



eISSN 2311-2468
Том 7, № 5. 2019
Vol. 7, no. 5. 2019

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



**УТКИНА В. Н., БЕЗРУКОВА Е. С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ВЫСОТНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества технологии информационного моделирования зданий. В программном комплексе МОНОМАХ создана и рассчитана пространственная модель высотного здания гостиницы. Представлены результаты расчета и анализа.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, высотное здание, конструктивная система, монолитный железобетон, МКЭ-расчет, результаты.

**UTKINA V. N., BEZRUKOVA E. S. DESIGN OF HIGH-RISE PUBLIC BUILDING WITH
APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

Abstract. The article considers the advantages of building information modeling. The software MONOMAKH was used to design and calculate a 3D model of a high-rise hotel building. The results of the calculation and analysis are presented.

Keywords: building information modeling, high-rise building, structural system, monolithic reinforced concrete, FEM calculation, results.

Технология информационного моделирования зданий в настоящее время получила широкое распространение во всех развитых странах мира. Наша страна стоит на пороге ее повсеместного применения. В декабре 2014 г. Минстрой России утвердил план поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, который предусматривает создание правовой и нормативно-технической базы, формирование инфраструктуры и подготовки кадров. Решение вопросов на государственном уровне позволит значительно ускорить реализацию перехода на новую технологию, повысить конкурентоспособность российского строительного комплекса, улучшить качество инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов [1; 2].

Информационное моделирование зданий и сооружений (Building Information Modeling или сокращенно BIM) – это процесс создания и использования информации по строящимся, а также завершенным объектам капитального строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех этапах жизненного цикла. Под BIM также понимается информационная модель здания – совокупность представленных в электронном

виде документов, графических или других данных по объекту строительства,
размещаемая в 1

соответствии с установленными правилами в среде общих данных и представляющая собой единый достоверный источник информации по объекту [3].

Актуальность использования BIM-технологии в строительстве возрастает с каждым годом в связи с разработкой все более масштабных и сложных проектов, а также благодаря появлению программного обеспечения, позволяющего упростить обмен данными между различными составляющими информационной модели и регулировать степень ее детализации на каждом этапе жизненного цикла здания.

Согласно данным информационно-аналитического агентства «McGraw-Hill Construction» BIM-технология обладает следующими преимуществами [4]:

- уменьшение количества ошибок, возникающих на стадии проектирования, в том числе сокращение количества проектных изменений (рис. 1);
- улучшение коммуникации между проектировщиками, а также между проектировщиками и руководителями;
- уменьшение стоимости строительства (уже достигнуто сокращение до 20%, планируется – на 33%);
- сокращение общей продолжительности проекта (проектировщики отмечают трехкратное ускорение работы по сравнению с классическим подходом).

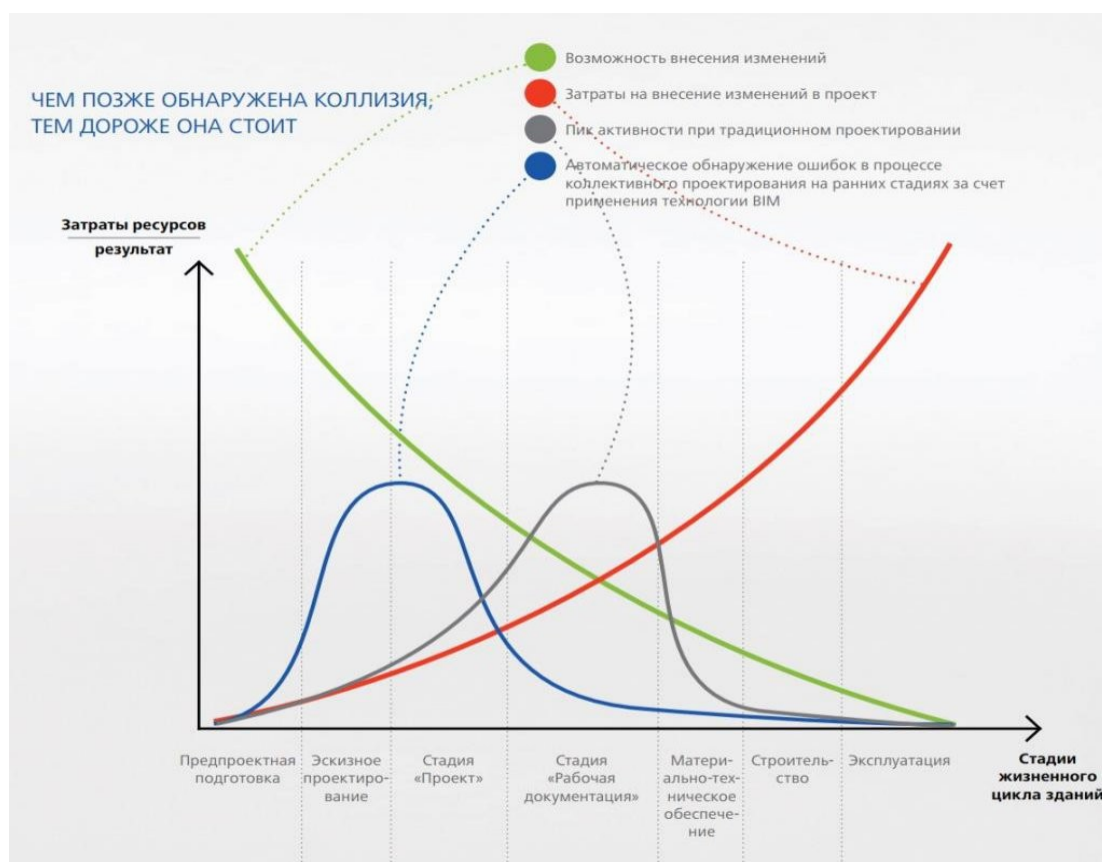


Рис. 1. График, показывающий затраты на внесение изменений в проект на каждой стадии жизненного цикла здания [4].

Ярким примером применения информационного моделирования является строительство Шанхайской башни высотой 632 м, при создании которой было сэкономлено 16 млн. долларов исключительно из-за возможности устранения ошибок на этапе проектирования. После создания инженерных систем и конструкций только на стандартном этаже было обнаружено и устранено порядка 250 строительных конфликтов [5].

Во многих странах BIM-технология используется на государственном уровне. Переход на обязательное применение технологий информационного моделирования при проектировании, строительстве и эксплуатации строительных объектов, создаваемых за счет средств бюджета в России, должен быть осуществлен к 2020 г.

В настоящее время идет процесс создания нормативно-технической базы, разработаны и введены в действие следующие документы, содержащие основные определения и правила информационного моделирования: ГОСТ Р 57310-2016, СП 328.1325800.2017, СП 331.1325800.2017, СП 333.1325800.2017 и др. [3; 6–8]. Своды правил введены впервые и будут изменяться со временем.

Цель данной работы – проектирование конструктивной системы высотного общественного здания с использованием информационных технологий. Выполнены следующие задачи: создание пространственной модели здания в программном комплексе МОНОМАХ; проведение общего расчета конструктивной системы в стадии эксплуатации; анализ полученных результатов.

В качестве объекта информационного моделирования было выбрано здание гостиницы «Four Points by Sheraton» в г. Саранск. В проект внесены необходимые изменения конструктивных решений с учетом задания и рекомендаций СП 267.1325800.2016 [9]. Количество этажей увеличено до 25, изменены размеры сечений колонн, плит перекрытия и стен подвала, высота фундаментной плиты. Проектируемое здание имеет прямоугольную форму в плане с размерами 51,3×45,9 м и высоту – 75,3 м, главный фасад показан на рис. 2. Класс ответственности здания – КС-2.

В здании имеются два подземных и два технических этажа. На первом подвальном этаже высотой 3,3 м размещены служебные и технические помещения; на втором высотой 6 м – переговорные, административные помещения. На третьем этаже высотой 4,7 м находятся холл, ресторан, кухня, фитнес-зал, рецепция, сауна. Затем располагается технический этаж высотой 1,9 м. На типовых этажах с 5-го по 24-й находятся гостиничные номера, высота их составляет 3,3 м. Завершает здание технический этаж высотой 1,9 м.

Конструктивная схема здания представляет собой каркас с диафрагмами жесткости из монолитного железобетона. Основные несущие конструкции: железобетонная монолитная

фундаментная плита из тяжелого бетона класса В40 толщиной 1000 мм;

стены подвала 3

толщиной 400 мм, колонны прямоугольного и квадратного сечений с размерами от 500×500 мм до 1000×1000 мм, а также плиты перекрытий толщиной 300 и 250 мм и диафрагмы жесткости толщиной 400, 300 и 200 мм выполнены из монолитного железобетона с применением бетона класса В35. Рабочая продольная арматура класса А400, конструктивная – А240 по ГОСТ 5781-82*. Материалы и размеры сечений несущих конструкций приняты в соответствии с требованиями СП 267.1325800.2016 и СП 63.13330.2012 [9; 10]. Наружные стены здания являются ненесущими, они поэтажно опираются на монолитные плиты перекрытий.



Рис. 2. Проектируемое высотное общественное здание.

Для создания и расчета пространственной модели высотного здания гостиницы использовался специализированный программный комплекс МОНОМАХ [11]. В процессе формирования модели в программе КОМПОНОВКА последовательно задавались конструктивные элементы на соответствующих этажах: колонны, стены и диафрагмы жесткости, а также плиты перекрытий и фундаментная плита. Постоянные и временные нагрузки, действующие на здание, определены в соответствии с СП 20.13330.2011 [12]. Собственный вес несущих конструкций вычисляется программой автоматически. Распределенная по всей площади плиты нагрузка учитывается в момент создания плиты; дополнительно задаются штампы нагрузок в необходимых местах, а также линейно-распределенные нагрузки. Характеристики основания импортируются из модели грунта,

созданной в программе ГРУНТ по данным инженерно-геологических исследований площадки строительства. Производятся предварительные упрощенные расчеты текущего этажа и всего здания, позволяющие выполнить диагностику модели и устранить имеющиеся ошибки.

В программе КОМПОНОВКА задается шаг триангуляции и выполняется МКЭ-расчет на все виды нагрузок. Конечно-элементная схема здания формируется автоматически, она состоит из 11692 конечных элементов и 13135 узлов (см. рис. 3). По результатам общего расчета определены перемещения, усилия и напряжения в основных несущих конструкциях с учетом совместной работы в стадии эксплуатации.

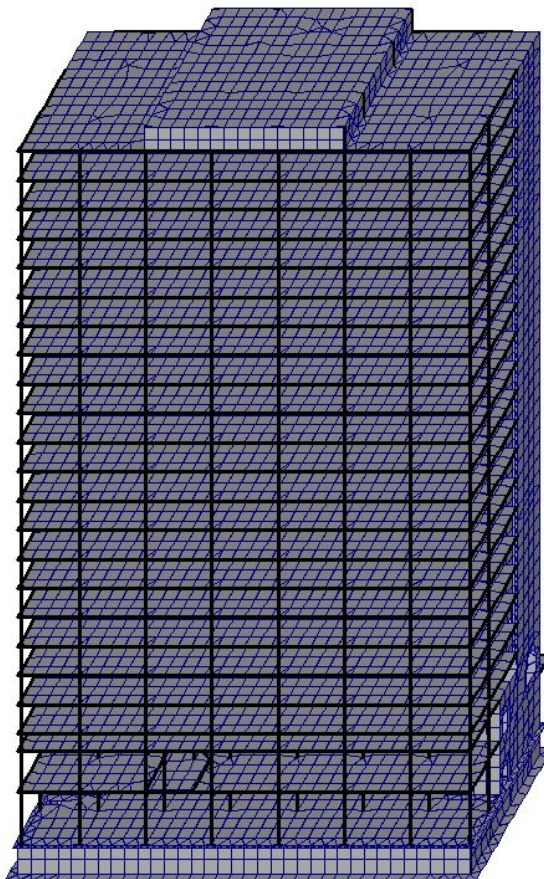


Рис. 3. Расчетная конечно-элементная схема здания.

Рассмотрим некоторые из полученных результатов. Давление под подошвой фундаментной плиты не превышает расчетное сопротивление грунта основания, среднее значение осадки здания составляет 13,15 см, относительная разность осадок равна 0,0008. Перемещения в перекрытиях увеличиваются с повышением этажа. При постоянном нагружении максимальные перемещения по оси Z наблюдаются в плите покрытия и составляют 171 мм (рис. 4). Неравномерность перемещений и наибольшие их значения на

верхних этажах можно объяснить неравномерностью осадки опор плиты и различным укорочением вертикальных элементов в общей схеме здания.

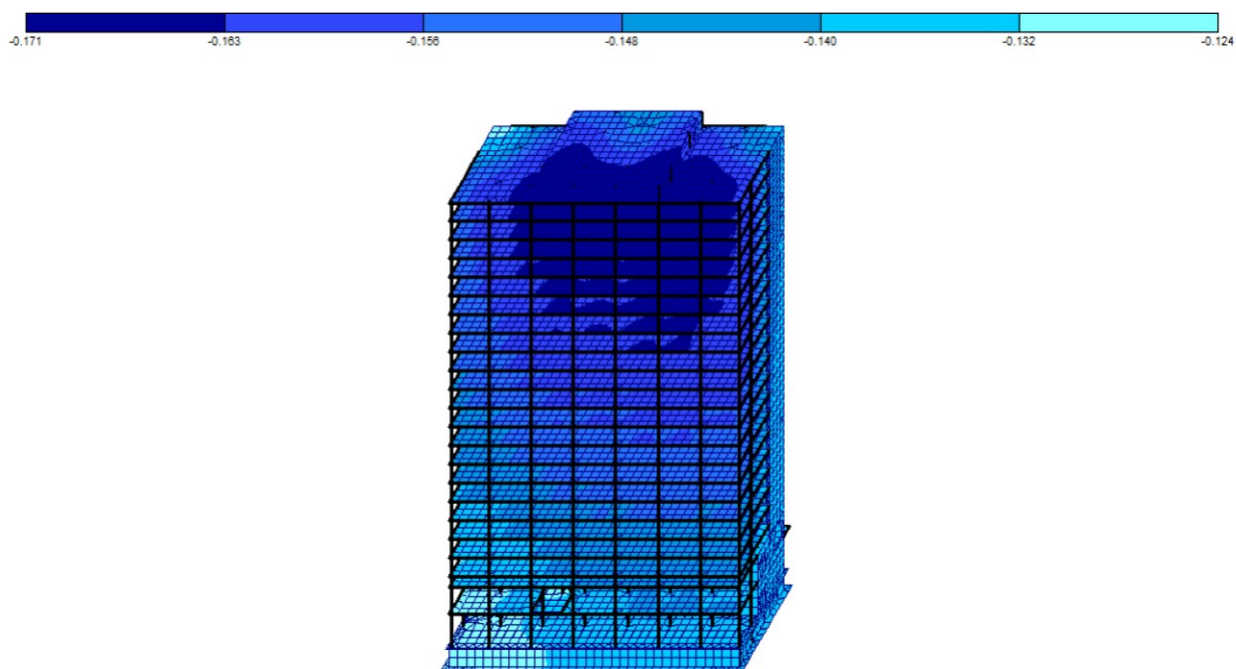


Рис. 4. Изополя перемещений по оси Z от постоянного нагружения, м.

