

С. В. КАЗНАЧЕЕВ¹

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
г. Саранск, Россия

КОМПОЗИТЫ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ТВЕРЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

***Аннотация.** Проблема утилизации промышленных отходов с каждым годом становится все более острой. Экологическая ситуация в нашей стране и во всем мире неуклонно ухудшается. Природные ресурсы, используемые человеком, так же сокращаются, что так же обуславливает необходимость их замены на альтернативные источники. В связи с этим все более актуальной является проблема получения эффективных композиционных строительных материалов и изделий, с применением отходов производства. Перспективным направлением решения данной проблемы является применение технологии контактно-конденсационное твердения. В статье приведены результаты исследования прочностных свойств композитов, изготовленных с применением пыли цементного производства, боя стекла и шлака. Приводятся результаты исследования физико-механических свойств и стойкости в условиях воздействия агрессивных сред. Исследованы различные способы совмещения компонентов данных композитов. В результате получены материалы на основе промышленных отходов, обладающие улучшенными прочностными характеристиками, стойкие к воздействию различных агрессивных сред.*

***Ключевые слова:** строительные материалы, экологические проблемы, промышленные отходы, вторичные ресурсы, технология контактно-конденсационного твердения.*

S. V. KAZNACHEEV¹

¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

CONTACT-CONDENSING HARDENING COMPOSITES WITH THE USE OF INDUSTRIAL WASTE

***Abstract.** The problem of industrial waste disposal is becoming more acute every year. The environmental situation in our country and around the world is steadily deteriorating. Natural resources used by humans are also declining, which also necessitates their replacement with alternative sources. In this regard, the problem of obtaining effective composite construction materials and products using industrial wastes is becoming increasingly urgent. A promising direction of solving this problem is application of contact-condensing hardening technology. The article presents the results of the study of strength properties of composites made using cement dust, glass and slag. The results of the study of physical and mechanical properties and resistance under the conditions of aggressive media are given. Various ways of combining components of these composites have been investigated. As a result, industrial waste materials having improved strength characteristics, resistant to various aggressive media are obtained.*

***Keywords:** construction materials, ecological problems, industrial waste, secondary resources, technology contact condensation*

Введение

В последнее время перед человечеством возникает большое количество новых вызовов, связанных с индустриализацией общества и ростом производства и потребления различной продукции. Экологическая ситуация в нашей стране и во всем мире неуклонно ухудшается. В связи с этим решение к решению экологической проблемы необходимо подключение специалистов в различных областях знания. Так вопрос утилизации промышленных отходов с каждым годом становится все более острой. Кроме того, возникает проблема ресурсосбережения и экономии природных ресурсов, количество которых сокращается, что обуславливает

необходимость их замены на альтернативные источники, какими могут являться отходы промышленного производства.

Проблема комплексного использования вторичного сырья, в том числе отходов тепловой энергетики, цементной, металлургической и стекольной промышленности в настоящее время является весьма актуальной. Данный вопрос неоднократно озвучивался, в том числе в «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года». Несомненно, что применение вторичных ресурсов является одним из важнейших направлений ресурсосбережения в современном строительстве [1–5]. Это связано с необходимостью охраны окружающей среды, дефицитностью отдельных сырьевых материалов, необходимостью повышения эффективности производства. Среди всего многообразия техногенных отходов можно выделить такие ресурсы как пыль цементного производства, бой стекла и шлак. Они являются эффективными вторичными ресурсами, которые могут быть использованы в строительной индустрии при получении связующих, бетонов и конструкций на их основе [1, 2].

Перспективным направлением получения эффективных композиционных строительных материалов и изделий, в том числе на основе промышленных отходов, является использование технологий, основанных на принципах контактно-конденсационного твердения [6, 7]. Использование принципов контактно-конденсационного твердения позволило предложить низкоэнергоемкую технологию получения широкой номенклатуры строительных материалов [6–9]. Данная технология позволяет получать композиционные материалы требуемой для строительных целей прочности, без значительных энергетических и трудовых затрат. При этом технологические приемы не отличаются сложностью и зачастую не требуют серьезного изменения производственных линий. Кроме того, ее применение способствует значительному сокращению технологического цикла и получению композиционных материалов с высокой «мгновенной» прочностью. Это обусловлено тем, что в момент приложения высокого внешнего давления в изделиях создаются стесненные условия, и процессы структурообразования протекают качественно по-другому и завершаются не за несколько часов, а за цикл прессования. Благодаря применению принципов контактно-конденсационного твердения многими авторами были проведены исследования, позволившие осуществить ряд разработок в различных областях строительного материаловедения, доказывающих несомненную практическую ценность предложенной технологии [10–17].

Часть исследований была проведена и с использованием вторичных сырьевых ресурсов, что доказало эффективность получения композитов контактно-конденсационного твердения с применением промышленных отходов [18–25]. Однако работа в данной области требует более полных исследований свойств и долговечности материалов, оптимизации составов и технологии изготовления данных композитов.

Экспериментальная часть

Сырьевые материалы. В проведенных исследованиях были использованы образцы пыли вращающихся печей, уловленных электрофильтрами трех цементных печей: №5, №7, №8 АО «Мордовцемент» (Республика Мордовия, пос. Комсомольский). Все перечисленные печи работают по мокрому способу производства клинкера. Отбор проб проводили из шнекового транспортера, который расположен в нижней части электрофильтра. Он предназначен для транспортировки уловленной пыли пневмовинтовому насосу. Пробы отбирались несколько раз с интервалом около часа. В заводской лаборатории были определены химические составы усредненных проб пыли-уноса (табл. 1).

