

САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИЕСЯ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЛИ «УМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»**Олимова Эльвира Рустамовна**

магистрант, Набережночелнинский институт КФУ, РФ, г. Набережные Челны

SELF-HEALING BUILDING DESIGNS OR SMART MATERIALS***Elvira Olimova****Undergraduate, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny*

Аннотация. Установлена необходимость перехода от традиционных к «умным» материалам в строительных конструкциях. Представлен американский и японский (материаловедческий) подход к созданию интеллектуальных материалов. Охарактеризованы примеры бетонных материалов и покрытий строительных конструкций, способных к самозалечиванию дефектов.

Abstract. The need for the transition from traditional to “smart” materials in building structures is established. The American and Japanese (material science) approaches to the creation of intelligent materials are presented. Examples of concrete materials and coatings of building structures capable of self-healing defects are characterized.

Ключевые слова: «умный» материал; самозалечивающийся материал; строительная конструкция; бетон; покрытие.

Keywords: “smart” material; self-healing material; building construction; concrete; coating.

Современные строительные конструкции, в зависимости от назначения, испытывают различные нагрузки, вибрационные воздействия, напряженные состояния, что делает необходимым поиск материалов и технологий, направленных на повышение долговечности конструкций. В рамках традиционных групп конструкционных материалов, таких как бетон, металлы, композиты и пр., исследователями производится постоянная оптимизация и совершенствование составов для обеспечения устойчивости конструкций к внешним воздействиям [1].

Проблемой, в случае ответственных строительных конструкций, остается необходимость быстрого реагирования на изменения в составе и структуре материалов под действием внешних факторов в ходе их эксплуатации. В этой связи, для предотвращения разрушения конструкций актуальным является поиск материалов и технологий, позволяющих конструкции адаптивно реагировать на возникающие избыточные нагрузки. Целью данной статьи является систематизация представлений об «умных» материалах, в частности о самозалечивающихся материалах, как одного из направлений развития индустрии «умных» материалов.

В общем виде «умные» или интеллектуальные материалы реагируют на изменения окружающей среды различными компенсирующими механизмами, за счет их термической, электрической, магнитной или химической активации и преобразования одних видов энергии в другие [2]. Необходимо учитывать, что строительные конструкции, подвергаются динамическим вибрационным нагрузкам, как со стороны природных факторов – ветра и сейсмических воздействий, так и со стороны антропогенной среды – промышленных установок, транспорта, инженерного оборудования. Защита от колебательных нагрузок претерпевает изменения: от средств традиционной пассивной защиты с применением демферов – трансформируется к активной интеллектуальной защите.

В последнем случае конструкции оснащаются сенсорами (датчиками) и актуаторами. Сенсоры детектируют текущее состояние конструкции, с последующей передачей данных об отклонениях контроллерам для выработки корректирующего сигнала (электро-, пневмо-, термо- и пр.), подаваемого на актуаторы, оказывающие механическое действие на конструкцию. Более совершенным подходом к сохранению долговечности конструкций является использование адаптивных материалов, выполняющих роль актуаторов, за счет структуры, состава и свойств, претерпевающих изменения на микроуровне, в результате чего изменяется конфигурация, форма, вязкость, жесткость и пр. характеристики материалов, что позволяет использовать термин «самозалечивающиеся» по отношению к ним [3].

Можно выделить два основных подхода, разграничивающих многообразие возможностей для создания умных материалов. Американский подход основан именно на системе конструкций: адаптивные конструкции имеют в составе исполнительные системы, способные менять их характеристики; чувствительные конструкции включают датчики, реагирующие на внешние изменения; интеллектуальные конструкции включают различные схемы встроенного интегрированного контроля с применением цифровых технологий. Японский подход больше опирается на материаловедческий компонент в создании «умных» материалов, трансформируя понимание материала не только как конструктивного, но и как выполняющего определенные функции. В данном случае идеи создания новых материалов сопряжены с наблюдением за природными и биологическими объектами, их способностью к восстановлению, регенерации, адаптации [4].

Подробно реализация американского подхода при создании «умных конструкций» за счет применения внешних актуаторов и датчиков исследована Юрловой Н.А., применительно к ответственным узам конструкций в авто- и авиастроительстве, а также в эксплуатации мостов и пр. сооружений, преимущественно с целью мониторинга их состояния и дефектоскопии. Однако отмечается, что информация от множества сенсоров требует специального «громоздкого» цифрового комплекса обработки, что затрудняет корректирующие воздействия для восстановления конструкции [5].