Горизонтальные перемещения системы зависят от направления и значения ветровой нагрузки и с повышением ветрового давления увеличиваются по высоте здания. Максимальные перемещения по осям X и Y при постоянном и ветровом нагружениях составляют 14,4 и 50,3 мм соответственно (рис. 5).

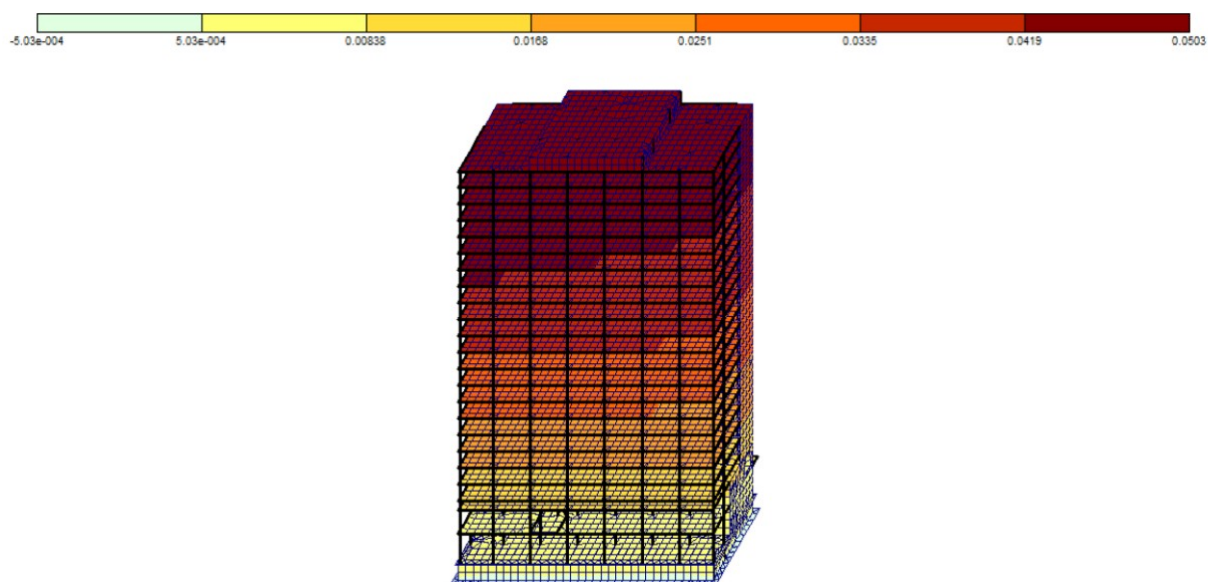


Рис. 5. Изополя перемещений по оси Y от постоянного и ветрового нагружений, м.

Результаты в программе КОМПОНОВКА носят предварительный характер и уточняются в конструирующих программах ПЛИТА, КОЛОННА и РАЗРЕЗ (СТЕНА); при этом расчетные схемы конструкций формируются в режиме импорта.

На рис. 6 и 7 показаны изополя изгибающих моментов M_x и M_y в плите перекрытия типового этажа. Наблюдается четкая картина изменения знака моментов на опорах. При постоянной нагрузке значения моментов M_x и M_y изменяются в пределах от $-15,6 \text{ тс} \cdot \text{м}$ до $5,44 \text{ тс} \cdot \text{м}$ и от $-14,5 \text{ тс} \cdot \text{м}$ до $5,39 \text{ тс} \cdot \text{м}$ соответственно. Максимальные положительные изгибающие моменты появляются в пролетах между опорами, отрицательные моменты – над колоннами и стенами. Такое распределение изгибающих моментов характерно для работы монолитных плит перекрытия. В пролетах растянута нижняя часть плиты, на опорах – верхняя. В фундаментной плите наблюдается обратная картина. Эти особенности учитываются при армировании конструкций.

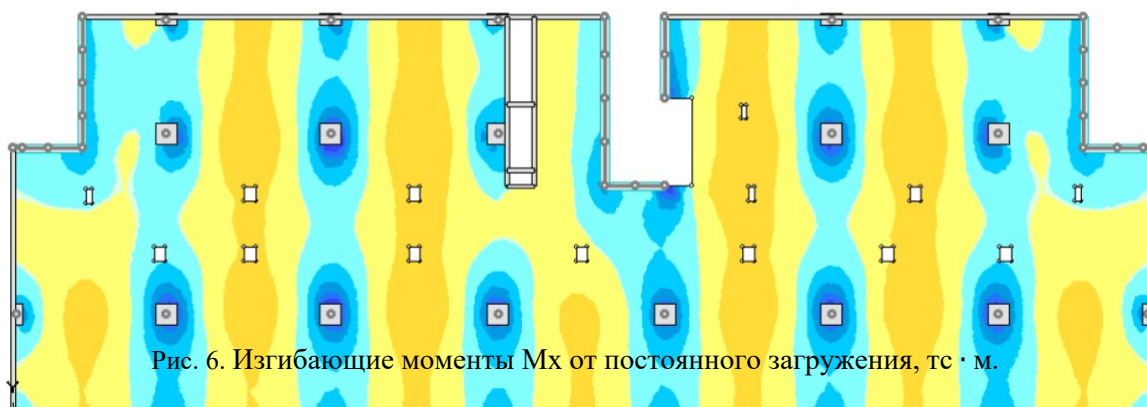
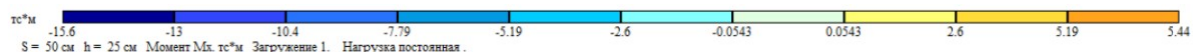


Рис. 6. Изгибающие моменты M_x от постоянного нагружения, $\text{тс} \cdot \text{м}$.

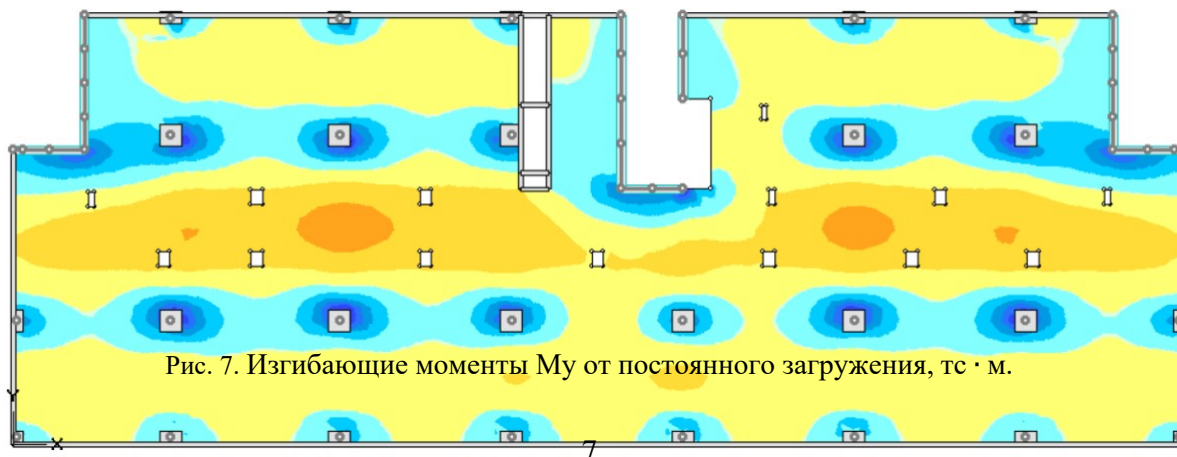
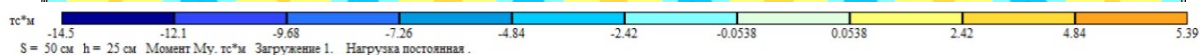


Рис. 7. Изгибающие моменты M_y от постоянного нагружения, $\text{тс} \cdot \text{м}$.

В результате общего расчета пространственной модели здания установлены следующие основные параметры: горизонтальные перемещения верха конструктивной системы, перекося этажных ячеек, прогибы элементов перекрытий, коэффициенты запаса устойчивости формы и положения конструктивной системы, средняя осадка, разность осадок фундамента и другие.

Полученные значения параметров конструктивной системы представлены в таблице. Они не превышают предельно допустимых значений, установленных соответствующими нормативными документами [9; 12; 13].

Таблица

**Сравнение основных параметров конструктивной системы
с допустимыми значениями**

Параметр	Полученное значение	Предельно допустимое значение	Источник
Средняя осадка фундаментов, см	13,15	$15,0 \times 1,5 = 22,5$	СП 50-101-2004
Перекося этажных ячеек, см	0,172	$h/300 = 330/300 = 1,1$	СП 267.1325800.2016
Прогиб плиты перекрытия 23-го этажа, см	2,1	$l/150 = 810/150 = 5,4$	СП 20.13330.2016
Горизонтальные перемещения верха конструкции, см	5,1	$H/500 = 7530/500 = 15,1$	СП 267.1325800.2016
Относительная разность осадок фундамента	0,0008	0,003	СП 22.13330.2016
Коэффициент запаса устойчивости формы	8,84	> 2	СП 267.1325800.2016
Коэффициент запаса устойчивости положения	11,19	$> 1,5$	СП 267.1325800.2016

Анализ полученных результатов в независимых программных комплексах ЛИРА и STARK ES показал, что принятая конструктивная система обеспечивает прочность, устойчивость и пространственную неизменяемость высотного здания и его отдельных элементов.

Применение информационных технологий позволило в короткие сроки создать пространственную модель каркасно-монолитного здания, выполнить общие и конструктивные расчеты с учетом совместной работы всех несущих элементов и основания в

стадии эксплуатации, вовремя сделать корректировки, исключить ошибки и недочеты, провести необходимые исследования и анализ результатов, значительно улучшить качество проекта, повысить его надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства (с изменениями на 4 марта 2015 года): Приказ Минстроя России от 29 декабря 2014 года № 926 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420245345> (дата обращения 08.05.2019).
2. Уткина В.Н., Смолин А.Н. Российский опыт применения BIM-технологий в строительном проектировании // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 201-210.
3. ГОСТ Р 57310-2016. Моделирование информационное в строительстве. – М.: Стандартинформ, 2018. – 32 с.
4. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства: проектирование, строительство, эксплуатация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings_Autodesk.pdf (дата обращения 08.05.2019).
5. Shanghai Tower case study: Rising to new height with BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/case-studies/shanghai-tower/shanghai-tower-customer-story.pdf> (дата обращения 08.05.2019).
6. СП 328.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 21 с.
7. СП 331.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 21 с.
8. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила оформления информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 35 с.
9. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2016. – 122 с.

10. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минрегион России, 2012. – 161 с.
11. Городецкий Д. А. МОНОМАХ-САПР 2013. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие, 2013. – 368 с.
12. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 80 с.
13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – М.: Минрегион России, 2011. – 164 с.

ВАВИН А. А., УТКИНА В. Н.
АРХИТЕКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ В СИСТЕМЕ ARCHICAD

Аннотация. Выполнено формирование архитектурной пространственной модели многоэтажного жилого здания в системе ArchiCAD. Определена технологическая последовательность создания модели. Представлены результаты моделирования.

Ключевые слова: информационная модель здания, архитектурное моделирование, система ArchiCAD, результаты.

VAVIN A. A., UTKINA V. N.
ARCHITECTURAL MODELING
OF MULTISTORY BUILDING IN THE ARCHICAD SYSTEM

Abstract. The formation of an architectural 3D model of a multistory residential building in the ArchiCAD system is completed. The technological sequence of the model is defined. The modeling results are presented.

Keywords: building information model, architectural modeling, ArchiCAD system, results.

Информационное моделирование зданий – Building Information Modeling (BIM) является основным инновационным трендом в мировой строительной отрасли. Это современный подход к проектированию, возведению, оснащению и управлению жизненным циклом объекта. Согласно определению национального проектного комитета США информационная модель – цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта, общий ресурс знаний для получения информации об объекте, который служит надежной основой для принятия решений в течение его жизненного цикла от самой ранней концепции до сноса [1].

BIM-технология проектирования имеет ряд преимуществ перед простой проработкой чертежей с последующим документированием: она более наглядная, разносторонняя, вовлекающая в единый производственный процесс одновременно всех участников (архитекторов, конструкторов, технологов, дизайнеров, представителей различных отраслей строительства), что позволяет ускорить получение выходной документации, спецификаций и смет, а также предотвращает возникновение ошибок и значительно повышает качество проектов [2; 3].

Архитектурное моделирование служит основой концепции любого объекта строительства и несет в себе пространственное, физическое и эстетическое представление

здания. Цель нашей работы – формирование архитектурной пространственной модели многоэтажного жилого дома в системе ArchiCAD.

Проектируемым объектом является многоквартирный семнадцатизэтажный жилой дом двухсекционного типа со встроенными нежилыми помещениями на первом этаже для общественного пользования. Жилые этажи, начиная с третьего, имеют типовую планировку, что позволит ускорить разработку чертежей для проекта (рис. 1). Входные группы каждой секции включают тамбур, вестибюль, колясочную, помещение для консьержа. Для сообщения между входными группами и жилыми этажами дома запроектированы группы лифтов, составляющих совместно с лестничными клетками лестнично-лифтовые узлы. Высота жилых этажей составляет 2,8 м, а общественного – 3,5 м. Принятые в проекте планировки и площади квартир определены на основании исследования потребительского спроса на доступное жильё и представлены тремя основными типами квартир эконом-класса: однокомнатные студии, однокомнатные и двухкомнатные. Количество квартир каждого вида на типовом этаже – 9, 6 и 3 соответственно.