Таблица 1 – Усредненный химический состав пыли цементного производства

Оксид	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п
Содержание, %	42,46	11,37	2,41	2,08	0,60	3,90	0,49	6,9	29,43

По итогам проведенных исследований химического состава первоначальной и декарбонизированной цементной пыли сделать следующие выводы: Пыль из печей первоначального состояния представляет собой продукт с большим содержанием карбоната кальция (CaCO_3) - кальцита (около 38-47 % по массе), который служит источником карбонатных ионов при образовании спуррита и тиллеита, а также щелочных солей ($\text{K}_2(\text{CaCO}_3)_2$, $\text{Na}_2(\text{CaCO}_3)_2$). В составе декарбонизированных при температуре 1000 °С проб цементной пыли не отмечается наличие тиллеита, но сохраняется спуррит.

Тонкоизмельченный бой стекла – отход производства Саранского электролампового завода. Плотность в сухом состоянии 860–870 кг/м³. Удельная поверхность 3000–3500 см²/г. Химический состав боя стекла приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Химический состав боя стекла

Оксид	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	BaO	MgO	Fe ₂ SO ₃	Al ₂ O ₃
Содержание, %	68,5–72,9	11,9–16,7	1,2–3,8	5,0–6,0	2,2–5,5	3,2–3,8	0,1–0,12	1,0–1,5

Тонкоизмельченный шлак – отход производства Саранского литейного завода ОАО «Центролит». Данные шлаки являются гранулированными и в соответствии с ГОСТ 5578-2019 классифицируются как кислые (см. табл. 3).

Таблица 3 – Химический состав шлака

Оксид	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	SO ₃
Содержание, %	42-49	22-28	2-6	3-6	2-6	10-12	0,3-0,7

Модели и методы

В ходе проведения экспериментов было изготовлено несколько партий образцов по технологии контактно-конденсационного твердения при давлении прессования от 10 до 200 МПа, а также контрольные составы по технологии виброуплотнения. Образцы, изготовленные по технологии контактно-конденсационного твердения, получались двустороннем прессованием в течении 10 с. Объектом исследования в данной работе были составы, подвергнутые термовлажностной обработке и отверждённые в нормальных условиях в течение 28 суток. После укладки образцы, подвергаемые термовлажностной обработке, в течение 1 сут твердели при нормальных условиях, а затем в условиях термовлажностной обработки по режиму 1,5+6+2 ч с температурой изотермического цикла 90 °С. Было произведено исследование свойств композитов на основе пыли цементного производства, наполненных боем стекла и шлаком, а так же бинарным наполнителем (стеклобой и шлак в соотношении 1 : 1).

При подборе составов многокомпонентных систем и разработке технологии их приготовления использовали методы математического планирования эксперимента. Варьируемые факторы выбирались с учетом критерия оптимизации. Для установления пределов варьирования были использованы предварительные эксперименты, что позволило проводить опыты в максимальной близости к области оптимума. При проведении эксперимента, представленного в этой работе, использовался двухфакторный план Коно с количеством опытов, равным 9.

Результаты исследования и их анализ.

По описанной выше методике нами были изготовленные композиты на основе пыли цементного производства наполненные боем стекла и шлаком (рис. 1). Как было сказано ранее в момент приложения высокого внешнего давления в образцах создаются стесненные условия, и процессы структурообразования протекают качественно по-другому. В процессе прессования было зафиксировано отжатие части поверхностной воды, которая регулирует количество межслоевой воды. По-видимому, в данный момент происходят процессы, обусловленные фазовыми превращениями и перестройкой пористой структуры.

Проведенные исследования свидетельствуют о значительном увеличении прочности композитов в результате приложения внешнего механического давления. Так в зависимости от вида и процентного содержания наполнителя, а также способа отверждения, прочность на сжатие композитов контактно-конденсационного твердения, изготовленных при давлении 200

МПа до 5 раз выше, чем у композитов аналогичного состава, полученных по стандартным технологиям. При этом было подтверждено значительное сокращение технологического цикла.

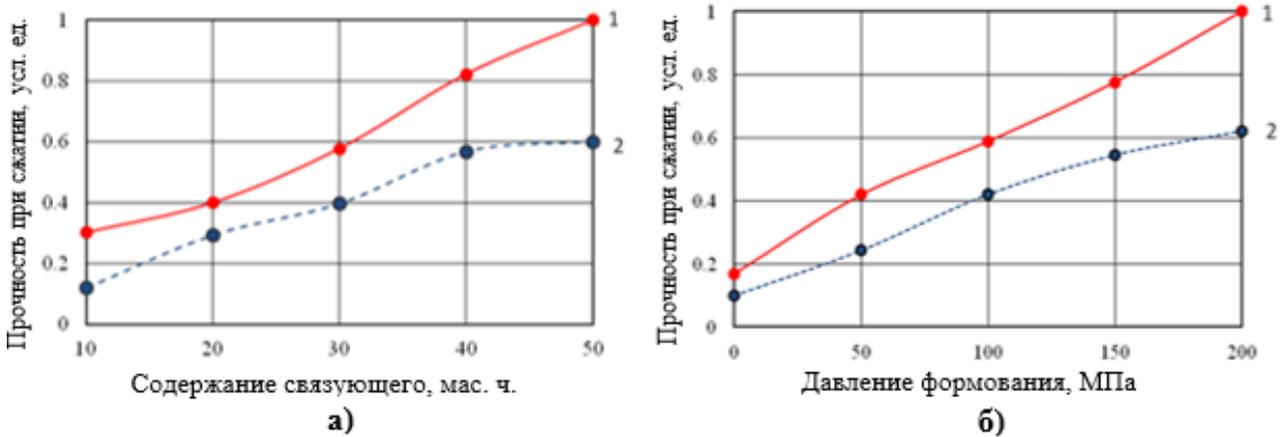


Рисунок 1 – Зависимость изменения прочности при сжатии композитов на основе цементной пыли, наполненных боем стекла: а) от содержания связующего, б) от давления формования
 1 – композиты, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;
 2 – композиты, отвержденные в нормальных тепло-влажностных условиях

