

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

alex-0904@mail.ru

**Лесовик В.С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
Володченко А.А., канд. тех. наук, доц.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Стройиндустрия эволюционирует по направлению не только производства, но и повышения значимости роли химических и физико-химических процессов. Изучение механизмов процессов протекающих в строительных материалах, в изменяющихся условиях эксплуатации, переход на трансдисциплинарные исследования и т.д. позволит создавать новые технологии и материалы для нового этапа развития цивилизации.

Ключевые слова: геоника (геомиметика), трансдисциплинарность, интеллектуальные материалы, техногенное сырье, техногенный метасоматоз, стеновые материалы.

Сегодня перед учеными стоят задачи по разработке композиционных материалов нового поколения, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами и долговечностью. Строительные материалы в своем развитии проделали серьезный путь. Были решены многие проблемы, внедряются эффективные супер- и гиперпластификаторы, разработаны технологии получения новых видов различного бетона [1].

Появление новых материалов и конструкций в стройиндустрии несет огромный инновационный потенциал, а получаемые при этом результаты позволяют решать многие проблемы авиационной и космической промышленности, строительства, транспорта, медицины, энергетики и т.д.

Наряду с постоянным совершенствованием существующих материалов, обуславливающих существенный технический и экономический эффект благодаря уникальному сочетанию свойств, наметились тенденции создания новых материалов, способных к активному взаимодействию с внешними факторами, способных «ощущать» свое физическое состояние, внешние воздействия и особым образом реагировать на эти «ощущения», т.е. способны осуществлять

самодиагностику по возникновению и развитию дефекта, его устранение и стабилизировать свое состояние в критических зонах [2]

Эволюция в материаловедении идет по направлению уменьшения размеров слагающих композит частиц; особенно ярко эта тенденция проявляется в металлургии, керамики и строительном материаловедении в том числе. Это предопределяет существенное повышение их эксплуатационных характеристик.

В технологии бетона прослеживается следующая эволюция: бетоны → бетоны на крупном заполнителе → мелкозернистые бетоны → порошковые бетоны → нанобетоны.

Для реализации этого направления нужна и эволюция в применяемых сырьевых ресурсах. Для повышения эффективности бетонов необходимо использовать новые сырье, в том числе подготовленные геологическими процессами горные породы: кварцсодержащие разновидности зеленосланцевой степени метаморфизма, пелиты незавершенной стадии минералообразования, нанопорошки из гидротермальных источников вулканогенных областей, вулканогенно-осадочные и в целом эффузивные горные породы и др.

Будущее строительного материаловедения во многом связано с разработкой теоретических основ управления процессами формирования структуры композитов, способных, взаимодействуя со средой обитания человека, самовостанавливаться при образовании микродефектов – это тренд мирового уровня.

Реализация теоретических положений и системный подход к решению сформулированных проблем решается в рамках нового научного направления геоника (геомиметика). Выполняемая научно-исследовательская работа позволила разработать методологические основы создания эффективных строительных композитов нового поколения [3-8].

Предложены интеллектуальные строительные композиты при проектировании которых заложена система взаимодействия с окружающей средой, позволяющая материалам реагировать на внешние воздействия и положительно влиять на триаду «человек-материал-среда обитания», это композиты будущего [9]. Разработан алгоритм управления процессами структурообразования при создании интеллектуальных композитов (рис. 1).

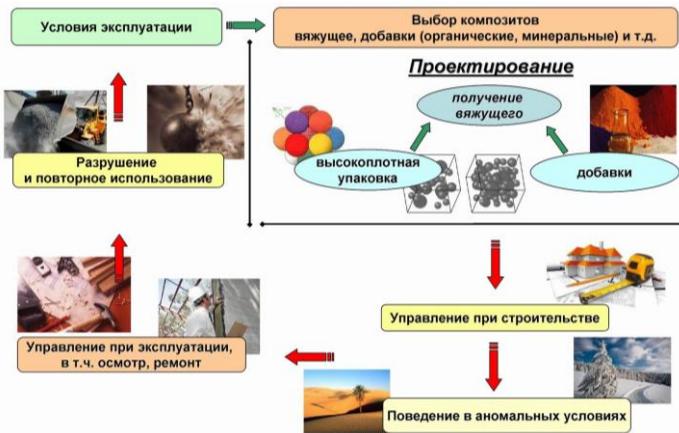


Рисунок 1 – Управление процессами структурообразования

Интеллектуальные материалы (композиты) способны под воздействием внешней среды изменять свои свойства. Это самоорганизующаяся система. Для того, чтобы создавать такие материалы необходима разработка интеллектуальных систем управления проектированием, производством и эксплуатацией материалов.