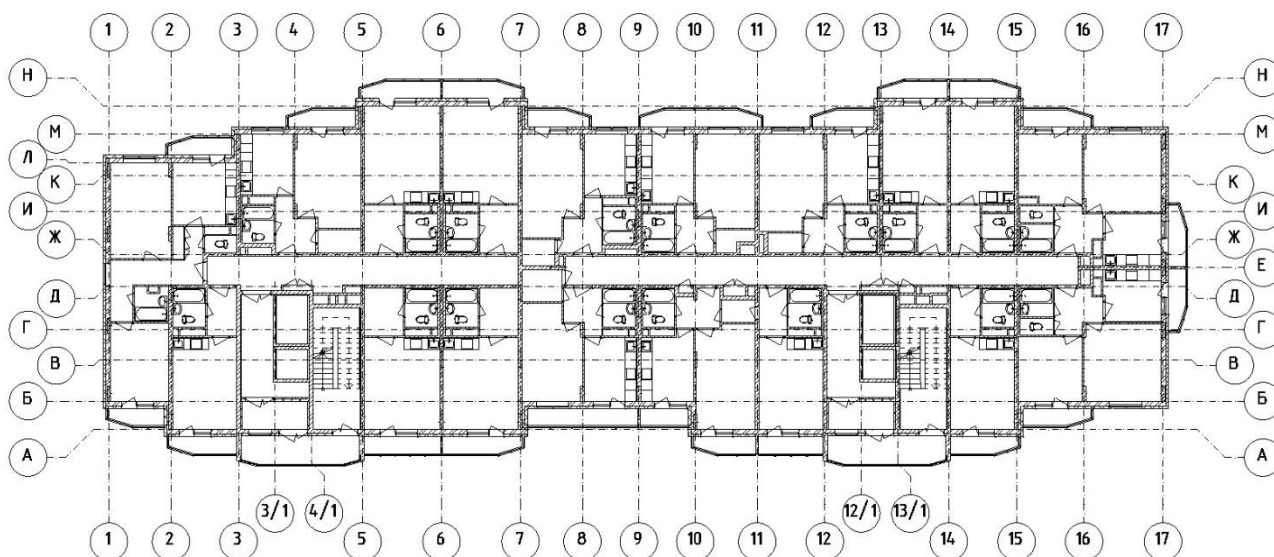


Рис. 1. План типового этажа.

Высота здания до верха парапета основного уровня кровли составляет +52,00 м. По выступающим объёмам лестничных клеток и машинных отделений лифтов высота здания определена относительной отметкой +55,110 м.

Длина первой секции здания в осях 1 – 5 равна 13,500 м, между секциями запланирован проем в осях 5 – 7 шириной 8,400 м и высотой с подвального до второго этажа, вторая секция в осях 7 – 17 имеет длину 34,200 м. Ширина здания в осях А – Н составляет 17,200 м.

Конструктивная схема жилого дома представляет собой монолитную рамно-связевую каркасную систему с диафрагмами жесткости на железобетонной монолитной плите.

Архитектурное моделирование здания производилось в современной системе автоматизированного проектирования ArchiCAD 21. Данное программное обеспечение одним из первых зарекомендовало себя внедрением BIM-технологии, использующей встроенную систему обширных библиотечных элементов с возможностью параметрического моделирования, а также метод виртуального дома, который преобразовывает все элементы чертежа в объемную детализированную трехмерную модель будущего объекта строительства. Это позволяет параллельно с разработкой планов этажей моделировать фасады и разрезы, ускоряя сам производственный процесс [4].

По сравнению с другими программными комплексами ArchiCAD имеет ряд преимуществ. В САПР AutoCAD от Autodesk хорошо развиты возможности 2D проектирования, а формирование 3D-модели объекта потребует на порядок больше времени и трудозатрат [5]. Система SketchUp от компании Trimble Navigation позволяет очень быстро создавать архитектурную концептуальную модель, но в большинстве случаев – для простых объектов со слабо проработанными конструктивными особенностями [6]. САПФИР-3D компании «Лира сервис», наоборот, позволяет проработать конструктив объекта, но имеет более слабые возможности в создании архитектуры по сравнению с ArchiCAD [7].

Выбранная для моделирования современная версия ArchiCAD 21 имеет очень удобные и мощные инструменты графического построения и редактирования параметрических 3D-моделей, позволяет быстро проработать как архитектурную, так и конструкторскую часть объекта строительства, и получить обширную выходную документацию в кратчайшие сроки.

Архитектурное моделирование многоэтажного жилого здания (от создания типового этажа до реалистичной модели объекта) выполняется согласно определенной технологической последовательности [4; 8; 9]. Задаются пространственные параметры и размеры объекта. Устанавливаются количество и высоты этажей, создаются координационные оси здания, к которым будет проводиться привязка конструктивных элементов. Осуществляется проработка конструктивных особенностей ограждающих и несущих стен, перегородок, перекрытий и полов. Для этого создаются новые многослойные конструкции, которые отражают особенности каждого элемента (материалы, толщина и другие параметры).

Выполняется привязка вертикальных конструктивных элементов к осям с помощью соответствующих инструментов, вводятся их пространственные размеры и другие характеристики. Устанавливаются лестничные марши и лифтовые шахты. Осуществляется привязка железобетонной монолитной плиты перекрытия с отверстиями. Заполняются оконные и дверные проемы типовыми библиотечными элементами и индивидуальными,

полученными с помощью параметрической настройки. Размещаются инвентарная мебель и сантехническое оборудование на плане (рис. 1).

Выполняется нанесение размеров на плане и установка дополнительных информационных сносок. Производится копирование типовых этажей с исходным расположением всех элементов в соответствии с этажностью здания. При внесении изменений на планах автоматически корректируются все остальные части проекта; можно проверять изменения, видеть погрешности и вовремя исправлять их, сравнивать варианты и выбрать лучшее решение.

Размещается секущая плоскость разреза на плане и осуществляется переход в вид разреза. Поперечный разрез здания в осях Н – А показан на рис. 2. Устанавливаются высотные отметки, если необходимо, добавляется информация о конструкции перекрытий и стен на разрезе.

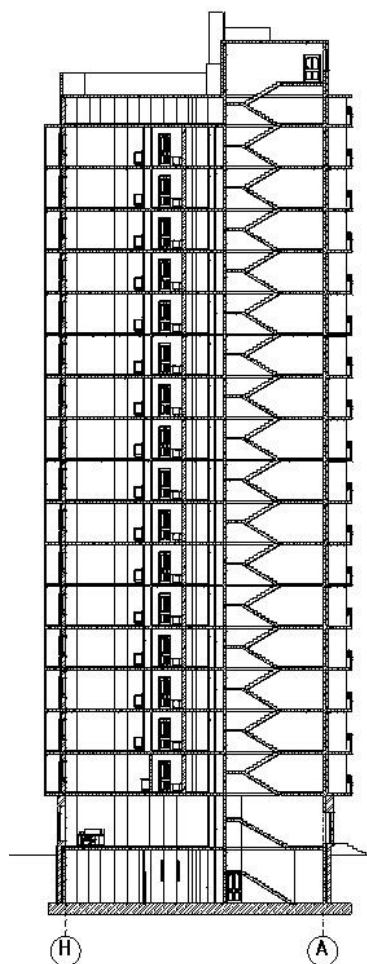


Рис. 2. Поперечный разрез здания.

Размещается плоскость сечения фасада на плане. Создаются новые покрытия для придания фасадам соответствующей фактуры и цветовой схемы. Осуществляется переход в вид фасада. Устанавливаются новые покрытия для ограждающих конструкций в

соответствие с цветовой схемой. Главный фасад здания представлен на рис. 3. Проставляются высотные отметки и добавляются ведомости отделки фасадов.

Выполняется переход в 3D-вид и разрабатывается архитектурная среда. С помощью инструмента «3D-сетка» создаются тротуары, проезжая часть, а также газоны и озеленение. Устанавливаются бордюры, добавляются элементы озеленения и другие декоративные объекты.



Рис. 3. Вид на главный фасад здания.

Осуществляется установка камеры и ее настройка (выбор угла просмотра, расположения солнца). Выполняется презентационная визуализация и создание пространственного изображения объекта (рис. 4).



Рис. 4. Презентационная визуализация объекта.

В результате проведенной работы сформирована архитектурная модель многоэтажного жилого здания, включающая объемно-планировочные и конструктивные решения, которые могут быть представлены в виде плоских чертежей и наглядных 3D-изображений. Из этой модели автоматически получаются следующие выходные данные: планы этажей, разрезы, готовые фасады, ведомости подсчета объемов работ и количества инвентарного оборудования, а также презентационные визуализации объекта.

Архитектурная модель является основой для продолжения разработки информационной модели здания, ее можно изменять, дополнять, экспортировать в универсальные и специализированные программные комплексы для подготовки аналитической пространственной модели, прочностного расчета и анализа несущих конструкций, выбора рациональных конструктивных и инженерных решений, дальнейшей детализации рабочей документации, необходимой при строительстве и эксплуатации многоэтажного жилого дома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://Nationalbimstandard.org> (дата обращения 08.05.2019).
2. Талапов В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
3. Уткина В.Н., Смолин А.Н. Российский опыт применения BIM-технологий в строительном проектировании // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 201-210.
4. Малова Н. А. ArchiCAD в примерах. Русская версия. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 576 с.
5. Новые функции AutoCAD 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/autocad/features> (дата обращения 08.05.2019).
6. What's New with SketchUp Pro [in] 2019? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.sketchup.com/article/a-whole-new-way-to-sketchup> (дата обращения 08.05.2019).
7. Новые возможности САПФИР-3D 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liraland.ru/sapfir/versions> (дата обращения 08.05.2019).

8. Джанибекова З. Н. Информационное многомерное моделирование объектов строительства [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2016. – №15. – С. 178-180. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/119/33045/> (дата обращения: 14.03.2019).
9. Бэнкс Дж. Сколько я должен моделировать в ArchiCAD [Электронный ресурс] // САПР и графика. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/24779> (дата обращения 08.05.2019).

ВОЛОДИН В. В., НИЗИНА Т. А., БАЛЫКОВ А. С., ОШКИНА Л. М., КОРОВКИН Д. И.
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНЫ
НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ¹

Аннотация. Задачей настоящей работы явилось исследование влияния рецептурно-технологических параметров получения и эффективности применения добавок термоактивированной глины на прочность цементных композитов. Показана возможность повышения исследуемых физико-механических показателей композитов путем оптимизации режима обжига глинистого сырья и содержания разработанного модификатора.

Ключевые слова: цементный композит, минеральная добавка, глина, режим обжига, прочность.

VOLODIN V. V., NIZINA T. A., BALYKOV A. S., OSHKINA L. M., KOROVKIN D. I.
THE EFFECT OF BAKED CLAY ADDITIVES
ON THE STRENGTH OF CEMENT STONE

Abstract. The article studies the effects of preparation technological parameters and a mineral additive based on baked clay on the strength of cement composites. The authors show a way of improving the physical and mechanical properties of the composites by optimizing the mode of clay burning and the content of the developed additive.

Keywords: cement composite, mineral additive, clay, firing mode, strength.

Одним из главных индикаторов состояния экономики является развитие строительной отрасли страны. Подъём экономики, рост благосостояния народа отражаются в росте объёмов строительства жилья. В 2015 году общая площадь введённых в эксплуатацию жилых домов составила 85,3 млн. м², что почти в 2 раза больше, чем в 2005 году [1]. Данное увеличение объёмов строительства связано с реализацией государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильём и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». Дальнейшее наращивание объёмов строительства требует увеличения производства строительных материалов. Очевидно, что эффективное решение поставленных задач зависит от организации инновационного производства строительных материалов и изделий на основе местного сырья.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-43-130008 «Исследование влияния минеральных и органоминеральных добавок на основе термоактивированных полиминеральных глин и карбонатных пород на закономерности формирования структуры цементного камня и свойства высокопрочных мелкозернистых бетонов с заполнителем из отходов литейного производства».

В настоящее время портландцемент является основным вяжущим для строительной отрасли. Введение в портландцемент тонкодисперсных минеральных добавок природного и техногенного происхождения с целью повышения показателей его физико-технических свойств и частичной замены ими клинкера является одним из эффективных направлений обеспечения устойчивого развития в части ресурсосбережения. В последние годы для более рационального использования портландцемента и обеспечения требуемого уровня характеристик цементных композитов все чаще используются такие минеральные добавки, как микрокремнезем и метакраин. Данные модификаторы способствуют увеличению плотности цементного камня посредством управления его фазовым составом и пористостью, позволяя тем самым повысить физико-механические и эксплуатационные свойства цементных композитов при сниженных расходах цемента [2–4].

Тем не менее, ресурсы приведенных выше добавок не обеспечивают возрастающие в них потребности строительной индустрии. В связи с этим перед исследователями стоит задача расширения сырьевой базы для получения минеральных добавок из доступного природного сырья. Одними из наиболее перспективных в данном отношении являются прокаленные глинистые породы – глиежи [5]. При этом по результатам исследований [6–8] установлено, что наибольшей пуццолановой активностью после термической обработки обладают каолинитовые, монтмориллонитовые и мусковитовые / иллитовые глины.

Территория России богата запасами самых разных видов глин. Добыча обыкновенных (легкоплавких) глин в России производится практически повсеместно. Например, на территории Республики Мордовия расположены более пятидесяти месторождений глинистых пород, что позволяет отнести разработку активных минеральных добавок на основе глинистого сырья к перспективным задачам строительной индустрии, решение которых минимизирует ряд экономических, технологических и экологических проблем цементной промышленности как в самом регионе, так и в стране в целом.