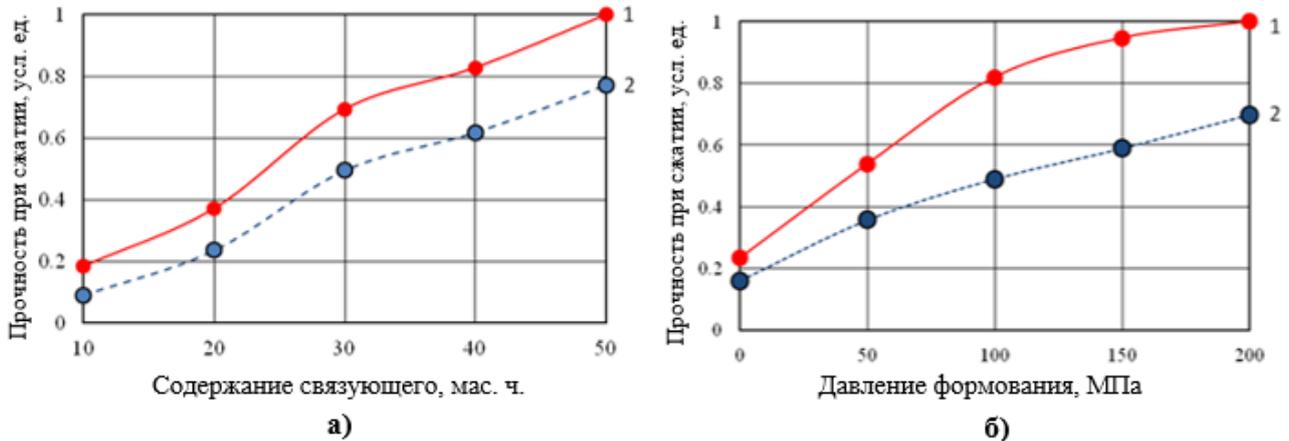


Рисунок 2 – Зависимость изменения прочности при сжатии композитов на основе цементной пыли, наполненных шлаком: а) от содержания связующего, б) от давления формования
 1 – композиты, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;
 2 – композиты, отвержденные в нормальных тепло-влажностных условиях

Несколько отличающийся характер изменения прочности и пористости наполненных композитов, по-видимому, объясняется различной сжимаемостью порошков. Так, например кривая зависимости роста прочности от давления формования композитов, наполненных боем стекла, носит более монотонный характер по сравнению с композитами, наполненными шлаком.

Кроме того, вид и количество используемых компонентов оказывает значительное влияние и на оптимальный режим отверждения. В зависимости от содержания связующего и давления прессования превышение прочности композитов, отвержденных в режиме термовлажностной обработки, может достигать 40 % по сравнению с аналогичными составами, твердевшими в нормальных условиях. По-видимому, термовлажностная обработка активизирует щелочные оксиды, входящие в состав стекла, уровень pH среды увеличивается и процессы структурообразования протекают более интенсивно

Было отмечено что изменение прочности и пористости имеют прямую взаимосвязь: с уменьшением пористости прочность растет. При этом наиболее интенсивно рост прочности происходит при давлении прессования до 50 МПа, при дальнейшем его увеличении тенденция

изменения сохраняется, но носит менее ярко выраженный характер. Это свидетельствует о том, что повышение давления формования свыше 50 МПа менее эффективно и с экономической, и с технологической точек зрения.

Правильный выбор способа помола и последующего совмещения используемых компонентов является одной из важнейших технологических особенностей получения строительных композитов с высокими эксплуатационными свойствами. Для установления наиболее предпочтительных режимов мы вводили в бой стекла (или) шлак в состав образцов путем совместного помола или раздельным помолом композитов с их последующим совмещением. Исследования проведены с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали план Коно, состоящий из 9 опытов. Варьируемыми факторами служили: X_1 – содержание наполнителя; X_2 – давление формования. Было установлено, что оптимальные режимы совмещения компонентов зависят от вида наполнителя и его количества. В качестве примера рассмотрим изготовление малонаполненных композитов (до 30 % наполнителя на 100 мас. ч связующего) на основе бинарного наполнителя (шлак + стеклобой). Максимальная прочность образцов, изготовленных с применением технологии совместного помола, наблюдается при содержании наполнителя в количестве 20–30 % от массы связующего. При применении технологии раздельного помола компонентов с последующим их совмещением максимальная прочность образцов наблюдается при содержании наполнителя в количестве 10 и 30 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего. Максимальная прочность зафиксирована при 30 мас. ч. наполнителя и давлении формования 200 МПа (рис. 3).