Можно считать, что японский подход наиболее полно отвечает разработке непосредственно самозалечивающихся интеллектуальных материалов и включает такие приоритетные направления как создание полимерных композитов с оптоволоконными сенсорами, многослойных пьезоэлектрических конструкций, материалов с эффектом памяти формы, а также материалов, в составе которых имеются ультразвуковые, биологические и химические сенсоры. ФГУП «ВИАМ» осуществляет достаточное число исследований по внедрению оптоволоконных датчиков в виде береговских решеток в полимерный композит, например углеволоконный, используемый для ответственных конструкций. Волоконные береговские решетки, однако, в первую очередь играют роль обнаружения, оценки, мониторинга деформаций и расслоений в композите [6]. Кроме того, волокнистые композиты наиболее перспективны в авиа-, судо-, ракетостроении, но недостаточно широко применяются в традиционном строительстве зданий и сооружений.

Термически самозалечивающиеся конструкции основаны эффекте памяти формы. Так, известны сплавы металлов, кристаллическая решетка которых способна претерпевать изменения структуры в процессах «нагрева-охлаждения», с возвратом в исходное состояние, что позволяет залечивать дефекты поверхности [2]. Однако необходимо учитывать, что наиболее распространенными строительными конструкциями остаются изделия из бетона и железобетона, что обуславливает широкий интерес к возможности создания самозалечивающихся бетонов и покрытий.

Бетон, способный к самовосстановлению, должен за счет особенностей состава и структуры материала залечить возникающие дефекты и вернуться к первоначальному набору физико-механических характеристик. К развитию умных бетонных материалов привело наблюдение за природной минерализацией и укреплением ракушечника. Действительно, уже исходный состав бетона, с наличием кальциевых компонентов, способных к реакции с H_2O и CO_2 , с образованием CaCO_3 , способствует залечиванию трещин за счет формирования карбоната кальция. Для повышения эффекта самозалечивания создают биобетоны, где в исходную композицию дополнительно вводится лактат кальция и бактериальный препарат в виде микрокапсул. Смесь действует при попадании воды в трещины бетонных конструкций с образованием CaCO_3 , скрепляющего дефект [7].

Известен способ введения в бетонную композицию бактерий в состоянии анабиоза. В случае армированных конструкций бактерии начинают действовать, когда трещина на бетоне достигает арматуры, а поступающая в трещину вода пробуждает бактерии, результатом жизнедеятельности которых будет выработка извести, заполняющей дефекты [8]. Создан активный цемент для обсадных колонн, приобретающий способность к самовосстановлению за счет присутствия в составе компонентов, активирующихся только при проникновении углеводов в микродефекты конструкции, что позволяет колоннам самозалечиваться без скважинных работ [2].

Известны способы создания бетонов с использованием бактерий и питательной среды, с эффектом самозалечивания трещин посредством микробиологического осаждения кальцита. Установлены оптимальные сочетания спор бактерий и питательных веществ для поддержания их жизнедеятельности, а также методика их безопасного распределения в массе бетонной композиции. Показано, что при сохранении исходных характеристик бетона срок безремонтного периода эксплуатации конструкций существенно возрастает [9].

Известны способы самозалечивания бетонных конструкций при наличии в составе исходной композиции полукристаллических полимеров, способных к отверждению при нагревании. Полимерные добавки выступают в данном случае как термосенсоры, которые при нагревании, например, посредством приложения электротока, восстанавливают исходную форму, присущую им до повреждения. Трещины в бетонных конструкциях могут самозалечиваться при участии полимеров с повышенными способностями к адсорбции, например сополимеров акрилата и акрилата/акриламида, введенных в состав бетонной композиции.

Такие сшитые полимеры обладают способностью набухать в дефектах, формируемых за счет проникновения жидкости с образованием нерастворимого геля. Следует учитывать, что способность к набуханию определяется щелочностью растворов. Рассматриваемые сополимеры при введении их в количестве менее 1 об.% показали эффективность в залечивании трещин до 340 мкм при воздействии порового раствора, грунтовых и морских вод [10].

На строительные конструкции, испытывающие агрессивное воздействие внешней среды, могут наноситься различные полимерные покрытия для обеспечения антикоррозионной защиты. Такие покрытия могут создаваться с возможностью реализации эффекта самозалечивания, как капсульного, так и капиллярного типа. В первом случае, внешнее воздействие, приводящее к микроповреждениям и нарушению сплошности покрытия, компенсируется наличием в составе полимерной фазы отдельных капсул с залечивающим компонентом, которые вскрываются при образовании трещин в сплошной матрице, залечивая дефекты. Однако возможность к самозалечиванию в данном случае ограничена числом капсул дисперсной фазы.

Продолжительное поддержание способности к самозалечиванию покрытий строительных конструкций может быть обеспечено распределением не капсул, а капилляров в полимерной матрице. Например, материал, на основе эпоксидной смолы, с сеткой вертикально-горизонтальных капилляров, создан по аналогии с кровеносной сосудистой системой. В данном случае лечащий агент-мономер поступает (при возникновении дефектов и трещин) под действием капиллярных сил к месту нарушения сплошности покрытия и, контактируя с имеющимся в составе катализатором, полимеризуется, залечивая разрывы [11].