В качестве исходного сырья для разработки минеральной добавки была выбрана глина Старошайговского месторождения Республики Мордовия. Для проведения экспериментальных исследований был синтезирован план, содержащий 15 опытов, позволяющий варьировать температуру и длительность обжига на трех уровнях (соответственно, 400, 600 и 800 °C; 2, 3 и 4 ч), а содержание минеральной добавки на основе термоактивированной глины в составе цементных композитов на пяти уровнях – 2, 6, 10, 14 и 18% от массы портландцемента. Также помимо 15 составов, входящих в основной блок плана эксперимента, дополнительно исследовался бездобавочный состав (№16). Изготовление цементных композиций осуществлялось при фиксированном водотвердом отношении, равном 0,3. Прокаленные глины подвергались помолу в планетарной мельнице в

течении 1 часа. Получаемые тонкодисперсные порошки вводились в состав цементного вяжущего на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Серебряковцемент». По результатам исследований была осуществлена оптимизация составов, модифицированных цементных вяжущих с установлением наиболее эффективных режимов обжига. Определение рациональных составов велось из анализа экспериментальной статистической модели, описывающей изменение предела прочности при сжатии цементных композитов на основе модифицированного обожженного глинистого сырья:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{сж.}} = & 67,29 + 3,23 \cdot x_1 + 0,18 \cdot x_2 - 3,99 \cdot x_3 + 1,36 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ & - 0,81 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,38 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 7,55 \cdot x_1^2 - 4,35 \cdot x_2^2 + \\ & + 4,48 \cdot x_3^2 - 0,91 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,56 \cdot x_1 \cdot x_2^2 - 0,49 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 2,19 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3)^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1 – температура обжига; x_2 – время обжига; x_3 – доля добавки.

Выявление оптимальных областей компромиссных решений по каждому фактору в отдельности осуществлялось с помощью полигонов частот, являющихся одним из наиболее наглядных способов графического представления плотности вероятности случайной величины [9].

По результатам проведенных исследований установлено, что ряд модифицированных цементных композитов достигает прочностных показателей при сжатии 70-80 МПа, что сопоставимо с контрольным составом №16 (рис. 1). Наиболее высокие прочностные показатели достигнуты в составах 2, 4, 6 и 13 с содержанием обожжённой глины в количестве от 2 до 6 % от массы цемента.



Рис. 1. Предел прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в возрасте 7 и 28 суток.

Проведённый анализ ЭС-модели (1) на основе полигонов частот (рис. 2) показал, что предел прочности при сжатии, соответствующий контрольному составу, может быть

обеспечен для цементных композитов с минеральной добавкой при любом изученном уровне температуры и продолжительности обжига глинистого сырья. В то же время для принятых температурных и временных интервалов прокаливания минеральной добавки общая доля композитов с улучшенными или соответствующими контрольному составу показателями прочности варьируется от 22 до 41% в зависимости от продолжительности и от 11 до 45% в зависимости от температура прокаливания. Установлено, что увеличение времени прокаливания глины с 2 до 3 ÷ 4 часов приводит к расширению диапазона относительных значений прочностных характеристик модифицированных цементных композитов с 77,5 ÷ 115 до 62,5 ÷ 130%. Повышение температуры прокаливания обожженных глинистых пород с 400 до 720 °С позволяет изменить предельный (достижимый) диапазон сопротивления сжатию с 62,5 ÷ 107,5 до 85 ÷ 130%. Дальнейшее повышение температуры приводит к определенному снижению границ значений показателя относительной прочности – от 77,5 (нижняя граница) и до 122,5% (верхняя граница) соответственно.

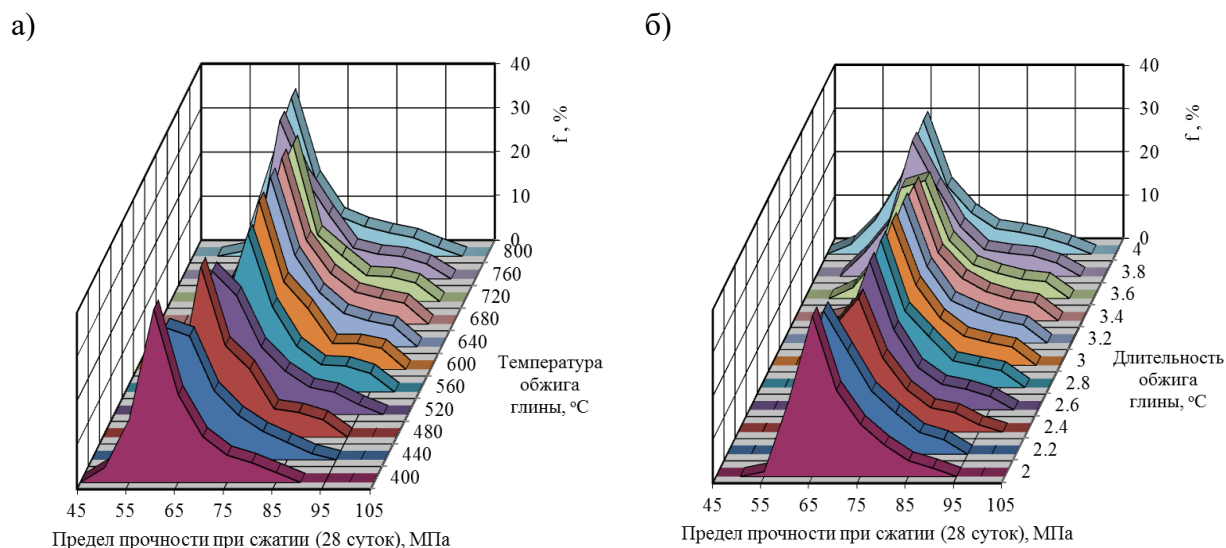


Рис. 2. Полигоны распределения предела прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в возрасте 28 суток:
а – от температуры обжига, б – от длительности обжига.

По результатам исследования определены оптимальные рецептурные и технологические принципы получения минеральной добавки на основе глинистого сырья, которые позволяют повысить прочность на сжатие модифицированных цементных композитов по сравнению с композицией без добавок. Наиболее эффективные добавки были получены при длительности прокаливания глины от 3 до 3,6 часов при температуре 640 ÷ 720 °С.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности и актуальности разработки бетонов с модифицирующими добавками на основе термически активированных

полиминеральных глин, что позволяет расширить ассортимент выпускаемых сегодня модифицированных цементных композитов за счет лучшего использования местной минерально-сырьевой базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительство в России. 2016: Стат. сб. / Росстат. – М., 2016. – 111 с.
2. Кирсанова А.А., Ионов Ю.В., Орлова А.А., Крамар Л.Я. Особенности гидратации и твердения цементных бетонов с добавками модификаторами, содержащими метакраолин // Цемент и его применение. – 2015. – № 2. – С. 130-135.
3. Низина Т.А., Балыков А.С., Макарова Л.В., Коровкин Д.И., Володин В.В. Исследование комплексов активных минеральных добавок и дисперсных волокон при разработке составов дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2017. – № 20. – С. 230-240.
4. Дворкин Л.И., Житковский В.В., Дворкин О.Л., Разумовский А.Р. Метакраолин – эффективная минеральная добавка для бетонов // Технологии бетонов. – 2015. – № 9-10 (110-111). – С. 21-24.
5. Schulze S.E., Pierkes R., Rickert J. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementations materials // Proceedings of the 1st International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete. – Springer, 2015. – P. 59-66.
6. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R., Morozov V.P. Properties of Portland cement paste incorporated with loamy clay // Geosystem Engineering. – 2017. – Т. 20. – №6. – С. 318-325.
7. Fernandez R., Martizena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite // Cement and Concrete Research. – 2011. – No. 41. – P. 113-122.
8. Володин В.В., Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И. Опыт применения обожжённой глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 36-41.
9. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2017. – 168 с.

КИСЕЛЕВ Н. Н., ЛИЯСКИН О. В., МУХАНОВ М. А., КАРАНДАШОВ Д. Л.
ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ¹

Аннотация. В статье представлен обзор существующих конструктивных решений с применением вакуумной теплоизоляции. Изучены варианты сочетания вакуумной теплоизоляционной панели с различными облицовочными и конструкционными материалами. Рассмотрены варианты крепления слоев панели между собой и панели в целом к несущим конструкциям здания. Обозначены преимущества и недостатки применения порошковой теплоизоляции в сравнении с традиционно применяемыми теплоизоляционными материалами.

Ключевые слова: вакуум, изоляционная панель, пирогенный микрокремнезем, коэффициент теплопроводности, конструктивное решение, наполнитель, оболочка.

KISELEV N. N., LIYASKIN O. V., MUKHANOV M. A., KARANDASHOV D. L.
OVERVIEW OF ADVANCED DESIGN SOLUTIONS
FOR VACUUM HEAT-INSULATION PANELS
TO USE IN BUILDING AND CONSTRUCTION INDUSTRY

Abstract. The article provides an overview of available design solutions for vacuum heat-insulation. The options for combining a vacuum heat-insulation panel with a variety of cladding and structural materials are studied. The options for attaching the panel layers between themselves and the panel as a whole to the supporting structures of the building are studied. The advantages and disadvantages of the use of powder insulation in comparison with traditionally used heat-insulation materials are considered.

Keywords: vacuum, insulation panel, pyrogenic microsilica, thermal conductivity coefficient, design solution, filler, shell.

Вакуумные теплоизоляционные панели (VIP) в общем случае представляют собой плоские элементы, наполнителем в которых является пористый материал, обеспечивающий формоустойчивость под внешней нагрузкой и атмосферным давлением. Наполнитель помещается в практически газонепроницаемую оболочку, чтобы сохранять заданное качество

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-48-130001 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

вакуума. Сопротивление теплопередачи вакуумной теплоизоляции в пять-десять раз лучше, чем у традиционных утеплителей, таких как пенополистирол и минеральная вата. Благодаря подобным характеристикам вакуумная теплоизоляция может обеспечить непревзойденный уровень тепловой защиты при незначительной толщине теплоизоляционных изделий.

Применение наноструктурированных наполнителей дает возможность создавать утеплители с крайне малым значением коэффициента теплопроводности при существенно менее жестких требованиях к конструкции теплоизоляционной системы и степени разрежения внутри панели. Рекомендуемые свойства материалов для применения в вакуумной теплоизоляции и основные положения расчета теплоизоляционных систем указанного типа были анонсированы еще в 60-е годы прошлого века [1; 2].

Основная составляющая переноса тепла в пористых порошковых структурах приходится на теплопередачу газами, находящихся в порах. Чем меньше размеры пор или пустот материала и разветвлена его структура, тем при меньшем значении давления в панели достигается состояние, при котором исключается передача энергии конвекцией газа в объеме материала наполнителя. Например, в высокопористом материале с характерным размером пор 10^{-8} м передача тепла через молекулы воздуха практически исключается уже при давлении в 100 Па. Большинство наполнителей ВИП панелей при высоких показателях уровня вакуума имеют сопоставимые теплотехнические свойства; заметная разница между ними становится очевидной при увеличении давления внутри панели до 10-100 Па.

В последнее десятилетие, ввиду роста цен на энергоресурсы, наблюдается рост интереса к исследованию и применению вакуумной теплоизоляции в строительстве, машиностроении и криогенной технике. Вследствие этого появляются новые решения, конструкции и технологические подходы. Так, авторы [3; 4] предлагают конструкции панелей с наполнителем из наноструктурированного диатомита с добавлением инфракрасных глушителей и поглотителей влаги. В [5] описана конструкция панели, схожая по составу, но с защитно-декоративной облицовкой из стекла и латонита. Известно решение вакуумной теплоизоляционной плиты на основе модифицированного диатомита, которая упакована в оболочку из термостойкого полимера и заключена в жесткую пенополиуретановую оболочку-форму, выполненную из двух частей, входящих друг в друга и соединённых между собой полиуретановым клеем [6].

Встречаются решения вакуумной теплоизоляции с применением в качестве наполнителя пенопластов. Например, автор [7] предлагает изделие, состоящее из фасонной детали на основе жесткого пенополиуретана и покрывающей фасонную деталь многослойной фольги, включающей полиэтилен. Фасонная деталь получается в результате прессования и формования массы измельченного жесткого пенополиуретана со связующим

на основе полиизоцианата. Для освобождения детали от летучих компонентов предполагается отжиг заготовки при температуре от 100 до 200 °С. В [8] предложено в качестве наполнителя ВИП использовать многослойный склеивающийся теплоизоляционный материал, включающий в себя алюминиевую фольгу, пластик и бумагу, нарезанный на кусочки размером не более 10 мм, а сама панель изготовлена посредством горячего прессования под давлением непосредственно в гибкой оболочке.

Наиболее перспективным видится использование вакуумной теплоизоляции в составе трехслойных (многослойных) конструкций. Авторы [9] разработали стеновую многослойную панель, заключенную в два защитных слоя, выполненных из металлических листов. Теплоизоляционные слои из ВИП панелей, уложенных послойно в ряды с перевязкой швов преимущественно в соседних слоях таким образом, что один теплоизоляционный слой смещен относительно другого на расстояние не менее толщины слоя, но не более $\frac{1}{2}$ горизонтального размера одного слоя. Вакуумная теплоизоляция отделена от обшивок двумя защитными слоями из пенополиуретана. Все слои скреплены между собой клеящей композицией.

Известно о конструкции трехслойной стеновой панели, состоящей из облицовки, выполненной из высокопрочного бетона, несущего элемента из керамзитобетона и внутреннего элемента из вакуумной теплоизоляции в термостойкой оболочке. Совместная работа всех слоев обеспечивается за счет каркаса в виде замкнутой прямоугольной рамы из композитного швеллера с перемычками, противоположные концы которых продлены до боковых поверхностей панели, выполненными открытыми в виде монтажных проемов. Армирующая сетка, расположенная в наружном бетонном слое, соединена с каркасом по его контуру гибкими связями [10].

Производство вакуумных теплоизоляционных панелей (ВИП) в наше время уже налажено в США, Западной Европе, Китае и Японии. Они находят применение в технике низких температур (холодильники и морозильные комнаты категории энергопотребления А+ и выше) и в строительстве энергоэффективных (пассивных и активных) зданий. На сегодняшний день технология производства ВИП панелей проходит этап полномасштабного тестирования и освоения на строительных площадках развитых стран. Следующим шагом должно стать массовое производство и внедрение в строительную отрасль. Катализатором данного процесса служит политика энергосбережения стран Европы, Скандинавии, Японии и США.