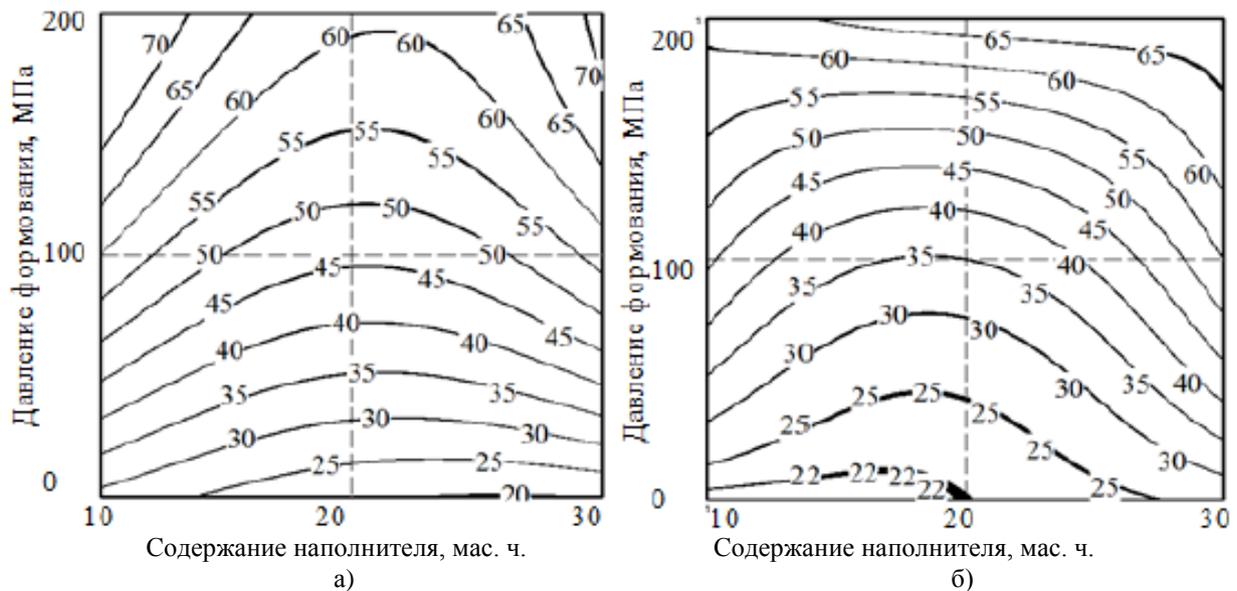


Рисунок 3 – Зависимость изменения прочности цементных композитов, наполненных бинарным наполнителем, полученных: а) путем раздельного помола компонентов с их последующим совмещением, б) совместного помола

На втором этапе исследования нами была исследована стойкость композитов контактно-конденсационного твердения к воздействию различных агрессивных сред и проведено сравнение с показателями традиционных композитов.

Известно, что стойкость бетонов в условиях воздействия большинства агрессивных сред во многом определяется пористостью материала, при увеличении которой повышается его проницаемость и в результате процессы деструкции идут более интенсивно, снижается прочность композитов и т.д. В связи с тем, что композиты обладают повышенной плотной упаковкой частиц, было высказано предположение о их повышенной устойчивости к воздействию различных агрессивных сред.

Одной из важнейших характеристик строительных композитов является их водостойкость, т.к. вода обладает высокой проникающей способностью и оказывает деструктивное воздействие практически на все виды композитов. Результаты испытания составов на основе цементной пыли, боя стекла и шлака, показали, что вид наполнителя, так и способ отверждения связующих оказывают значительное влияние на их стойкость.

У композитов контактно-конденсационного твердения, полученных на основе цементной пыли и выдержанных в воде с течением времени прочность возрастает. Однако, не смотря на общую тенденцию в изменении коэффициента водостойкости композитов, видно, что кривые носят несколько различающийся характер в зависимости от способа изготовления и вида наполнителя. Использование в качестве наполнителя боя стекла приводит к значительному повышению коэффициента водостойкости (до 25 % по сравнению с контрольными бездобавочными составами). У составов, отвержденных условиях термовлажностной обработки коэффициент стойкости на 10–15 % выше, чем у составов, отвержденных в естественных условиях (рис. 4 а).

Далее были проведены исследования, направленные на изучение химической стойкости композитов контактно-конденсационного твердения. Деградация под воздействием щелочи оценивалась по изменению массосодержания и коэффициенту стойкости, определяемому как относительное изменение предела прочности при сжатии после выдерживания в щелочном растворе. Была определена стойкости исследуемых композитов к воздействию щелочи. Как видно из графиков, у композитов, выдержанных в 5% растворе NaOH, с течением времени прочность снижается (рис. 4 б). Наивысшим показателем коэффициента стойкости характеризуются композиты контактно-конденсационного твердения, наполненные боем стекла и подверженные термовлажностной обработке (так после 90 суток выдерживания данный показатель составил 0,78). Композиты с аналогичными составами, изготовленные по технологии виброуплотнения обладают меньшим коэффициентом химической стойкости, величина которого за эти же сроки составляет 0,64.