При проектировании интеллектуальных строительных композитов необходимо управлять процессами структурообразования на всех уровнях, что позволит материалу реагировать на возникновение экстремальных ситуаций, при эксплуатации зданий и сооружений [10,11] (рис. 2.).



Рисунок 2 – Проектирование заданной структуры материала

При бетонировании в условиях жаркого сухого климата возникает множество различных проблем, связанных, как и с высокой температурой бетона, так и усиленным испарением воды из свежееуложенной смеси. Эти проблемы требуют соблюдения определённых условий при перемешивании смеси, её укладки и уходе за бетоном.

Повышение температуры свежееуложенного бетона приводит к более быстрой гидратации, а следовательно, и к ускорению сроков схватывания и меньшей прочности затвердевшего камня. Кроме того, быстрое испарение может привести к пластической усадке и образованию волосных трещин в бетоне, а последующее охлаждение затвердевшего материала вызвать растягивающие напряжения. Ранее считалось, что пластическая усадка возникает, в случае когда скорость испарения влаги с поверхности бетона превышает скорость водоотделения материала. Однако результаты последних исследований показали, что трещины образуются и под слоем воды и становятся заметными лишь после высыхания. В связи с этим необходимо создать соответствующий уход за твердеющим бетоном на начальной стадии в условиях сухого и жаркого климата, а именно:

1. Необходимо блокировать деструктивные (т. е. разрушающие) явления, возникающие при развитии пластической усадки, за счет исключения процессов перемещения влаги в свежееуложенном бетоне и ухода ее в окружающую среду, т.е.:

- уход за бетоном начинать немедленно, сразу же после укладки бетонной смеси и отделки (заглаживания) поверхности бетона;

- в течение начального периода ухода не допускать непосредственного контакта твердеющего бетона с водой, так как соприкосновение холодной воды и нагретой поверхности бетона способствует возникновению температурных напряжений в бетоне и появлению трещин.

2. Начальный уход за бетоном осуществляют, как минимум, до момента приобретения бетоном прочности 0,5 МПа. Для предотвращения раннего растрескивания открытых поверхностей бетона следует немедленно защитить эти поверхности от испарения из них влаги, т. е. полностью исключить процесс обезвоживания бетона.

На основании вышеизложенного предлагаются система внутреннего ухода заключающиеся в целенаправленном синтезе новообразований и получении микроструктур на начальных этапах создания композита с использованием вулканического туфа.

Предлагаемый новый подход заключается в использовании композиционных вяжущих на основе туфа, создающих наиболее благоприятные условия на ранних стадиях структурообразования и твердения систем [12]. Это приводит к снижению напряжений в твердеющем композите и, как следствие, к уменьшению количества и размеров микротрещин, что определяет технико-экономическую эффективность применения КВ на основе туфа для получения бетонной смеси, применяемой в условиях сухого жаркого климата. Известно, что вулканический туф является гетеропористой горной породой. Поровое пространство данной породы, является весьма сложным по своей форме и состоит из сочетания пор различных размеров (рис. 3).

Вода в породе находится в сложном взаимодействии с ее минеральным каркасом, границы и соотношения между ними условны и постоянно изменяются: пар; химически связанная вода; физически связанная вода (пленочная и капиллярно-удержанная); свободная или гравитационная вода.

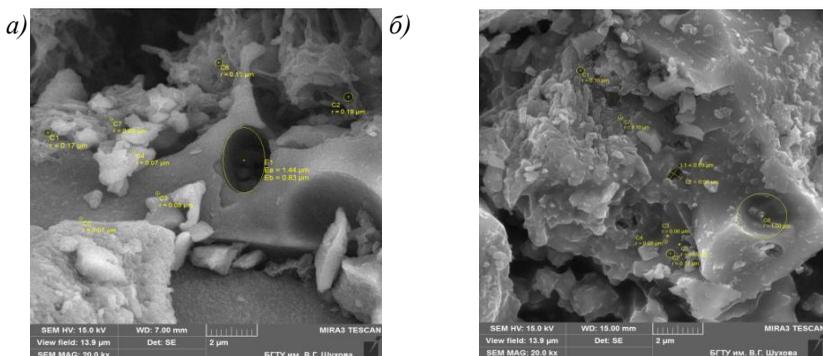


Рисунок 3 – Микрофотографии поверхности:
а - вулканического туфа; *б* - туфового порошка

Физически связанная вода (пленочная и капиллярно-удержанная) остается в поровом пространстве туфа благодаря взаимодействию молекул воды с поверхностью минерального скелета породы, а также в результате влияния капиллярных сил. Пленочная вода практически целиком заполняет объем капилляров с радиусом $r < 20...30$ нм, причем капилляры с радиусом $r < 1,5...2,0$ нм заполнены в основном прочно связанной водой. Капиллярно-удержанная вода характерна для пор, радиус которых составляет $30...500$ нм, а также для углов пор, приуроченных к стыкам между зернами, образующими скелет породы,

и тупиковых пор. Капиллярно-удержанная вода по своим свойствам не отличается от свободной. Представляется, что в условиях жаркого климата, когда наблюдается дефицит жидкой фазы в самом бетоне, частички туфа, входящие в состав вяжущего, в процессе твердения будут отдавать запасенную ими капиллярно-удержанную воду, а это приведет к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов.