Благодаря своим уникальным теплозащитным характеристикам ВИП панели имеют огромный потенциал применения в строительстве, реконструкции и машиностроении. Наиболее очевидны преимущества ВИП при наличии существенных пространственных

ограничений, что является актуальной проблемой в отечественной и мировой практике реконструкции зданий с высокой исторической ценностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Л. К. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 48-56.
2. Дульнев Г. Н., Сигалова Г. В. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 40-47.
3. Вакуумная теплоизоляционная панель, патент 120497 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01) / Веденин А.Д. (RU), Пустовгар А.П. (RU); Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный строительный университет" (МГСУ) (RU) – 2012118186/03, заявл. – 04.05.2012, опубл. – 20.09.2012; Бюл. № 26.
4. Вакуумная изоляционная панель с алюмооксидным десикантом, патент 120437 Рос. Федерация: МПК B82B3 / B64C1/40 / B60P3/20 / Веденин А.Д., Мазалов Д.Ю., Мазалов Ю.А., Соловьев Р.Ю., Соловьев С.А., Богатова Н.О.; Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ФГБНУ ГОСНИТИ) (RU) – 2014145419/11, заявл. – 12.11.2014, опубл. – 27.06.2015, Бюл. № 18.
5. Теплоизоляционная панель; патент 98021 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01)/Селяев В.П., Травуш В.И., Осипов А.К., Селяев П.В., Гладышев А.С.; Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2010117836/03, заявл. – 04.05.2010, опубл. – 27.09.2010; Бюл. № 27.
6. Вакуумная теплоизоляционная панель, патент 150467 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01) / F16L 59/06 (2006.01) / Селяев В.П. (RU), Куприяшкина Л.И. (RU), Неверов В. А. (RU), Маштаев О.Г. (RU), Куприяшкина Е.И. (RU); Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2014133568/03; заявл. - 14.08.2014, опубл. – 20.02.2015; Бюл. № 5.
7. Теплоизоляционное изделие; патент 2154577 Рос. Федерация: МПК B32B 1/00 (2000.01) / B32B 5/18 (2000.01) / B32B 7/02 (2000.01) / B32B 27/40 (2000.01) /

B29C 67/20 (2000.01) / B29C 51/16 (2000.01) / C08L 75/04 (2000.01) / C08J 9/236 (2000.01) / B29K 75/00 (2000.01) / К. Вернер ДИТРИХ (DE), Хайнц ТОМАС (DE), Ханнс-Иммо ЗАКС (DE); Патентообладатель: БАЙЕР АГ (DE) – 97108975/04; заявл. – 23.10.1995, опубл. – 20.08.2000; Бюл. № 23.

8. Вакуумированная теплоизоляционная панель; патент 106715 Рос. Федерация: МПК F16L 59/00 (2006.01) / Островская Н.В. (RU), Чайка В.Д. (RU); Патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет" (RU) - 2011101197/06; заявл. – 13.01.2011, опубл. – 20.07.2011; Бюл. № 20.

9. Стеновая многослойная панель; патент 99041 Рос. Федерация: МПК E04F 13/077 (2006.01) / Селяев В.П. (RU), Травуш В.И. (RU), Осипов А.К. (RU), Маштаев О.Г. (RU); Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2010120159/03; заявл. – 19.05.2010, опубл. – 10.11.2010; Бюл. № 31.

10. Трехслойная стеновая панель; патент 2258788 Рос. Федерация: МПК E04C 2/26 (2000.01) / Бикбау М.Я. (RU) ; Патентообладатель: Бикбау М.Я. (RU) – 2004106504/03; заявл. – 05.03.2004, опубл. – 20.08.2005; Бюл. № 23.

ОШКИНА Л. М., ОРЛОВА Я. А., НИКИШИНА Г. А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ САПР
AUTOCAD И ARCHICAD НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ
КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Аннотация. Приводится сравнительный анализ способов реализации концептуальной модели офисного здания в аспекте нового подхода к проектированию – информационного моделирования зданий. Показано, что каждая из рассмотренных систем автоматизированного архитектурно-строительного проектирования обладает своей спецификой, имеет выраженные преимущества в определенных областях и видах работ, а их функциональные характеристики позволяют решать различные типы задач с разной степенью эффективности. Приведены примеры работ студентов магистратуры, выполненных в программах AutoCAD и ArchiCAD.

Ключевые слова: информационные технологии проектирования, информационное моделирование, BIM, учебный процесс, программный продукт, САПР, AutoCAD, ArchiCAD, концепция виртуального здания, магистратура, сравнительный анализ.

OSHKINA L. M., ORLOVA I A., NIKISHINA G. A.
COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOCAD AND ARCHICAD FUNCTIONS:
A CASE STUDY OF CONCEPTUAL MODEL OF OFFICE BUILDING

Abstract. This article provides a comparative analysis of the ways of realization of the conceptual model of an office building in the framework of the new approach to designing – building information modeling. It is shown that each of the computer-aided design systems considered has its specificity, its advantages in certain areas and activities, and their functional characteristics allow to solve various types of tasks with varying degrees of effectiveness. As examples the works of Master's students in AutoCAD and ArchiCAD are presented.

Keywords: information design technologies, information modeling, BIM, learning and teaching process, software, CAD, AutoCAD, ArchiCAD, virtual building concept, Master's program, comparative analysis.

Период конца XX – начала XXI века в мировой практике архитектурно-строительного проектирования ознаменован переходом на новые технологии, получившие название *информационное моделирование зданий* или сокращенно BIM (от английского термина Building Information Modeling). BIM – это вся имеющая числовое описание информация об объекте, используемая как на стадии проектирования и строительства здания, так и в период

его эксплуатации и даже сноса. Построенная специалистами информационная модель проектируемого объекта активно используется для создания рабочей документации всех видов, разработки и изготовления строительных конструкций и деталей, комплектации объекта, заказа и монтажа технологического оборудования, экономических расчетов, организации возведения самого здания, а также решения технических и организационно-хозяйственных вопросов последующей эксплуатации [1].

Большинство ведущих мировых проектных компаний успешно используют BIM-технологии для выполнения проектов зданий и сооружений. Тем не менее, повсеместное внедрение BIM пока находится на своей начальной стадии. В большинстве государств и стран еще не существует официального законодательного требования на использование BIM-технологий и не определены программные средства для их реализации. Однако применение информационного моделирования зданий в полном объеме или отдельных его компонентов является абсолютно необходимым процессом при современных потребностях проектных организаций и компаний [1; 2].

Внедрение новых информационных технологий проектирования в практическую деятельность изначально приводит к существенной трансформации образовательного процесса в высшей школе, так как на рынке труда становятся востребованными специалисты, обладающие знаниями нового уровня и навыками владения специализированным программным обеспечением [1–3]. Так, на архитектурно-строительном факультете Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» открыта магистратура по профилю «Информационное проектирование и моделирование зданий и сооружений». ОПОП по этому направлению предполагает изучение дисциплины «BIM-технологии в архитектурно-строительном проектировании», в рамках которой выполняется курсовая работа на тему «Проведение сравнительного анализа принципов работы систем автоматизированного проектирования и информационного моделирования AutoCAD и ArchiCAD на примере создания концептуальной модели офисного здания».

Выбор программных продуктов для проведения анализа в курсовой работе учитывает реальное состояние дел в современной организации проектных работ в нашей стране. Большинство отечественных проектировщиков разрабатывают проектную документацию главным образом с помощью средств двумерной графики, которые используются для оформления чертежей, схем, текстовых и других документов. В этих целях наиболее часто применяется система автоматизированного проектирования (САПР) AutoCAD. Для выполнения презентационных материалов (трехмерных виртуальных моделей, макетов, сцен

анимации и т.п.), как правило, используется модуль 3D-моделирования AutoCAD, а также ArchiCAD, как средство создания виртуальных моделей зданий и сооружений [2–4].

САПР AutoCAD является продуктом компании Autodesk (США) и ориентирована на специалистов разной квалификации и уровня подготовки. В силу своей универсальности AutoCAD используется в различных отраслях промышленности и производства. Модуль плоских построений востребован при создании и обработке любой графической информации, в частности, чертежей, схем и другой проектно-конструкторской документации. Модуль трехмерного моделирования позволяет создавать из набора примитивных тел и поверхностей геометрические формы разного уровня сложности и любого назначения [2–5].

Система автоматизированного проектирования ArchiCAD является продуктом компании Graphisoft (Венгрия) и в большей степени ориентирована на выполнение архитектурно-строительных моделей проектируемых зданий и сооружений. Архитектору предлагается мощный программный продукт, позволяющий работать не с отдельными чертежами, а с объемной моделью всего объекта. Эта модель содержит все необходимые данные о проектируемом здании, из которых может быть извлечена информация в виде чертежей (поэтажные планы, разрезы, фасады и др.), смет и спецификаций, презентационных материалов (фотореалистические изображения, анимационные ролики и т.п.). Кроме того, создание подобной виртуальной модели здания гарантирует, что все документы точно соответствуют друг другу, поскольку представляют собой разные виды информации по единому объекту проектирования. Каждый конструктивный элемент несет в себе всю информацию для представления его на чертежах и в объемной модели, а также для учета его свойств в сметах [2–4].

На рис. 1 – 3 представлены трехмерные модели офисных зданий, выполненные в рамках курсовой работы в системах AutoCAD и ArchiCAD магистрантом Орловой Я. А. При выполнении курсовой работы выявлены и обобщены некоторые особенности работы рассмотренных программ. На рис. 4 и 5 представлены трехмерные модели офисного здания, выполненные в системах AutoCAD и ArchiCAD магистрантом Никишиной Г. А.



Рис. 1. Модель офисного здания, выполненная в **AutoCAD** (автор – Орлова Я. А.).



Рис. 2. Модель офисного здания, выполненная в **ArchiCAD** (автор – Орлова Я. А.).

САПР, как основной инструмент инженера-проектировщика, должна характеризовать эффективность применения технологий автоматизированного и информационного проектирования для оформления и выпуска проектно-конструкторской документации. ГОСТ Р 21.1101-2013 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации» (приложение Б) предполагает распределение рабочих

чертежей основного комплекта примерно по 40 маркам. Из них при проектировании гражданских зданий выполняется примерно половина марок, распределенных по следующим проектным отделам: инженерных изысканий; генеральных планов; архитектурный; строительный; технологический; водоснабжения и водоотведения и некоторые другие.



Рис. 3. Фотоизображение офисного здания, выполненное в **ArchiCAD** (автор – Орлова Я. А.).

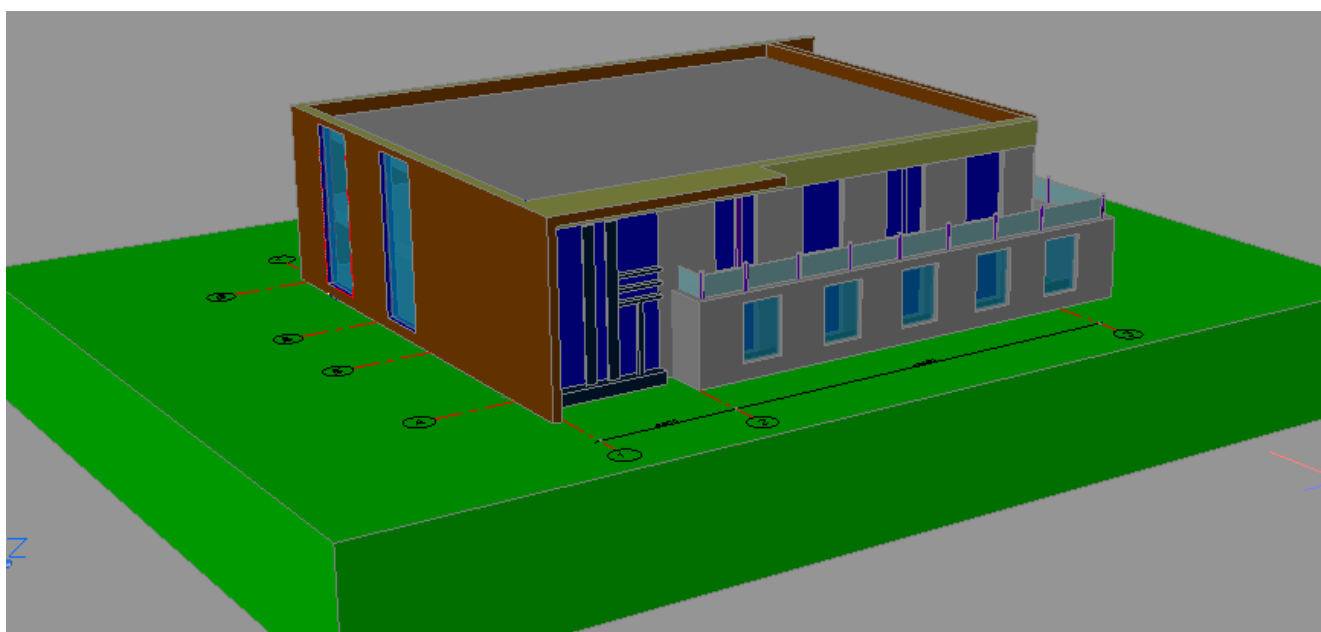


Рис. 4. Модель офисного здания, выполненная в **AutoCAD** (автор – Никишина Г. А.).



Рис. 5. Фотоизображение офисного здания, выполненное в **ArchiCAD**
(автор – Никишина Г. А.).

Чертежи, входящие в комплект проектно-конструкторской документации, выполняются в полном соответствии государственным стандартам. При этом способы построения таких чертежей в системах автоматизированного проектирования могут быть весьма различны. Ключевая разница между рассматриваемыми САПР состоит в различии принципов работы.

Основной подход к работе в AutoCAD сводится к отрисовке графическими примитивами любых элементов чертежа. Набор инструментов черчения и рисования, настройка их свойств и параметров позволяет полностью соблюдать требования стандартов в отношении правил выполнения изображений и аннотаций – толщин и типов линий, текстовых стилей, простановки размеров и т.д. Иными словами, функции AutoCAD более ориентированы на инженерно-проектную деятельность, универсальны, и, в принципе, могут быть использованы при работе с любым из разделов разрабатываемого проекта. Модуль 3D-моделирования в AutoCAD также универсален, как и модуль плоского черчения. Однако это приводит к значительной трудоемкости построения трехмерной модели [2 – 5].