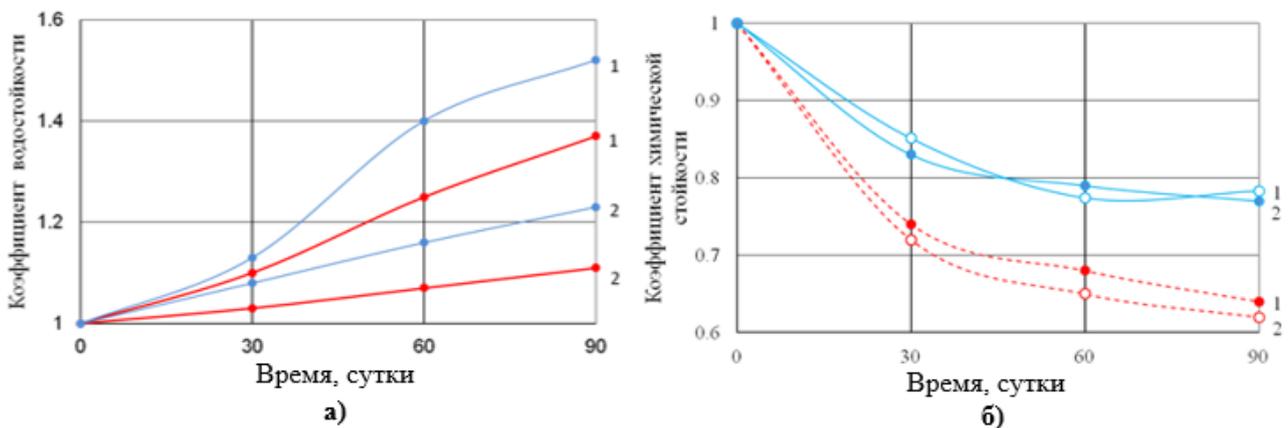


Рисунок 4 – Стойкость композитов на основе цементной пыли, наполненных боем стекла от способа изготовления и длительности испытания к воздействию: а) воды; б) щелочи
 — составы, изготовленные по технологии вибропрессования;
 — составы, изготовленные по технологии контактно-конденсационного твердения;
 1 – наполненные композиты, 2 – контрольные бездобавочные составы

Возможность биологических повреждений бетонов различного вида на неорганических вяжущих (в том числе цементах и цементной пыли), как правило, обусловлена воздействием продуктов метаболизма микроорганизмов (бактерий или мицелиальных грибов). Основные процессы деструкции обусловлены действием кислот, выделяемых в процессе жизнедеятельности данных микроорганизмов. Перечень таких кислот весьма обширен: от сильных минеральных (серной и азотной) до органических, как многоатомных (гуминовых, пировиноградной), так и более простых по структуре (уксусная, молочная, винная, щавелевая, яблочная,

лимонная). Бактерии развиваются при наличии жидких сред и как правило, подобная деструкция бетона начинается при его погружении в жидкую агрессивную среду (коллекторы, конструкции подземных сооружений и т. д.).

В данной работе представлены результаты стойкости исследуемых композитов в смеси веществ, являющихся продуктами метаболизма микроскопических организмов. В качестве предполагаемых агентов химической коррозии, вызванной воздействием продуктов жизнедеятельности бактерий, нами были использованы серная кислота H_2SO_4 (с концентрацией 2%), азотная кислота HNO_3 (2%), аммиак NH_3 (2%) (рис. 5).

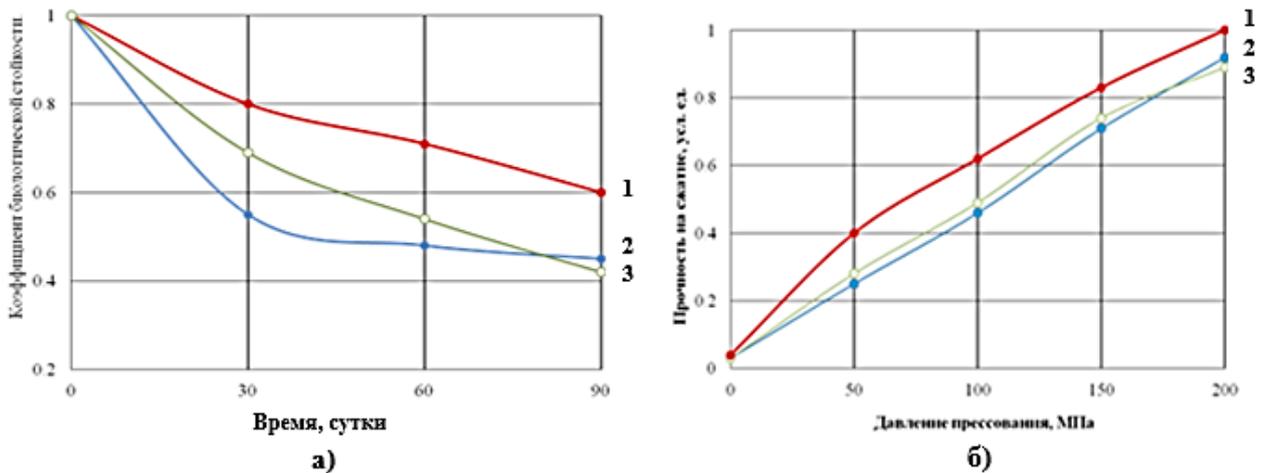


Рисунок 5 – Изменение коэффициента биологической стойкости композитов контактно-конденсационного твердения (а) и их прочности от давления прессования при воздействии модельной агрессивной среды в течение 90 суток (б)

1 – композиты наполненные стеклобоем, 2 – наполненные шлаком,
3 – контрольные составы композиты без наполнителя

На композиты, изготовленные с применением виброуплотнения, агрессивными средами было оказано сильное деструктивное воздействие, которое проявилось в быстром, значительном снижении прочности и разрушении образцов. У композитов, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения и выдержанных в растворе веществ, являющихся продуктами метаболизма микроскопических организмов, с течением времени прочность тоже снижается (коэффициент биологической стойкости меньше 1), но деструктивное воздействие проявляется не столь существенно. Причем увеличение давления прессования позитивно влияет на изменение прочности и коэффициент биологической стойкости композитов контактно-конденсационного твердения, подвергнутых воздействию модельной химически агрессивной среды в течение 90 суток (см. рис. 4). Если сравнить эти значения с результатом испытания контрольных композитов, изготовленных без наполнителей, то видно, что применение боя стекла позитивно сказывается на стойкости композитов контактно-конденсационного твердения, выдержанных в растворе модельной химически агрессивной среды (коэффициент стойкости на 30 % выше, чем у ненаполненных образцов).

