

УДК 69.057.5

УМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Суставова А.А, студентка гр. СПб-231, III курс

Несмачных С.А, студентка гр. СПб-231, III курс

Научный руководитель: Гилязидинова Н.В., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Строительная отрасль долгое время оставалась консервативной с точки зрения материаловедения, опираясь на железобетон, сталь и керамику. Однако современные требования к энергоэффективности, безопасности и долговечности зданий стимулируют переход к материалам нового поколения.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания «живых» зданий – структур, способных адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, самостоятельно устранять дефекты и взаимодействовать с системами управления зданием (BIM и IoT).

Цель работы: систематизировать знания о типах умных материалов, используемых в строительстве, проанализировать их функциональные механизмы и оценить потенциал их влияния на жизненный цикл зданий.

Понятие и классификация умных материалов

В научной литературе под «умными» (интеллектуальными) материалами понимаются материалы, способные ощущать изменения внешней среды (механические, тепловые, химические) и реагировать на них предсказуемым и полезным образом, изменяя свои физико-механические свойства.

1. Классификация по типу функциональности:

– пассивные умные материалы – способны только ощущать воздействие (сенсоры напряжения, оптические волокна для мониторинга трещин), не меняют своих свойств, но передают информацию;

– активные умные материалы – способны реагировать на воздействие, изменяя свое состояние (форма, жесткость, цвет, теплопроводность).

2. Классификация по природе активации

Категория Механизм действия

Примеры в строительстве

Термореактивные. Реакция на перепад температур. Фазопереходные материалы (PCM), термохромная краска, сплавы с памятью формы (NiTi) для нагружаемых конструкций. Механореактивные. Реакция на деформацию или давление. Пьезоэлектрики (датчики вибрации), вязкоупругие демпферы (гашение сейсмических нагрузок). Автономные (бионика). Самодиагностика и самовосстановление. Бактериальный бетон, капиллярные системы с клеящими составами. Электро-Магнитореактивные. Реакция на электриче-

ское/магнитное поле. Электрореологические жидкости (в адаптивных амортизаторах), магнитострикционные сплавы.

Анализ ключевых типов умных материалов

1. Самовосстанавливающийся бетон (рис. 1)

Наиболее изученный материал в гражданском строительстве. Концепция основана на биомимикрии (подражании живым организмам, заживляющим раны).

Технология: в бетонную матрицу внедряются споры бактерий и лактат кальция.

Механизм: при образовании трещины в структуру проникает вода. Споры активируются, поглощают кислород и питательные вещества, преобразуя лактат кальция в нерастворимый карбонат кальция (известняк), который герметично запечатывает трещину [1].

Эффект: увеличение срока службы конструкций в 2-3 раза, снижение затрат на ремонт.

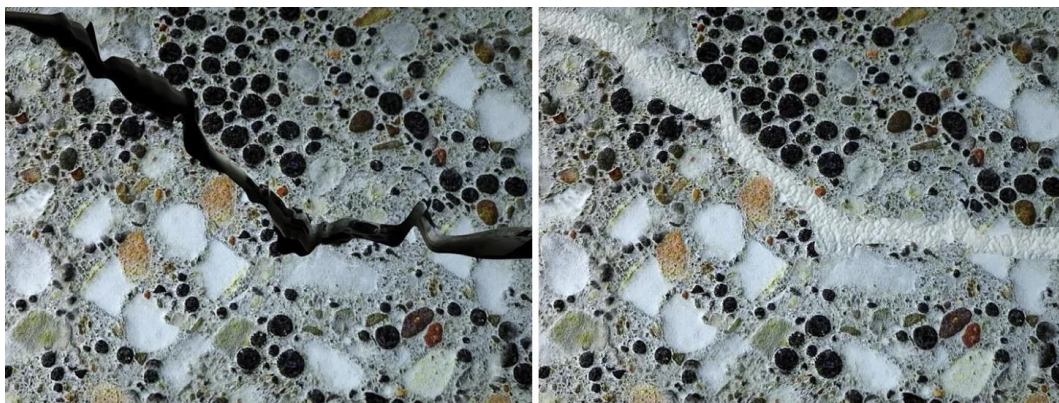


Рисунок 1 – Принцип самовосстанавливающегося бетона

2. Материалы с фазовым переходом (рис. 2)

Применяются для пассивной терморегуляции зданий.

