная замена кварцевого песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего вызывает снижение водопоглощения конечного изделия до 10%. Данный эффект обусловлен изменением пористости и капиллярной структуры материала, что уменьшает его способность поглощать воду.

Библиографический список:**References:**

- | | |
|---|--|
| <p>1. Исследователи Красноярского научного центра СО РАН, Сибирского федерального университета, Тюменского государственного университета, Россия. //Журнал Яндекс Практикума.2023. https://thecode.media/high-strength-building-material/.</p> <p>2. Коротаев С.А., Атманзин А.Ф., Коротаев Н.С., Ерофеев В.Т. Материал с крупным заполнителем на обжиговой поризованной связке, полученной с использованием стеклобоя // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 86-90. Doi:10.51608/26867818_2023_1_86.</p> <p>3. Морозова Н.Н., Гуляков Е.Г. Свойства бетона на цеолитсодержащем вяжущем // Известия КГАСУ, 2023 № 2 (64), с. 27-39, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_27, EDN: LCQWVC</p> <p>4. Хозин В. Г. Перспективы развития отрасли строительных материалов в свете использования вторичных ресурсов//Полимеры в строительстве: научный Интернет-журнал № 1 (11), 2023.</p> <p>5. Баруздин А.А., Закревская Л.В. Перспективы рециклинга в строительстве для создания инновационных композиционных материалов // Умные композиты в строительстве. 2023. Т.4, вып.3. С.29-54.</p> <p>6. Кузнецова Г.В., Усманов Н.Н., Мифтахова Д.И., Кадырова Н.Э. Исследование влияния группы песка на структуру песочных смесей в производстве прессованных изделий // Строительные материалы. 2022. № 6. С. 67–74. – https://doi.org.ru.</p> <p>7. Ким Л.В., Леонович С.Н. Долговечность морских железобетонных конструкций // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 92-101, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.8, EDN: IUWITN</p> <p>8. Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А., Низовских А.П., Хафизова Э.Н. Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность // Строительные материалы. 2020. № 11. С. 24–29. DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-24-29</p> | <p>Researchers from the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Federal University, and Tyumen State University, Russia. //Yandex Practicum Magazine.2023. https://thecode.media/high-strength-building-material/.</p> <p>Korotayev S.A., Atmanzin A.F., Korotayev N.S., Erofeev V.T. Material with a large filler on a fired porous binder obtained using broken glass // Expert: Theory and Practice. 2023. No. 1 (20). Pp. 86-90. Doi:10.51608/26867818_2023_1_86.</p> <p>Morozova N.N. It's Gulyakov.G. Concrete properties of zeolite today we see // Notices of KGASU, 2023 Urga 2 (64), P. 27-39, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_27, EDN: LCQWVC</p> <p>Khozin V. G. Prospects for the Development of the Construction Materials Industry in the Light of the Use of Secondary Resources//Polymers in Construction: Scientific Internet Journal No. 1 (11), 2023.</p> <p>Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V. Prospects for Recycling in Construction for the Creation of Innovative Composite Materials // Smart Composites in Construction. 2023. Vol.4, issue.3. P.29-54.</p> <p>Kuznetsova G.V., Usmanov N.N., Miftakhova D.I., and Kadyrova N.E. Research on the Influence of Sand Group on the Structure of Sand Mixtures in the Production of Compressed Products // Construction Materials. 2022. No. 6. Pp. 67–74. – https://doi.org.ru</p> <p>Kim L.V., Leonovich S.N. Durability of Marine Reinforced Concrete Structures // Izvestiya KGAZU, 2025, No. 1(71), pp. 92-101, DOI: 0.48612/NewsKSUAE/71.8, EDN: IUWITN</p> <p>Panchenko Yu.F., Panchenko D.A., Nizovskikh A.P., Khafizova E.N. The Effect of Long-Term Storage of Silicate Bricks in Water on Their Strength // Construction Materials. 2020. No. 11. Pp. 24–29. DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-24-29</p> |
|---|--|

9.	Войтович В. А., Яворский А. А. Реалии и перспективы силикатного кирпича // Construction materials. 2012. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/realii-i-perspektivy-silikatnogo-kirpicha-1 .	Voitovich V. A., Yavorsky A. A. Realities and Prospects of Silicate Brick // Construction Materials. 2012. No. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/realii-i-perspektivy-silikatnogo-kirpicha-1 .
10.	Калатоzi В., Минько Н. И. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. №. 1. С. 82-88. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5a5dbf09319de9.71561256 .	Kalatozi V., Minko N. I. The use of broken glass in the technology of construction materials // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2018. No. 1. Pp. 82-88. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5a5dbf09319de9.71561256 .
11	Калашников В.И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения //Технология бетонов. 2015. № 11-12. - С.27-35.	Kalashnikov V.I. How to turn old-generation concretes into high-performance new-generation concretes //Concrete Technology. 2015. No. 11-12. - C.27-35.

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор	доктор технических наук, профессор Хозин В.Г.
Заместитель главного редактора	доктор технических наук, профессор Абдрахманова Л.А.
Помощник главного редактора	Синцова Л.В.
Технический администратор	Фалеев В.И.

Адрес редакции:

420043, Российская Федерация, Республика Татарстан,
г.Казань, ул.Зеленая, д.1, КГАСУ, кафедра ТСМИК
Интернет: <http://polymer.kgasu.ru>
E-mail: polymer.kgasu@yandex.ru

**Регистрационный номер издания,
как средства массовой информации**
Эл № ФС77-56829 от 29.01.2014г.

Учредитель сетевого издания
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»

Дата размещения на сайте
26 ноября 2025 года

Минимальные системные требования, необходимые для доступа к изданию:

- операционная система: Windows/Linux/Mac;
- частота процессора: от 100 MHz и выше;
- оперативная память: 64 Mb;
- память на жестком диске: 20 Mb;
- необходимые программы: Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше;
- Internet-браузер, совместимый с вашей операционной системой.