Таким образом, можно говорить о том, что композиционные материалы на основе цементной пыли, боя стекла и шлака, изготовленные по технологии контактно-конденсационного твердения, обладают большей стойкостью в различных агрессивных средах, чем композиты, изготовленные по стандартной технологии. Если учесть, что композиты контактно-конденсационного твердения обладают высокой прочностью, достигаемой доступными приемами без значительных затрат, то становится очевидным, что проведенные эксперименты подтверждают несомненную целесообразность применения этой технологии на практике.

Выводы

Была исследована возможность по внедрению промышленных отходов в производстве строительных материалов с применением технологии контактно-конденсационного твердения. Были изготовлены материалы на основе промышленных отходов Республики Мордовия: пыли цементного производства, боя стекла и шлака. Проведены исследования состава, технологии изготовления и отверждения на прочностные характеристики, структуру и химическую стойкость получаемых материалов.

Проведенные исследования свидетельствуют о значительном увеличении прочности и снижении пористости композитов в результате приложения внешнего механического давления. Были получены материалы с максимально плотной упаковкой частиц и прочностью до 5 раз выше, чем у композитов аналогичного состава, полученных по стандартным технологиям. При этом было подтверждено значительное сокращение технологического цикла и получены материалы с высокой «мгновенной» прочностью.

Вид и количественное соотношение используемых компонентов оказывает значительное влияние и на оптимальный режим отверждения. Для составов на основе боя стекла более предпочтительным является режим термовлажностной обработки. Кроме того, в зависимости от вида наполнителя и его количества можно подобрать оптимальные режимы совмещения компонентов.

Исследованные композиционные материалы контактно-конденсационного твердения на основе вторичных ресурсов, обладают большей стойкостью в различных химических и биологических агрессивных средах, чем композиты аналогичного состава, изготовленные по стандартной технологии.

Таким образом композиты контактно-конденсационного твердения, изготовленные на основе вторичных ресурсов обладают высокой прочностью, достигаемой доступными приемами без значительных затрат, а также повышенной химической и биологической стойкостью. Учитывая экономический эффект, достигаемый за счет использования альтернативного сырья, а также аспекты решения проблем экологии и ресурсосбережения, можно говорить о целесообразности применения этой технологии на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворкин Л. И., Пашков И. А. Строительные материалы из отходов промышленности. Киев: Высша шк. Головное изд-во, 1989. 208 с.
2. Абдрахимов В.З. Использование золошлакового материала и нанотехногенного карбонатного шлама в производстве кирпича на основе бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2019. №2 (82). С. 81-89.
3. Барахтенко В. В., Бурдонов А. Е., Зелинская Е. В. Оценка эффективности применения промышленных отходов в качестве наполнителя поливинилхлоридных композиций // Строительство и реконструкция. 2018. Vol. 80. № 6. С. 74-84.
4. Езерский В.А., Кузнецова Н.В., Бессонов И.В., Селезнев А.Д. Многокритериальный сравнительный анализ при оценке качества цементных композитов с использованием отходов ЦСП // Строительство и реконструкция. 2018. №3 (77). С. 89-97.
5. Плотников В. В. Повышение долговечности железобетонных конструкций путем модифицирования цементного бетона активированными кристаллогидратами на основе нефелинового шлама // Строительство и реконструкция. 2014. №3 (53). С. 46-53.
6. Глуховский В. Д., Рунова Р. Ф., Максун С. Е. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения. Киев : Выща школа, 1991. 242 с.
7. Глуховский В. Д., Рунова Р. Ф., Максун С. Е. Роль контактно-конденсационных процессов в синтезе прочности цементного камня // Цемент. 1989. № 10. С. 7-8.
8. Сидоренко Ю. В. Моделирование процессов контактно-конденсационного твердения низкоосновных гидросиликатов кальция : дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2003. 217 с.
9. Соломатов В. И., Коренькова С. Ф., Сидоренко Ю. В. Термодинамические аспекты контактной конденсации нестабильных силикатных систем // Известия вузов. Строительство. Новосибирск. 2001. № 2-3. С. 38-44.