Суть: материал (парафины, гидратированные соли) поглощает большое количество тепловой энергии в процессе плавления (перехода из твердого состояния в жидкое) при достижении температуры плавления, сохраняя прохладу в помещении. При охлаждении материал кристаллизуется, отдавая накопленное тепло [2].

Интеграция: встраиваются в гипсокартонные листы, штукатурку или поликарбонатные панели.

Эффективность: позволяет снизить нагрузку на системы кондиционирования на 20-35 % без использования активной автоматики.

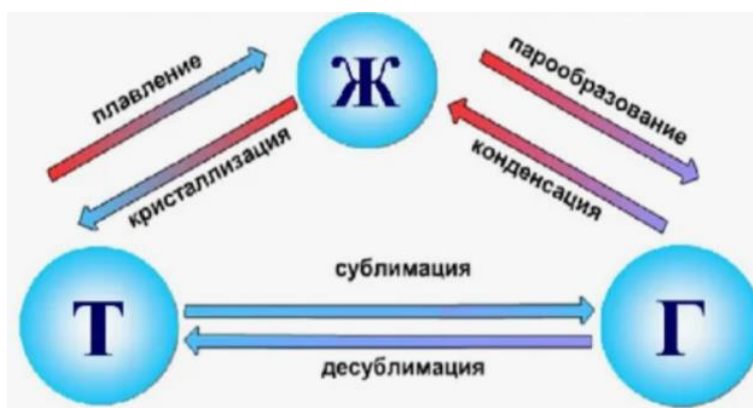


Рисунок 2 – Схема фазового перехода

3. Сплавы с памятью формы

Наиболее распространены никелид титана (NiTi).

Применение в строительстве: используются в сейсмостойком строительстве. Арматура из SMA вставляется в узлы соединения колонн и балок. При землетрясении арматура деформируется, поглощая энергию, но после снятия нагрузки возвращается к исходной форме, предотвращая остаточные деформации здания [3]. Это позволяет зданию пережить подземные толчки без критических разрушений (рис. 3).

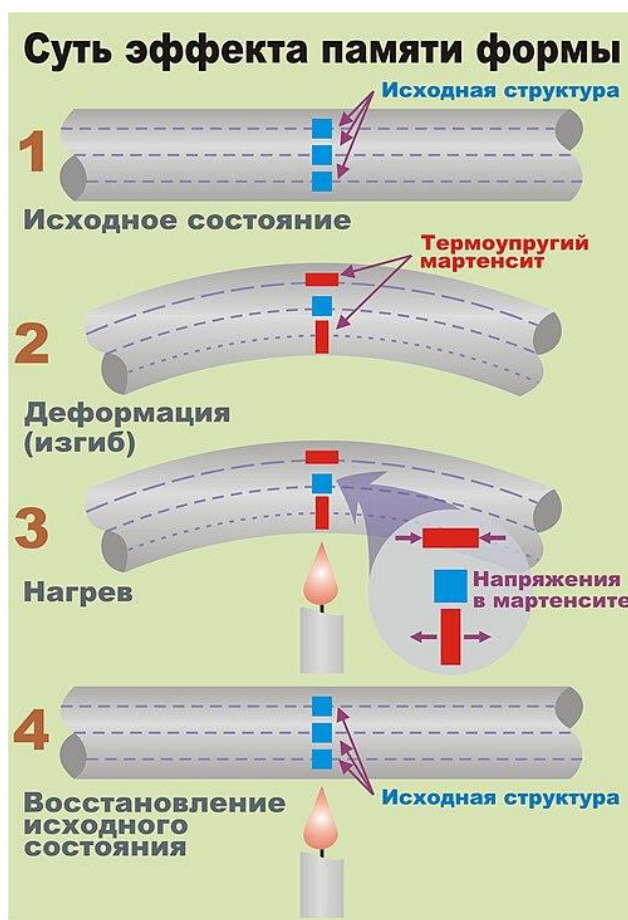


Рисунок 3 – Эффект памяти

4. Термохромные и фотохромные покрытия (рис. 4, 5)

Фотохромные: молекулы фотохромных веществ под действием ультрафиолета меняют структуру и перестают пропускать свет. От этого слой вещества становится темнее. Как только ультрафиолетовое излучение пропадает, структура молекул возвращается в исходное прозрачное состояние [4].