Основной подход к работе в ArchiCAD сводится к созданию виртуальной модели здания, которая строится с использованием интеллектуальных объектов (стен, перекрытий, балок, окон и дверей и т.д.). Интеллектуальным объектам можно менять геометрическую форму, задавать различные параметры, накладывать текстуру, менять прочие характеристики. Из получившейся трехмерной модели здания автоматически извлекается необходимая информация в форме чертежей (разрезов, фасадов, планов), спецификаций и другие документы. Имеющиеся в системе двумерные инструменты черчения используются

только как вспомогательные средства для оформления документации проекта. Как самостоятельный модуль для создания проекта этот функционал не эффективен. Стоит отметить, что ArchiCAD изначально ориентирован на работу архитекторов и дизайнеров, а не инженеров-строителей. Поэтому в работе с этим программным продуктом на первый план выходят не конструкторские и инженерные решения, а общая концепция и визуальная составляющая. ArchiCAD в большей степени используют дизайнеры и архитекторы при работе с разделами АР, АИ. Несмотря на то, что инструменты трехмерного моделирования и оформления рабочей документации достаточно универсальны, выполнять другие разделы проекта с помощью ArchiCAD очень трудозатратно. Для этих целей рекомендуется использовать специализированные программные продукты и приложения [2–4].

Построение концептуальных 3D-моделей возможно в обоих программных продуктах. Однако, AutoCAD оперирует трехмерными примитивами, в то время как ArchiCAD работает с интеллектуальными инструментами и библиотеками готовых объектов, что значительно сокращает время работы над проектом. Принципы организации проекта в AutoCAD и ArchiCAD одинаковы. В пространстве модели (этажа) создается план здания или другие изображения. Компоновка чертежей для последующей печати выполняется в пространстве листа [2 – 4].

По результатам выполнения курсовой работы можно сделать вывод о том, что каждая из рассмотренных систем (AutoCAD и ArchiCAD) обладает своей спецификой, имеет выраженные преимущества в определенных областях и видах работ, а их функциональные характеристики позволяют решать различные типы задач с разной степенью эффективности. Для решения комплексных задач и в одном, и в другом случае понадобится интеграция с другими программными средствами, установка дополнительных функциональных модулей либо использование обеих систем одновременно. Ни одна из рассматриваемых программ не является идеально подходящей для всех групп пользователей и для разработки всех разделов проекта. Каждый пользователь или коллектив пользователей выбирает программу, исходя из специфики работы, требований заказчика и наработанного опыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
2. Ошкина Л. М., Асташов А. М. Информационные (компьютерные) технологии в проектировании [Электронный ресурс]: учеб.-метод. комплекс. – Электрон. дан. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – (Электронные образовательные ресурсы МГУ им. Н. П. Огарева). – Систем. требования: Windows XP

и выше; привод CD-ROM; Internet Explorer 8.0 и выше. – Загл. с домашней страницы Интернета.

3. Ошкина Л.М., Асташов А.М. Из опыта применения информационных технологий проектирования на архитектурно-строительном факультете Мордовского госуниверситета // Архитектура и экология: Материалы V Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Часть 2. – К.: НАУ, 2013. – С. 27-29.

4. Ошкина Л.М., Асташов А.М. Информационно-технологические компоненты графической подготовки студентов архитектурно-строительных профилей // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы Двенадцатой Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 465-472.

5. Ошкина Л.М. Основы работы в AutoCAD : учеб. пособие для бакалавров и магистров, обуч. по напр. 08.03.01 «Строительство» : в 2 ч. Ч. 1 : Работа в модуле плоских построений. Выполнение чертежей. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 252 с.

КУПРИЯШКИНА Л. И., ФИРСОВА Н. И., ЦЫГАНОВ Р. Н.

УСИЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ

Аннотация. Рассмотрены возможности использования усиления строительных конструкций химическим методом – пропиткой композиционного материала солями натрия. Приведены результаты исследования влияния степени и крупности наполнителя на прочность цементного камня. Проведено сравнение различных методов пропитки наполненных цементных композитов. Дан анализ поляризационных кривых арматурной стали в фильтрате, полученном после выдерживания цементного камня в водном растворе фторида натрия.

Ключевые слова: прочность, цеолитсодержащие породы, модификация, крупность, наполнитель, усиление, пропитка, концентрация, фторид натрия, хлорид натрия, сульфат натрия.

KUPRYASHKINA L. I., FIRSOVA N. I., TSIGANOV R. N.

STRENGTHENING OF BUILDING STRUCTURES BY IMPREGNATION

Abstract. Strengthening of building structures by impregnation of the composite material with sodium salts is considered. The graphs showing dependences of the degree and size of the filler on the strength of cement stone are given. Different methods of impregnation of filled cement composites were compared. The analysis of the polarization curves of reinforcing steel in the filtrate obtained after holding the cement stone in an aqueous solution of sodium fluoride is provided.

Keywords: strength, zeolite-containing rocks, modification, size, filler, strengthening, impregnation, concentration, sodium fluoride, sodium chloride, sodium sulfate.

С увеличением жилищного фонда возрастает и потребность в его ремонте, модернизации и реконструкции. Одной из первостепенных задач реконструкции является усиление её несущих элементов. Основными факторами, способствующими разрушению строительных конструкций, являются газы, загрязняющие атмосферу, перепады температур, вода и водные растворы кислот и солей, опасные органические жидкости (нефтепродукты, масла) [1; 2]. Усиление может осуществляться механическим, физическим и химическим способами. К механическим способам относятся: увеличение сечения конструкции, устройство дополнительных связей, заключение в металлические обоймы; к физическим методам усиления – воздействие электрическим током, воздействие электромагнитными полями, температурное воздействие; к химическим способам – пропитка материалов конструкций, введение добавок, инъектирование и т.д. [3; 4]. Часто необходимо комбинировать и совмещать способы усиления, чтобы решить поставленную задачу.

Усиление строительных конструкций является важным мероприятием для увеличения их несущей способности и эксплуатационной долговечности. Также оно может снизить экономические затраты за счет уменьшения расхода материалов или замены дорогих материалов на более дешевые. Целью работы является изучение свойств наполненных цементных композитов с использованием местных сырьевых ресурсов и дальнейшей их модификации для улучшения эксплуатационных характеристик.

Для того, чтобы выявить эффект взаимодействия пропитки солями натрия с наполнителем цементных композитов проведено исследование с применением математического метода планирования. Было выявлено влияние таких факторов как степень наполнения, крупность наполнителя и концентрация пропитки с учетом различных анионов в растворах солей на прочность цементного камня.

В работе в качестве наполнителя использовалась цеолитсодержащая порода. Степень наполнения составляла 10, 20 и 30%; крупность наполнителя 0,315; 0,63; 1,25 мм. В качестве пропитки были взяты растворы фторида, хлорида и сульфата натрия с концентрацией 0,1; 0,5; 1; 1,5 мг/мл.

Применялось следующие методы пропитки: первый метод – пропитка готовых наполненных цементных композитов, второй метод – пропитка цеолитсодержащей породы с последующим использованием ее в качестве наполнителя в композите [5].

Для исследования свойств композитов был проведен двухфакторный план эксперимента, анализ результатов которого показал, что степень и крупность наполнителя с учетом концентрации пропитывающего раствора оказывают большое влияние на свойства цементного камня (рис. 1, 2).

Прочность образцов при степени наполнения 10%, крупности наполнителя 0,315 мм, пропитанных раствором сульфата натрия с концентрацией 1 мг/мл, составляет 62,84 МПа. При этом максимальная прочность контрольных образцов – 34,42 МПа. При увеличении степени наполнения до 30% и крупности до 1,25 мм прочность снижается до 28,96 МПа, а при уменьшении концентрации раствора соли до 0,5 мг/мл прочность составляет 14,39 МПа.

Прочность образцов при степени наполнения 10%, крупности 0,315 мм, пропитанных раствором фторида натрия с концентрацией 1 мг/мл, составляет 50,56 МПа. При увеличении степени наполнения до 30% и крупности до 1,25 мм прочность снижается до 23,29 МПа, а при уменьшении концентрации раствора соли до 0,1 мг/мл прочность составляет 18,46 МПа.

Прочность образцов при степени наполнения 10%, крупности 0,315 мм, пропитанных раствором хлорида натрия с концентрацией 0,1 мг/мл, составляет 52,61 МПа. При увеличении степени наполнения до 20% и крупности до 0,63 мм прочность снижается до

15,41 МПа, при увеличении степени наполнения до 30%, крупности фракции до 1,25 мм и концентрации раствора соли до 1,5 мг/мл прочность составляет 13,03 МПа.

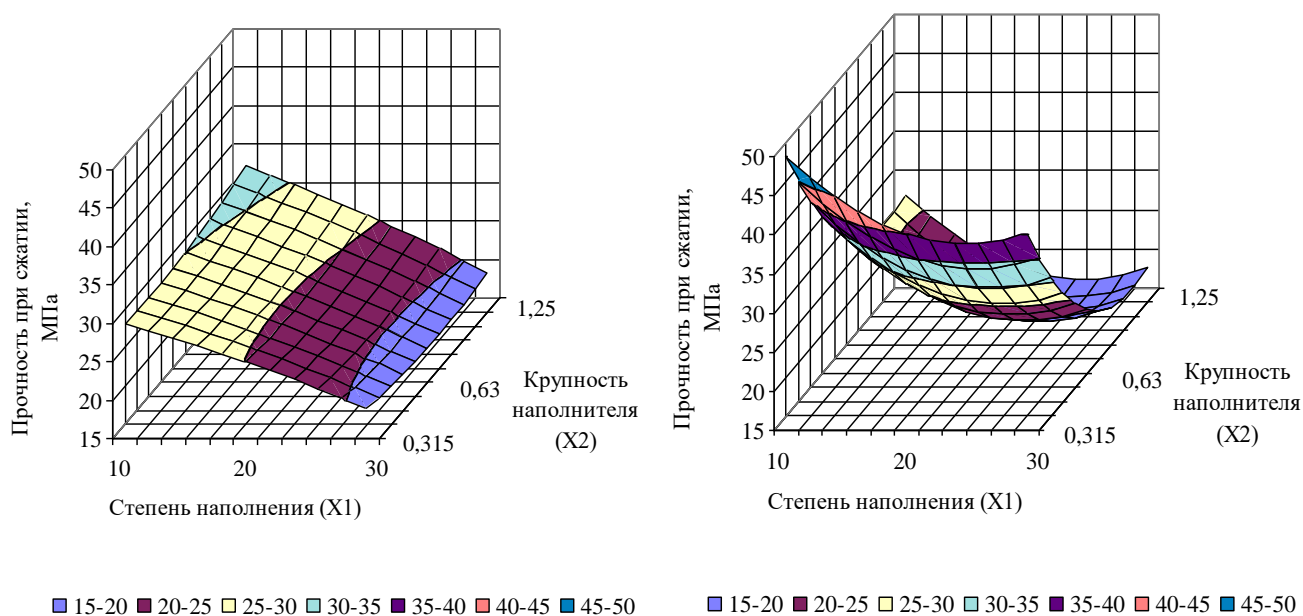


Рис.1. Влияние степени и крупности наполнителя на прочность цементных композитов:
а) без пропитки; б) пропитанные раствором хлорида натрия, $C=0,1$ мг/мл.

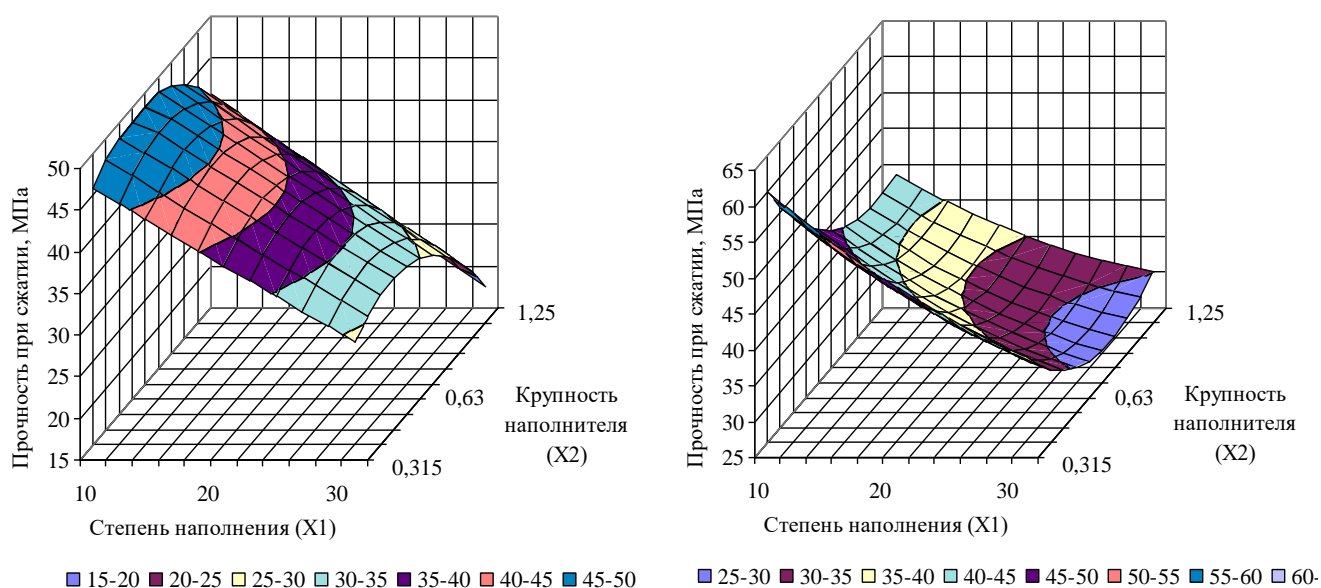


Рис.2. Влияние степени и крупности наполнителя на прочность цементных композитов:
а) пропитанные раствором фторида натрия, $C=0,1$ мг/мл;
б) пропитанные раствором сульфата натрия, $C=1$ мг/мл.

Разработанные наполненные цементные композиты позволяют проектировать конструкции с требуемым комплексом характеристик, позволяя при этом экономить до 30% вяжущего – цемента. Также возможно уменьшение диаметра рабочей арматуры на 1 – 2

номинальных значения, класса бетона и поперечного сечения элемента с учетом расчета по первой и второй группе предельного состояния.

Анодные поляризационные кривые снимали с электрода сталь–85 в фильтрате, полученном после выдержки в течение 6 – 7 дней цементных композитов с содержанием ЦСП (10, 20, 30%) в качестве наполнителя в растворе NaF различной концентрации (от 0,1 до 1,5 мг/мл). На рис. 3 представлены анодные поляризационные кривые (АПК) стали–85 в фильтрате после выдерживания композитов в растворе NaF с концентрацией 0,1 мг/мл.