10. Степанова М. П., Погамошневa Н. Д., Чернышов Е. М., Баженов Ю. М. Наноструктурные портландитоалюмосиликатные контактно-конденсационные системы твердения и композиты на их основе. Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 114-122.
11. Харченко Е. А., Глуховский И. В., Свидерский В. А. Исследование свойств минерального наполнителя на основе гидросиликатов кальция // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 100-103.
12. Степанова М. П., Кращенко Т. А. Бесклинкерные портландито-алюмосиликатные композиты контактно-конденсационного твердения: развитие исследований // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. № 2. С. 55-58.
13. Ерошкина Н. А., Коровкин М. О., Тымчук Е. И. Свойства контактно-конденсационных геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород // Современная техника и технологии. – 2014. – № 12 (40). – С. 14–17.
14. Овчаренко Г. И., Садрашева А. О., Викторов А. В. Контактно-конденсационные свойства гидратных фаз цементного камня // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. Т. 20. № 2 (65). С. 141.149.
15. Tereshkin A. V., Kirichkova I. V., Kruglyak V. V. Technology of building composites on the basis of portlandite-aluminosilicate contact condensation systems of hardening // Key Engineering Materials. 2019. Vol. 802. P. 79-90.
16. Korenkova S. F., Sidorenko Yu. V. Nanotechnogenic raw materials for the production of the construction materials // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. № 20. P. 40908-40913.
17. Sidorenko Y. V., Korenkova S. F. Self-organization processes in silicate and cement construction materials // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. P. 47-52.
18. Ерофеев В. Т., Богатов А. Д., Казначеев С. В. Изучение процессов структурообразования и деструкции композитов контактно-конденсационного твердения на основе боя стекла // XXXV Огаревские чтения : материалы научной конференции. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. С. 219–224.
19. Ерофеев В. Т., Казначеев С. В., Богатов А. Д. Композиты контактно-конденсационного твердения на основе местных сырьевых материалов и отходов промышленности // Вестник Мордовского ун-та. 2008. № 4. С. 59-67.
20. Казначеев С. В. Долговечность композитов контактно-конденсационного твердения на основе отходов промышленности и местных материалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2005. 19 с.
21. Джусупова М. А., Талантбек К. А. Оптимизация гранулометрического состава силикатных стеновых материалов с использованием техногенного сырья // Наука и инновационные технологии. 2017. № 3 (3). С. 107-110.
22. 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.
23. Казначеев С. В., Губанов Д. А., Богатов А. Д., Ерофеев В. Т. Исследование биостойкости композитов контактно-конденсационного твердения // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве : материалы Международной научно-технической конференции. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. С. 160-163.
24. Казначеев С. В. Прочностные свойства цементных композитов, наполненных техногенными отходами, при разной последовательности совмещения компонентов // Теоретические основы создания эффективных композитов : Сборник материалов Российской онлайн-конференции, посвященной Дню науки. Белгород. 2018. С. 134-143.
25. Казначеев С. В., Спирин В. А., Богатов А. Д., Ерофеев В. Т. Композиционные материалы контактно-конденсационного твердения на основе стеклобоя // Наука и инновации в Республике Мордовия : материалы IV Республиканской научно-практической конференции. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. С. 520-525.

REFERENCES

1. Dvorkin L. I., Pashkov I. A. Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti [Building materials from industrial wastes]. Kiev: Vyssha shk. Golovnoe izd-vo, 1989. 208 s.
2. Abdrakhimov V.Z. Ispol'zovanie zoloshlakovogo materiala i nanotekhnogenного karbonatного shlama v proizvodstve kirpicha na osnove bejdellitovoj gliny [Use of ash and slag material and nano-technological carbonate slurry in the production of bricks based on beidellite clay]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. Vol. 82. No 2. Pp. 81-89. (rus)
3. Barahtenko V. V., Burdonov A. E., Zelinskaya E. V. Ocenka effektivnosti primeneniya promyshlennyh othodov v kachestve napolnitelya polivinilhloridnyh kompozitsiy [Evaluation of efficiency of industrial waste application as a filler of polyvinyl chloride compositions]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No 6 (80). Pp. 74-84. (ru3. s)
4. Ezerskij V.A., Kuznecova N.V., Bessonov I.V., Seleznev A.D. Mnogokriterial'nyj sravnitel'nyj analiz pri ocenke kachestva cementnyh kompozitov s ispol'zovaniem othodov CSP [Ulti-criteria comparative analysis with the estimate of the quality of cement composites with the use of cbpb waste]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. Vol. 77. No 3. Pp. 89-97. (rus)
5. Plotnikov V. V. Povyshenie dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstruktsiy putem modificirovaniya cementnogo betona aktivirovannymi kristallogidratami na osnove nefelinovogo shlama [Increase durability of ferroconcrete construction materials with the use of activated crystalline hydrates based on nepheline slag].