С целью получения композиционных вяжущих был проведен комплекс исследований: на первой стадии были разработаны вяжущие с оптимальным соотношением цемента и минерального компонента (туфов различных месторождений); далее было подобрана оптимальная дозировка суперпластификатора [10]. Также были проведены исследования влияния тонкости помола туфа и способа помола сырьевых компонентов на физико-механические и технологические свойства композиционных вяжущих. Установлен характер влияния содержания минеральной добавки и удельной поверхности туфа на физико-механические и технологические свойства вяжущих; определен оптимальный состав для дальнейших исследований.

В качестве основного материала для получения КВ был выбран портландцемент СЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) и туф (плотность – 1660 кг/м³, водопоглощение – 9,53%), в качестве пластифицирующей добавки применяли суперпластификатор ASTM C494 – Туре А.

С целью изучения влияния различных дозировок туфа в вяжущие вводили от 5 до 50 % туфа с разной удельной поверхностью $S_{уд}=350$ м²/кг и $S_{уд}=700$ м²/кг. Наилучшими физико-механическими характеристиками обладают вяжущие с удельной поверхностью цемента 350 м²/кг и туфа 700 м²/кг при соотношении цемента и туфа, соответственно, 90 % : 10 %.

Установлен характер влияния различного содержания минеральной добавки и различной удельной поверхности туфа на физико-механические и технологические свойства вяжущих и определен оптимальный состав для дальнейших исследований с соотношением компонентов, %: цемент-туф=90:10. Исследовано влияние тонкости помола туфа на физико-механические и технологические свойства вяжущих с различной тонкостью помола цемента и с одинаковым соотношением сырьевых компонентов. Полученные результаты свидетельствуют, что с увеличением тонкости помола туфа при одинаковой удельной поверхности рядового цемента (320 м²/кг) прочность вяжущего увеличивается, соответственно от 2 до 14,3 %.

При использовании цемента с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и с увеличением удельной поверхности туфа с 300, 500, 900, $1300 \text{ м}^2/\text{кг}$ отмечается увеличение прочности вяжущего с 2,7 до 16,9 %. Вяжущие, приготовленные с использованием цемента с удельной поверхностью $700 \text{ м}^2/\text{кг}$ и с туфом с удельной поверхностью 300, 500, 900, $1300 \text{ м}^2/\text{кг}$ характеризуются повышением прочности с 3,2 до 17,9 %.

Полученные результаты свидетельствуют, что при высокой удельной поверхности цемента ($700 \text{ м}^2/\text{кг}$) и удельной поверхности туфа от 500 до $1300 \text{ м}^2/\text{кг}$ прочность изменяется в незначительных пределах в сравнении с композиционными вяжущими, на основе цемента с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$. Особый интерес в связи с технической реализацией составов представляет состав вяжущего, полученного при использовании цемента с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и туфом с соизмеримой удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$. Этот состав является наиболее оптимальным по технико-экономическим показателям: минимальное время помола при ограниченных энергозатратах и получение вяжущих с максимальными физико-механическими показателями.

Проведение таких мероприятий позволило повысить предел прочности при сжатии бетона до 128 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе 35 МПа, модуль упругости до 83×10^{-3} МПа.

В условиях эксплуатации при различных нагрузках микротрещины, самоликвидируются за счет взаимодействия влаги, содержащейся в частицах туфа, с непрореагировавшими клинкерными минералами. Частицы туфа в процессе эксплуатации отдают запасенную ими капиллярно-удержанную воду, а это приведет к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов, это так называемые интеллектуальные композиты.

В условиях жаркого климата, когда наблюдается дефицит жидкой фазы в самом бетоне, частички туфа, входящие в состав вяжущего, в процессе твердения отдают капиллярно-удержанную воду, а это приведет к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов.

Таким образом, новое трансдисциплинарное направление геоника (геомиметика) является фундаментальной базой строительного материаловедения, уделяющей большое внимание созданию новых высокопрочных, интеллектуальных материалов с упорядоченной регулируемой структурой, формирующей новообразования, которые

обладают высокой прочностью и низкой теплопроводностью, способностью самозалечивать дефекты структуры и ликвидировать разупрочняющую пористость.

На основе вышесказанного предложено понятие «Техногенный метасоматоз» в строительном материаловедении.