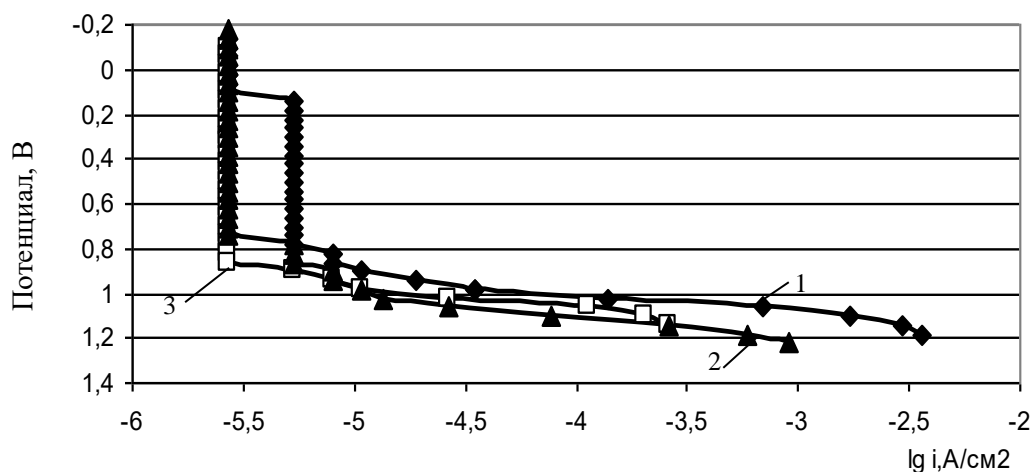


Рис. 3. Анодные поляризационные кривые стали–85 в фильтрате после выдерживания в растворе NaF с концентрацией 0,1 мг/мл цементных композитов, содержащих ЦСП в качестве наполнителя: 1 – 10%; 2 – 20%; 3 – 30%.

Из анализа АПК (рис. 3) следует, что при экспонировании арматурной стали в фильтрате, полученном после выдерживания цементного камня в водном растворе фторида натрия с содержанием ЦСП 20 и 30%, наблюдается аномальный участок анодной поляризационной кривой. Со смещением потенциала в положительном направлении происходит активация анодного процесса ($\varphi > 0,6$ в). Токи достигают значительных величин.

В целом, АПК показывают, что увеличение содержания ЦСП в композите улучшает электрохимические характеристики стали–85. Свидетельством является сдвиг потенциала свободной коррозии в положительную область. Наблюдается уменьшение токов растворения. Вероятно, ЦСП сорбирует фторид-ионы, с уменьшением концентрации которых в фильтрате ослабевает их агрессивное действие на сталь.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- согласно полученным экспериментальным данным оптимальная степень наполнения цементных композитов составляет 10%, увеличение степени наполнения приводит к снижению прочности, однако значения этого показателя выше, чем у контрольных образцов;

- в подавляющем большинстве случаев образцы с крупностью наполнителя 0,315 мм показывают максимальное значение прочности;
- при пропитке цементных композитов растворами фторида и хлорида натрия при увеличении концентрации солей прочность образцов снижается; наоборот, при пропитке раствором сульфата натрия при увеличении концентрации анионов прочность растет;
- интенсивное изменение концентрации анионов со временем наблюдается при пропитке раствором фторида натрия при степени наполнения 20%, следом идут сульфат и хлорид натрия;
- увеличение концентрации раствора фторида натрия приводит к более активной коррозии стали; увеличение степени наполнения композита повышает коррозионную стойкость;
- растворение стали идет медленно, со значительными пассивационными участками, при увеличении степени наполнения композита цеолитсодержащими породами;
- химический способ усиления конструкций, где в качестве наполнителя использовался цеолит, пропитанный растворами фторида, хлорида и сульфата натрия (второй метод), является менее эффективным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москвин В.М., Иванов А.М., Алексеев С.Н. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 533 с.
2. Седова А.А., Иванов В.М., Селяев В.П., Осипов А.К., Куприяшкина Л.И. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами карбоновых кислот // Вестник Моск. ун-та. Сер.2, Химия. – 2014. – Т.55. – № 5. – С. 296-301.
3. Рахимбаев Ш.М. Процессы кольматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. – 2013. – № 4. – С. 30-32
4. Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И. Влияние цеолитсодержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 6. – С. 36-44.
5. Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Болдырев А.А. Свойства цементных композиций, наполненных цеолитсодержащими породами // Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков: Материалы докладов Международной интернет-конференции. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – С. 177-180.

ОРЛОВА Я. А, НИКИШИНА Г. А.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Проведен обзор истории развития информационного моделирования зданий и сооружений. Систематизированы основные этапы внедрения информационного моделирования зданий и сооружений в Российской Федерации. Выявлены основные проблемы использования технологий информационного моделирования зданий и сооружений.

Ключевые слова: информационная модель здания, BIM-технологии, CAD-технологии, CAD-системы, BIM-системы, открытый формат файлов, интероперабельность.

ORLOVA YA. A, NIKISHINA G. A.

THE HISTORY OF BUILDING AND CONSTRUCTION INFORMATION MODELING

Abstract. The history of building information modeling (BIM) is overviewed. The main stages of BIM implementation in the Russian Federation are systematized. The main problems of BIM application are discussed.

Keywords: building information model, BIM technologies, CAD technologies, BIM systems, CAD systems, open file format, interoperability.

К концу второго десятилетия XXI века строительная отрасль России оказалась отстающей по отношению к мировым тенденциям в области информационного моделирования зданий и сооружений. Так, во многих странах внедрение технологий информационного проектирования зданий (BIM-технологий) закреплено на законодательном уровне. В США с 2006 года Управление служб общего назначения (GSA, General Services Administration) сделало обязательным использование BIM на фазе ранних этапов проекта для всех строительных проектов с участием государства. В Финляндии службы, отвечающие за строительство, требуют использование BIM-технологий, согласованных с IFC-стандартом с 2007 года. В Норвегии с 2010 года все строительные объекты с участием государства должны выполняться с использованием BIM (базирующихся на открытых форматах IFC/IFD) [1]. Активно внедряют BIM в Германии, Франции, Южной Корее, Гонконге, Сингапуре. Мировой опыт говорит об эффективности BIM-технологий. Но прежде чем бросаться вдогонку, нужно знать ответы как минимум на три вопроса. Во-первых: «Что такое BIM?». Во-вторых: «Какой выбрать путь?». И, наконец: «Так ли это необходимо?».

В своей книге [2] В.В. Талапов приводит следующее определение BIM: «Информационное моделирование зданий (от англ. Building Information Modeling),

сокращенно BIM – это процесс, в результате которого формируется информационная модель зданий (от англ. Building Information Model), также получившая аббревиатуру BIM». Автор обращает внимание, что BIM-модель является не только конечным результатом, но и процессом создания этой модели.

Компания Autodesk на своём официальном сайте расшифровывает аббревиатуру BIM как процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий надежную основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от самых ранних концепций до рабочего проектирования, строительства, эксплуатации и сноса) [3]. Анализируя другие источники, дающие свои определения BIM, можно сделать вывод о схожести определений. Все они говорят об информационной модели здания как о единой базе данных, включающей в себя полную информацию о возводимом объекте.

Впервые понятие информационного моделирования зданий было использовано в 1975 году профессором Технологического института Джорджии Чаком Истманом (Chuck Eastman) в журнале Американского института архитекторов (AIA) под рабочим названием «Building Description Systems» (Система описания здания). С этого времени данная концепция начинает развиваться параллельно в Старом и Новом Свете. На тот момент не было единой терминологии, но основные принципы были заложены именно тогда. В вышедших в 1986 году статьях [4] Саймона Раффла, а затем Роберта Эйша [5] был впервые применен термин «строительная модель» (Building Modeling) в том смысле, в котором он используется сегодня. Более того, Роберт Эйш уже тогда сформулировал основные принципы информационного подхода в проектировании:

- 1) трехмерное моделирование;
- 2) автоматическое получение чертежей;
- 3) интеллектуальная параметризация объектов;
- 4) соответствующие объектам наборы проектных данных;
- 5) распределение процесса строительства по временным этапам и т.д. [2].

Именно эти принципы легли в основу программного обеспечения RUCAPS (Really Universal Computer-Aided Drawing), разработанного в 1986 году компанией GMW Computers для мини-компьютеров производства компаний Prime Computer или Digital Equipment Corporation. Модель, спроектированная в RUCAPS, не являлась набором плоских чертежей, она представляла собой единое целое – изменения, произведенные на одном уровне, отражались на остальных. Данный программный комплекс был успешно применен при реконструкции третьего терминала лондонского аэропорта Хитроу.

Однако широкое применение BIM-технологии получили лишь спустя десятилетие, так как ранние приложения, а особенно оборудование, необходимое для их работы, было очень дорогим. Первым программным обеспечением для моделирования, доступным на персональном компьютере был Radar CH от ArchiCAD, выпущенный в 1984 году. В 1994 году компания GRAPHISOFT реализовала в ARCHICAD технологию «Виртуального здания» (Virtual Building), принципы работы которой были схожи с основными принципами BIM. В 2002 году компания Autodesk выпустила информационный документ под названием «Информационное моделирование зданий» (Autodesk Building Industry Solutions) [6], где впервые описывалась концепция информационного моделирования здания (Building Information Modeling). Данный термин затем был введен в употребление многими другими ведущими разработчиками программного обеспечения и прочно вошел в лексикон специалистов в сфере проектирования [2]. В 2002 году Autodesk приобретает Revit Technology Corporation. В первой версии Revit объекты имели параметрические зависимости друг с другом, а пользователи могли создавать собственные библиотечные элементы. Именно с этого момента начинает чётко проявляться граница между CAD и BIM-системами.

На сегодняшний день существует множество платформ, реализующих BIM-технологии. Кроме вышеназванных, к ним также относятся Bentley Systems, Tekla Structures, Allplan, Renga и др. Все они одновременно конкурируют и дополняют друг друга, позволяя проектировщикам решать задачи практически любой сложности. Ведь зачастую, даже внутри одной проектной организации у специалистов разных отделов существует необходимость работать в разных программах, потому что каждая имеет свои достоинства и свои недостатки. Но так как BIM-продукты от разных разработчиков имеют свои форматы записи данных, их интероперабельность значительно затрудняется, что, в свою очередь, препятствует независимой от программных продуктов работе специалистов.

Одним из решений данной проблемы стала разработка концепции OpenBIM. Её реализуют компании, входящие в международный некоммерческий альянс buildingSMART International, к которым относятся Nemetschek Group, Trimble Group, Autodesk Inc. и др. Целью альянса является разработка открытого стандарта хранения информации. В частности, альянс разрабатывает и развивает спецификацию стандарта IFC (Industry Foundation Classes), описывающего общие универсальные данные информационной модели, которые должны быть доступны всем участникам на этапах проектирования, закупок, строительства и эксплуатации. Очевидно, что только при использовании универсального стандарта IFC за счет внедрения стандартов и подходов интероперабельности возможно повысить скорость сооружения капитальных объектов, снизить их стоимость и повысить качество. В 2017 году на базе НАИКС (Национальная Ассоциация Инженеров-

Консультантов в Строительстве) было сформировано российское отделение buildingSMART Russia, которое занимается мониторингом, подготовкой предложений и внесением изменений в нормативно-правовую и методологическую базу, подготовкой квалифицированных кадров, а также обеспечением полноправного участия России на международной арене при разработке BIM-стандартов [7; 8].

В России на данном этапе внедрения BIM-технологий идет процесс создания нормативно-технической базы для беспрепятственного использования информационного моделирования в строительстве. 29 декабря 2014 года Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) был подписан приказ №926/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» [9]. В 2017 году была утверждена «дорожная карта» по внедрению BIM-технологий в строительстве, которая предусматривает разработку национальных стандартов информационного моделирования в строительстве, а также приведение нормативно-технических документов и сметных нормативов в соответствие с классификатором строительных ресурсов. В 2018 году были разработаны три международных стандарта по информационному моделированию, призванные улучшить процессы взаимодействия и обмен практиками между строителями, проектировщиками и изыскателями не только на территории Российской Федерации, но и за ее пределами [10]. К 2024 году планируется создать цифровую платформу, объединяющую информационные системы в области строительства.

В последнее время идут большие споры на тему необходимости внедрения BIM-технологий в строительную отрасль России. Необходимо признать, BIM-модель неидеальна – возможно, это и панацея от человеческих недостатков, но в то же время она порождает новые технические проблемы. К основным из них можно отнести правильный выбор программного обеспечения и его дальнейшее обслуживание. Эти вопросы невозможно решить без грамотных специалистов, знающих как специфику работы программных продуктов, так и специфику работы предприятия и механизмов, протекающих внутри него. Подготовка таких специалистов является весьма непростой задачей вследствие отсутствия устоявшейся методологической базы. Но проблема решается, проводятся семинары, конференции, обучающие курсы. В 2016 году на базе архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский университет им. Н.П. Огарёва» открыт профиль «Информационное проектирование и моделирование зданий и сооружений» с целью подготовки профессиональных кадров в области BIM-технологий.

Многие специалисты считают, что строительная отрасль России не готова перейти на BIM-технологии. Конечно, данное мнение не безосновательно, так как переход на CAD-технологии был совершен сравнительно недавно. Немаловажным аргументом противников новых технологий является высокая стоимость программных продуктов, техники и переобучения кадров. Однако, несмотря на все несовершенства BIM-моделей, невозможно отрицать тот факт, что за ними будущее. Предстоит большая работа, но этот путь необходимо пройти, чтобы иметь свою сформированную базу и свои наработки, применимые к нашим условиям, а также отечественный опыт, которого нам сейчас так не хватает во многих областях современной жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куприяновский В. П., Синягов С. А., Намиот Д. Е, Куприяновская Ю. В. Экономические выгоды применения комбинированных моделей BIM-ГИС в строительной отрасли. Обзор состояния в мире // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Vol. 4., No. 5. – P. 14-26.
2. Талапов В. В. Технология BIM: суть и особенности информационного моделирования зданий. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
3. Что такое BIM-технологии в современной интерпретации? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/campaigns/aec-building-design-bds-new-seats/landing-page> (дата обращения 06.05.2019).
4. Ruffle S. Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design. // Environments and Planning Buildings: Planning and Design. – 1986. – March 7. – P. 385-389.
5. Aish R. Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD // CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building, 7–9 July, 1986. – P. 7-9.
6. Autodesk (2002). Building Information Modeling. San Rafael, CA, Autodesk, Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf (дата обращения 06.05.2019).
7. Technical Vision. OpenBIM: Why is it important? [Электронный ресурс]. – Режим доступа.: <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/> (дата обращения 06.05.2019).
8. BUILDINGSMART RUSSIA [Электронный ресурс]. – Режим доступа.: <http://buildingsmart.su/about/buildingsmart-russia.html> (дата обращения 05.05.2019).