Ряд бетонных строительных конструкций, например элементов мостов, тоннелей и пр., требует использования гидроизолирующих покрытий. Для исключения микротрещин, механических повреждений и сохранения гидроизоляционных свойств разработан материал Филизол[®]. Материал на полиэфирной основе, в т.ч. с дублированием стеклосеткой, отличается эластичностью, трещиностойкостью, сопротивлению ударным нагрузкам и долговечностью благодаря способности к затягиванию повреждений и микротрещин. Возможность самозалечивания обеспечивается эластичным мастичным слоем и специальным составом полимерно-битумной компоненты [12].

Как отмечено выше, развитие умных материалов, среди прочего связано с построением аналогий с биологическими объектами, способными чувствовать, реагировать, регулировать, регенерировать и лечить. Многие наноразмерные материалы и капиллярно-пористые покрытия, способны к интеллектуальному реагированию на физические, химические или механические воздействия и выработке ответной реакции. Такие самозалечивающиеся покрытия строительных конструкций обеспечивают прогресс в вопросах их защиты и сохранения и имеют технико-экономические преимущества в долгосрочной перспективе [13].

Таким образом, показано, что условия эксплуатации строительных конструкций сопряжены, в зависимости от назначения, с воздействием различных знакопеременных и знакопостоянных нагрузок, что приводит к развитию напряжений, дефектов, трещин в конструкциях и снижает их долговечность. Охарактеризован переход от использования традиционных пассивных систем защиты строительных конструкций к интеллектуальным системам и материалам. Рассмотрен американский подход к созданию умных материалов за счет внешних сенсоров и актуаторов с цифровой обработкой сигналов о рассогласовании текущих характеристик конструкции и базовых значений. Отмечено, что такие системы способствуют детектированию и мониторингу дефектности конструкций, но не достаточно эффективны в их самовосстановлении.

На примере японского (материаловедческого) подхода к созданию «умных» материалов рассмотрены самозалечивающиеся материалы, с распределением в их объеме добавок, сенсорные способности которых определяются составом и структурой, а механизм действия аналогичен биологическим объектам. Охарактеризованы результаты создания самовосстанавливающихся бетонов и их покрытий, способствующих повышению долговечности и надежности конструкций.

Список литературы:

1. Шилько С., Плескачевский Ю. «Умные материалы»: время убирать кавычки // Наука и инновации. - 2013. - №9(127). - С. 26-29.
2. Бхавсар Р., Вады Н.И., Гангули П. и др. Новые интеллектуальные материалы // Нефтегазовое обозрение. 2008. - Т.20. - №1. - С. 38-49.
3. Клитной В.В. Способы контроля динамических характеристик строительных конструкций // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2014. - №10(129). - С. 53-59.
4. Федотов М.Ю. Концепции создания и тенденции развития интеллектуальных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии . - 2015. - №1(34). - С. 71-80.
5. Юрлова Н.А. Умные материалы и конструкции: фантастика или реальность? // Вестник пермского научного центра. - 2013.- №2. - С.33-48.
6. Рузаков И.А. Мониторинг деформационного состояния элементов конструкции из ПКМ на основе волоконно-оптических датчиков // Труды ВИАМ. - 2019. - №4 (76). - С. 88- 98.
7. Бегунова Н.В., Антифеева В.С., Романова А.М. Самозалечивающийся эластичный бетон – строительный материал будущего // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2018. - № 4(35).- С. 211-213.

8. Чернеев А.М., Шевцова М.А., Склифос В.О. Самозалечивающийся эластичный бетон с композитной арматурой как замена железобетонна при работе конструкций во влажных и щелочных средах // Перспективы науки. – 2019. - № 11(122). – С. 52-54.
9. Пэйн К.А., Алажари М., Шарма Т., Купер Р., Хит А. Разработка бетона, самозалечивающегося при помощи бактерий // Цемент и его применение. – 2017. - № 5. – С. 81-85.
10. Lee H.X.D., Wong H.S., Buenfeld N.R. Potential of superabsorbent polymer for self-sealing cracks in concrete // Advances in applied ceramics. – 2010. – Vol. 109. – No. 5. – pp. 296-302.
11. Самозалечивающийся полимер: новости химии URL:
<http://www.chemport.ru/datenews.php?news=529> (дата обращения 29.03.2020).
12. Краснов П.Л. Самозалечивающиеся материалы для кровли и гидроизоляции - новые разработки завода «Филикровля» // Строительные материалы. – 2006. - № . - С. 16-17.
13. Abdel A.F.M., Amr A.E., Nada M.El.A. Smart coating material: feasibility of employing self-healing and self-cleaning building coatings // Строительные материалы. – 2019. - №6. – С. 72.