«Техногенный метасоматоз» это стадия в эволюции строительных материалов, характеризующаяся приспособлением композита к изменяющимся, при эксплуатации зданий и сооружений, условиям. Это химическое взаимодействие в системе «Вязущее-заполнитель-наполнитель-добавки-порový-раствор-окружающая среда» с изменением химического состава, при котором растворение исходных компонентов и синтез новообразований происходит почти одновременно.

В основе получения и эксплуатации строительных материалов лежат физико-химические и химические явления и процессы, переосмысление и понимание которых возможно при переходе на трансдисциплинарные исследования.

Стройиндустрия эволюционирует по направлению не только производства, но и повышения значимости роли химических и физико-химических процессов. Например, применение вяжущих веществ совершенствуется в ходе изучения процессов, протекающих при их твердении и последующей эксплуатации материалов на их основе. Использование знаний химических процессах, протекающих в строительных материалах позволит резко повысить свойства композитов, и получать материалы нового поколения

Техногенный метасоматоз – это сложный механизм (рис. 4). Это и перекристаллизация, и диффузия, и дегидратация, кристаллохимические превращения, трансформация в кристаллических решетках минерала, аутогенез (выделение твердой фазы и растворы).

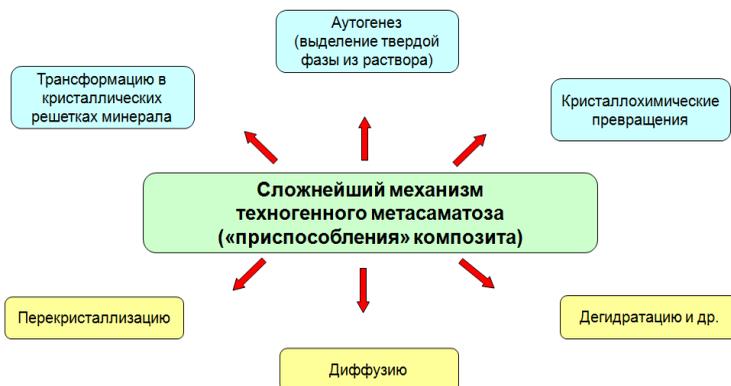


Рисунок 4 – Сложнейший механизм техногенного метасоматоза

Понимание этих процессов исключительно важно при решении проблемы повышения эффективности технологии производства и качества строительных материалов. Так направление ухудшения качества и свойств материалов вызывается из-за нежелательных процессов, не только внешних – воздействие CO_2 , агрессивных сред, но и внутренних – коррозия, перекристаллизация, старение и т.п.

Весь комплекс сложнейших физико-химических превращений, то есть техногенный метасоматоз, при учете этих явлений при проектировании материала, позволит композиту, реагируя на внешнее воздействие самозалечивать дефекты, которые образуются при эксплуатации, восстанавливать свои первоначальные характеристики и приведет к упрочнению материала при увеличении нагрузки в условиях техногенного стресса который ощущает не только человек, но и строительные материалы, в окружении которых вид Homo Sapiens проводит около 80 % своей жизни [10].

Изучение механизмов процессов протекающих в строительных материалах, в изменяющихся условиях эксплуатации, переход на трансдисциплинарные исследования и т.д. позволит создавать новые технологии и материалы для нового этапа развития цивилизации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08002 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Баженов Ю.М. Пути развития строительного материаловедения: новые бетоны // Технологии бетонов. 2012. № 3-4 (68-69). С. 39-42.
2. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С, Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. Москва. 2008 г.
3. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.
4. Lesovik V.S. Geonics. Subject and objectives // Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. Р 100.
5. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография // Белгород: Изд-во БГТУ. 2014. 206 с.
6. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7-8. С. 96-100.
7. Lesovik, W.S., Gridchin A.M. Zum Problem der Forchung des System Mensch-Stoff-Umwelt // 12. Ibaus. Internationale Baustofftagung. Weimar. 1994.
8. Лесовик В.С. Снижение энергоемкости производства строительных материалов за счетиспользования энергетики геологических и техногенных процессов // 18. Ibaus. Internationale Baustofftagung. Weimar. 2012.
9. Lesovik W.S. Geonik. Geomimetik als Grundlage für die Synthese von intelligent Bauverbundwerkstoffen. 19. INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG Weimar. 2015. P. 183-189.
10. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Омск. 2011.
11. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in constraction materials. World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. № 11. С. 1496-1502.
12. Шакарна М.Х Композиционные вяжущие с использованаем вулканических туфов иордании Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 38-43. ISSN 2071-7318.
13. Лесовик В.С. Техногенный метасаматоз в строительном материаловедении. Международный сборник научных трудов «Строительные материалы – 4С: состав, структура, состояние, свойства». Новосибирск. 2015. с. 26-30.

14. Лесовик В.С., Володченко А.А. К проблеме техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 38-41. ISSN 2071-7318.