- tions by modification of cement concrete with activated crystallohydrates on the basis of nepheline sludge]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2014. Vol. 53. No 3. Pp. 46-53. (rus)
6. Gluhovskij V. D., Runova R. F., Maksunov S. E. Vyazhushchie i kompozicionnye materialy kontaktного tverdeniya [Binding and composite contact hardening materials]. Kiev : Vyshcha shkola, 1991. 242 p. (rus)
 7. Gluhovskij V. D., Runova R. F., Maksunov S. E. Rol' kontaktно-kondensacionnyh processov v sinteze prochnosti cementного kamnya [The role of contact condensation processes in the synthesis of cement stone strength] // *Cement*. 1989. No 10. Pp. 7-8. (rus)
 8. Sidorenko YU. V. Modelirovanie processov kontaktно-kondensacionного tverdeniya nizkoosnovnyh gidrosilikatov kal'ciya [Modeling of contact-condensation hardening processes of low-base calcium hydrosilicates] : dis. ... kand. tekhn. nauk. Samara, 2003. 217 p. (rus)
 9. Solomatov V. I., Koren'kova S. F., Sidorenko YU. V. Termodinamicheskie aspekty kontaktной kondensacii nestabil'nyh silikatnyh sistem [Thermodynamic aspects of contact condensation of unstable silicate systems] // *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. Novosibirsk. 2001. No 2-3. Pp. 38-44. (rus)
 10. Stepanova M. P., Potamoshneva N. D., Chernyshov E. M., Bazhenov YU. M. Nanostrukturnye portlanditoaluminosilikatnye kontaktно-kondensacionnye sistemy tverdeniya i kompozity na ih osnove [Nanostructured portlanditoaluminosilicate contact-condensation hardening systems and composites based on them] // *Vestnik MGSU*. 2013. No 2. Pp. 114-122. (rus)
 11. Harchenko E. A., Gluhovskij I. V., Sviderskij V. A. Issledovanie svojstv mineral'nogo napolnitelya na osnove gidrosilikatov kal'ciya [Study of properties of mineral filler based on calcium hydrosilicates] // *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona*. 2014. No 4. Pp. 100-103. (rus)
 12. Stepanova M. P., Krashchenko T. A. Besklinkernye portlandito-alyumosilikatnye kompozity kontaktно-kondensacionного tverdeniya: razvitie issledovaniy [Lineless portlandite-aluminosilicate contact-condensation hardening composites: research development] // *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse*. – 2018. No 2. Pp. 55-58. (rus)
 13. Eroshkina N. A., Korovkin M. O., Tymchuk E. I. Svoystva kontaktно-kondensacionnyh geopolimernyh vyazhushchih na osnove magmaticheskikh gornyh porod [Properties of contact-condensation geopolymer binders based on magmatic rocks] // *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii*. – 2014. – No 12 (40). – Pp. 14-17. (rus)
 14. Ovcharenko G. I., Sadrashva A. O., Viktorov A. V. Kontaktно-kondensacionnye svojstva gidratnyh faz cementного kamnya [Contact-condensation properties of hydrate phases of cement stone] // *Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin)*. 2017. Vol. 20. No 2 (65). Pp. 141-149. (rus)
 15. Tereshkin A. V., Kirichkova I. V., Kruglyak V. V. Technology of building composites on the basis of portlandite-aluminosilicate contact condensation systems of hardening // *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 802. P. 79-90.
 16. Korenkova S. F., Sidorenko Yu. V. Nanotechnogenic raw materials for the production of the construction materials // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No 20. P. 40908-40913.
 17. Sidorenko Y. V., Korenkova S. F. Self-organization processes in silicate and cement construction materials // *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 871. P. 47-52.
 18. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Kaznacheev S. V. Izuchenie processov strukturoobrazovaniya i destrukcii kompozitov kontaktно-kondensacionного tverdeniya na osnove boya stekla [Study of processes of structure formation and destruction of contact-condensation hardening composites based on glass breakage] // *XXXV Ogarevskie chteniya : materialy nauchnoj konferencii [XXXV Ogarev Readings: Proceedings of the Scientific Conference]*. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2007. Pp. 219-224. (rus)
 19. Erofeev V. T., Kaznacheev S. V., Bogatov A. D. Kompozity kontaktно-kondensacionного tverdeniya na osnove mestnyh syr'evykh materialov i othodov promyshlennosti [Contact-condensation hardening composites based on local raw materials and industrial waste] // *Vestnik Mordovskogo un-ta*. 2008. No 4. Pp. 59-67. (rus)
 20. Kaznacheev S. V. Dolgovechnost' kompozitov kontaktно-kondensacionного tverdeniya na osnove othodov promyshlennosti i mestnyh materialov [Durability of contact-condensation hardening composites based on industrial wastes and local materials] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Penza, 2005. 19 p. (rus)
 21. Dzhusupova M. A., Talantbek K. A. Optimizatsiya granulometricheskogo sostava silikatnyh stenovykh materialov s ispol'zovaniem tekhnogennogo syr'ya [Optimisation of the particle size distribution of silicate wall materials using technogenic raw materials] // *Nauka i innovacionnye tekhnologii*. 2017. No 3 (3). Pp. 107-110. (rus)
 22. Goncharova M. A., Borkov P. V., Al'-Surajvi H.G.H. Recikling krupnotonnazhnyh betonnyh i zhelezobetonnyh othodov pri realizacii kontraktov polnogo zhiznennogo cikla [Recycling of coarse concrete and reinforced concrete waste in full life cycle contracts] // *Stroitel'nye materialy*. 2019. No 12. Pp. 52-57. (rus)
 23. Kaznacheev S. V., Gubanov D. A., Bogatov A. D., Erofeev V. T. Issledovanie biostojkosti kompozitov kontaktно-kondensacionного tverdeniya [Study of bio-resistance of contact-condensation hardening composites] // *Biopovrezhdeniya i biokorroziya v stroitel'stve : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Bio-damage and biocorrosion in construction: proceedings of the International Scientific and Technical Conference]*. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2004. Pp. 160-163. (rus)
 24. Kaznacheev S. V. Prochnostnye svojstva cementnykh kompozitov, napolnennykh tekhnogennymi othodami, pri raznoj posledovatel'nosti sovmeshcheniya komponentov [Strength properties of cement composites filled with man-made wastes with different sequence of components alignment] // *Teoreticheskie osnovy sozdaniya effektivnykh kompozitov : Sbornik*

materialov Rossijskoj onlajn-konferencii, posvyashchennoj Dnyu nauki [Theoretical Basis for Effective Composites: Collection of Materials of the Russian Online Conference Dedicated to Science Day]. Belgorod. 2018. Pp. 134-143. (rus)

25. Kaznacheev S. V., Spirin V. A., Bogatov A. D., Erofeev V. T. Kompozicionnye materialy kontaktno-kondensacionnogo tverdeniya na osnove stekloboya [Composite materials of contact-condensation hardening based on glass] // Nauka i innovacii v Respublike Mordoviya : materialy IV Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Science and innovation in the Republic of Mordovia: materials of the IV Republican Scientific and Practical Conference]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2005. Pp. 520-525. (rus)

Информация об авторах:

Казначеев Сергей Валерьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия, канд. техн. наук, доц., доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий,
E-mail: kaznacheevsv@mail.ru

Information about authors:

Kaznacheev Sergej V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of dep. of Construction materials and technology,
E-mail: kaznacheevsv@mail.ru