Термохромные: изменяют цвет фасада или остекления в зависимости от температуры. Летом светлые оттенки отражают солнечную радиацию, зимой темные – поглощают. Используются «умные окна» с электрохромным покрытием, меняющим прозрачность от напряжения [5].



Рисунок 4 – Фотохромные линзы



Рисунок 5 – Пример термохромного покрытия

5. Пьезоэлектрические материалы (рис. 6)

Кристаллы (кварц, цирконат-титанат свинца), генерирующие электрический ток при механическом напряжении [6].

Применение: Укладка под дорожное покрытие или в полы зданий для генерации электроэнергии от шагов. Также используются как чувствительные элементы для мониторинга состояния конструкций.



Рисунок 6 – Пьезоэлектрические материалы

Технико-экономические и нормативные барьеры

Несмотря на очевидные преимущества, массовое внедрение умных материалов в России и мире сталкивается с рядом проблем:

1. Высокая начальная стоимость: стоимость бактериального бетона выше традиционного в 1,5-2 раза. Сплавы с памятью формы значительно дороже обычной арматурной стали.

2. Отсутствие нормативной базы: в СП (Сводах правил) и ГОСТах отсутствуют методики расчета конструкций с учетом эффекта самовосстановления или адаптивных свойств. Проектировщики не могут легально закладывать снижение армирования за счет использования SMA.

3. Долговечность «интеллекта»: сложно прогнозировать, как долго бактерии сохраняют жизнеспособность в бетоне (20, 50 или 100 лет) или как быстро деградируют РСМ после многократных циклов «плавление-кристаллизация».

Перспективы развития и интеграция с BIM

Будущее умных материалов лежит в плоскости их интеграции с цифровыми двойниками зданий (BIM).

Концепция «Материалы как сеть»:

Встраивание в конструкции оптоволоконных датчиков Брэгга(FBG), которые позволяют в реальном времени отслеживать деформации, температуру и давление внутри монолита на протяжении всего жизненного цикла здания.

Данные передаются в BIM-модель, где система предиктивной аналитики прогнозирует необходимость ремонта до появления видимых дефектов.

Направления исследований:

Разработка гибридных материалов (композиты, сочетающие функции несущей способности и энергогенерации).

Создание «аэрогельных» утеплителей с адаптивной теплопроводностью.

Использование нанотехнологий (углеродные нанотрубки) для создания бетона с самодиагностикой (изменение электросопротивления при трещинообразовании).

Заключение

Умные материалы знаменуют переход строительства от статического возведения оболочек к созданию динамических, адаптивных систем. Проведенный анализ показывает, что наибольший практический результат на сегодняшний день демонстрируют самовосстанавливающийся бетон (повышение долговечности) и фазопереходные материалы (энергоэффективность).

Однако для перехода от точечного применения к массовому строительству требуется решение трех ключевых задач: снижение стоимости компонентов, разработка национальных стандартов проектирования (включающих расчетные модели поведения умных материалов) и подготовка квалифицированных кадров, способных работать на стыке материаловедения, электроники и строительной механики.

Внедрение этих технологий позволит снизить эксплуатационные расходы зданий до 40 % и значительно повысить безопасность сооружений в сложных геологических и климатических условиях.

Список литературы:

1. Jonkers, H. M. (2018). Self-Healing Concrete: A Biological Approach. Delft University of Technology.
2. Tyagi, V. V., et al. (2020). Phase Change Materials in Building Construction: A Review. Journal of Energy Storage.
3. Jani, J. M., et al. (2019). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. Materials & Design.
4. Соколов, Н. А. (2022). Интеллектуальные строительные материалы: современное состояние и перспективы. Строительные материалы и изделия, №4, С. 12-19.
5. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция (с комментариями о перспективных материалах).