9. Об утверждении Поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 29 декабря 2014 г [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/docs/2663/> (дата обращения 29.04.2019).
10. В 2018 году разработаны три международных стандарта по информационному моделированию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/press/v-2018-godu-razrabotany-tri-mezhdunarodnykh-standarta-po-informatsionnomu-modelirovaniyu/> (дата обращения 29.04.2019).

ЧЕРНОВ А.Н., НИЗИН Д.Р., НИЗИНА Т.А., ГОРЕНКОВА А.И., КЛЕМЕНТЬЕВА Д.А.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МИКРОКАЛЬЦИТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОЙ
РАБОТЫ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ
С БЕТОННЫМИ ОСНОВАНИЯМИ ¹

Аннотация. Представлены результаты исследований совместной работы наполненных микрокальцитом полимерных покрытий с бетонными основаниями. Анализ изменения прочности при изгибе и максимального прогиба бетонных образцов с наполненными полимерными покрытиями на основе эпоксидного связующего в зависимости от степени наполнения и фракционного состава микрорамора производился при использовании изолиний и трехкомпонентных диаграмм Розебома-Гиббса. Выявлены составы полимерных покрытий, обеспечивающие наибольший прирост прочностных характеристик даже при использовании высоконаполненных смесей с минимальным расходом связующего.

Ключевые слова: полимерные покрытия, эпоксидный композит, бетонные основания, микрокальцит, степень наполнения, предел прочности при изгибе, прогиб.

CHERNOV A. N., NIZIN D. R., NIZINA T.A., GORENKOVA A.I., KLEMENTYAVA D.A.
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MICROCALCITE ON THE EFFICIENCY OF
JOINT WORK OF FILLED POLYMER COATINGS WITH CONCRETE BASES

Abstract. The paper presents the study results of the joint work of microcalcite-filled polymer coatings with concrete bases. The analysis of change of bending strength and maximum deflection of concrete samples with the filled polymer coating based on epoxy resins depending on the degree of filling and the fractional composition of microtremor was carried out with the use of contour lines and three-component diagrams of Rozebom-Gibbs. The study revealed the compositions of polymer coatings that provide the greatest increase in strength characteristics even when using high-filled mixtures with a minimum consumption of the binder.

Keywords: polymer coatings, epoxy composite, concrete bases, microcalcite, degree of filling, bending strength, deflection.

В последние десятилетия все большее внимание уделяется повышению долговечности зданий и сооружений [1–3]. По разным оценкам около 75% всех строительных конструкций

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-43-130009 «Исследование влияния обратимых и не обратимых изменений в поверхностных слоях материалов на закономерности их старения под действием природных климатических факторов».

эксплуатируются в условиях действия агрессивных факторов, а ежегодный ущерб от коррозии составляет 3-5% ВВП [3]. Наиболее эффективным способом антикоррозионной защиты является изоляция поверхности материала от непосредственного воздействия агрессивной среды путем нанесения лакокрасочных покрытий, штукатурок, устройства оклеечных изоляций, облицовок из штучных изделий, а также гидрофобизирующих пропиток [4]. Широкое применение нашли защитные покрытия на основе эпоксидно-диановых смол, что обуславливается их высокой прочностью, стойкостью к износу и воздействию агрессивных сред [5–7]. При пропитке бетонных и железобетонных конструкций синтетическими полимерами возрастает их химическая стойкость, повышается прочность и трещиностойкость [8; 9]. Эпоксидные компаунды активно используются в качестве бесшовных химически стойких напольных покрытий на промышленных предприятиях [10], где предъявляются высокие требования как к химической стойкости, так и к прочности покрытий, которые должны воспринимать нагрузки от движущегося транспорта, веса оборудования и складироваемых материалов. Для улучшения прочностных характеристик и снижения стоимости покрытий в состав полимерной матрицы вводятся наполнители, которые наряду с уменьшением расхода дорогостоящего связующего оказывают значительное влияние на различные свойства получаемых композитов. Так, в зависимости от вида, дисперсности и количества введенного наполнителя в широких пределах изменяются модуль упругости, прочностные, реологические и декоративные характеристики композитов, их тепло- и электропроводность, стойкость к абразивному износу и действию климатических факторов [11; 12]. При этом улучшение одних характеристик при наполнении может сопровождаться ухудшением других, а влияние наполнителя может быть различным в зависимости от вида полимерного связующего.

В строительстве широкое применение получили минеральные дисперсные наполнители, отличающиеся низкой стоимостью и большими объемами производства, такие как мел, диатомит, базальт, каолин, маршалит и т.д. [11–14]. Одним из наиболее распространенных наполнителей является микрокальцит (микрорамор), получаемый измельчением природного белого мрамора [13; 14]. Микрорамор имеет высокую степень белизны и совместим с окрашивающими пигментами, благодаря чему используется при устройстве лакокрасочных покрытий и полимерных полов.

Как известно, изменение свойств композита при наполнении происходит не линейно и носит экстремальный характер, что обусловлено двойственностью процессов упрочнения и разупрочнения [15]. С одной стороны, присутствие наполнителя приводит к изменению структуры полимерной матрицы в пространстве между дисперсными частицами и переходу ее в более прочное пленочное состояние, а также формированию переплетающегося

пространственного каркаса из частиц наполнителя и пленочной фазы матрицы. С другой стороны в результате введения наполнителя происходит разупрочнение композита вследствие возникновения дефектов, связанных с недостаточным смачиванием его поверхности полимером, наличием внутренних напряжений, обусловленных различием модулей упругости и коэффициентов линейного термического расширения матрицы и наполнителя, а также возникновением пор вследствие дефицита связующего. Учитывая, что с ростом суммарной удельной поверхности наполнителя развиваются оба процесса, существует оптимальное значение данной величины, при которой прочность композита будет максимальна [16]. Таким образом, характеристики композиционного материала определяются преобладанием одного из противоположных процессов, интенсивность которых зависит от степени наполнения, фракционного состава и морфологии поверхности наполнителя.

Эффективность использования наполненных синтетических полимеров в качестве защитных покрытий определяется не только свойствам полимерного композита, но и его совместной работой с основанием. Так, согласно [17] повышение прочности изгибаемых элементов с полимерными покрытиями на величину усилия, воспринимаемого покрытием, возможно только при его совместной работе с бетоном. Несмотря на высокие механические характеристики, не все составы обладают достаточной адгезией и вязкостью, обеспечивающей необходимую глубину проникновения в структуру бетона, что не позволяет эффективно воспринимать нагрузки совместно с основанием и значительно снижает возможность их использования в качестве защитных покрытий.

В рамках проведенного эксперимента производилась оценка изменения предела прочности при изгибе бетонных образцов с полимерными покрытиями, наполненными различными фракциями микрокальцита. Бетонные балочки размером 40×40×160 мм изготавливались из мелкозернистых цементных смесей с П/Ц=3, В/Ц=0,6, содержащих 0,5% Melflux 100F от массы цемента. Растянутая грань балочек усиливалась полимерным покрытием толщиной 3,5 мм.

В качестве связующего использовался низковязкий эпоксидный двухкомпонентный компаунд марки Этал-27НТ/12НТ производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ», в состав которого вводился микрорамор 3 различных фракций: МКМ1 (V_1) – крупная фракция (0,5÷1 мм); МКМ2 (V_2) – средняя фракция (0,2÷0,5 мм); МКМ3 (V_3) – мелкая фракция (менее 0,2 мм). Степень наполнения состава варьировалась от 40 до 80% от уровня предельного наполнения, который менялся в зависимости от используемой фракции наполнителя (см. табл. 1). Исследовались композиты, получаемые с использованием как одной, так и двух фракции наполнителя, при обеспечении условия $V_1 + V_2 + V_3 = 1$. Эффективность применения

исследуемых составов оценивалась путем сравнения прочности при изгибе и прогиба усиленных полимерными покрытиями бетонных балочек с аналогичными характеристиками бетонных образцов без покрытия.

Таблица 1

Уровни варьирования переменных факторов

На 100 мас. ч. эпоксидного связующего					
Массовое содержание наполнителей, % от максимального наполнения			Максимальное содержание наполнителей в смеси, масс.ч.		
-1	0	+1	МКМ1 (V_1)	МКМ2 (V_2)	МКМ3 (V_3)
40 %	60 %	80 %	300	250	200

Установлено (см. рис. 1), что нанесение ненаполненных полимерных покрытий на поверхность бетонных образцов приводит к повышению их прочности более чем в 2,2 раза (с 6,1 до 13,7 МПа). Предел прочности при изгибе образцов с покрытиями, содержащими наполнитель, в зависимости от фракционного состава микроамора и степени наполнения изменяется в пределах от 8,6 до 11,5 МПа.

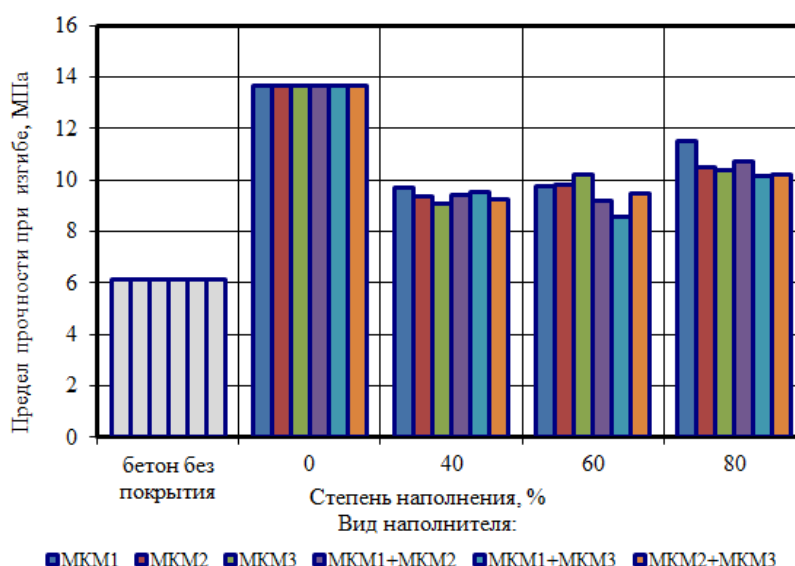


Рис. 1. Предел прочности при изгибе бетонных образцов с полимерными покрытиями и без покрытия в зависимости от степени наполнения и фракционного состава микроамора.

Нанесение ненаполненных покрытий на растянутую грань бетонных образцов приводит к повышению прогиба при изгибе в 9 раз, а при использовании наполненных составов – в 1,2–2,5 раза (рис. 2). Резкое снижение деформативности уже при 40% степени наполнения при введении наполнителя, очевидно, происходит вследствие возникновения дефектов, связанных с недостаточным смачиванием поверхности частиц микроамора, а также внутренних напряжений, обусловленных различием модулей упругости и коэффициентов линейного термического расширения матрицы и наполнителя. Кроме того, поскольку частицы микроамора при изгибе практически не деформируются, удлинение

композита в растянутой зоне обеспечивается исключительно полимерной матрицей, содержание которой снижается при введении наполнителя. Так, согласно [18], для обеспечения двукратного удлинения образца, содержащего 50% наполнителя, полимерная матрица должна деформироваться в 4 раза, что вдвое больше необходимого удлинения ненаполненного полимера при одинаковых деформациях образцов. При этом нарушение сплошности матрицы, наличие пор и агрегатов из несмоченных частиц наполнителя способствует разрушению композита при меньших деформациях. Для балочек, усиленных покрытиями, наполненными бинарными комбинациями наполнителей МКМ1+МКМ2 и МКМ1+МКМ3 установлено снижение прогиба при степени наполнения 60% и его повышение при максимальном содержании микрорамора. Для большинства составов наилучшие значения получены при степени наполнения 80%.

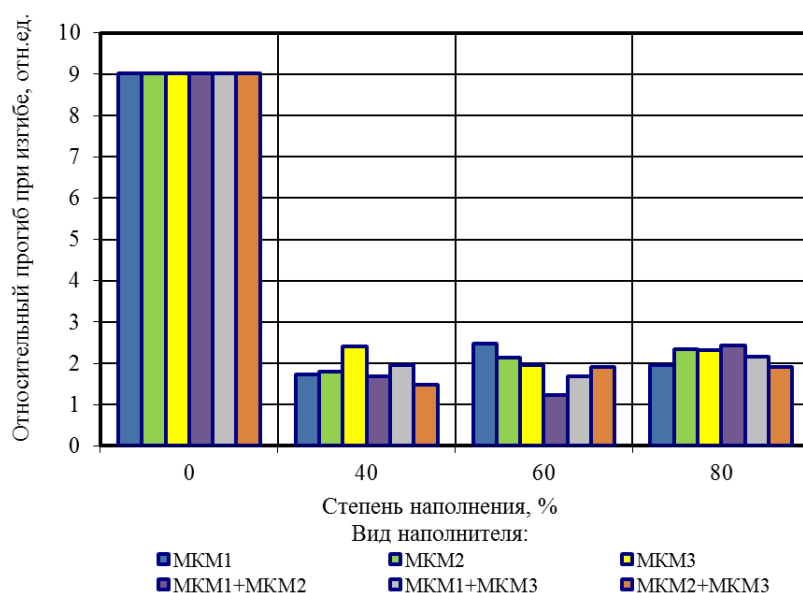


Рис. 2. Изменение относительного прогиба при изгибе бетонных образцов с полимерными покрытиями в зависимости от степени наполнения и фракционного состава микрорамора (по сравнению с бетонными образцами без покрытия).

Оценка влияния фракционного состава микрорамора и степени наполнения на изменение прочности при изгибе бетонных образцов-балочек с полимерными покрытиями производилась с применением изолиний изменения относительного предела прочности при изгибе по отношению к бетону и треугольных диаграмм Розебома–Гиббса (рис. 3, 4), построенных на основании полиномиальной зависимости:

$$\begin{aligned}
 Y = & 1,59 \cdot V_1 + 1,60 \cdot V_2 + 1,66 \cdot V_3 - 0,39 \cdot V_1 V_2 - 0,93 \cdot V_1 V_3 - 0,36 \cdot V_2 V_3 + \\
 & + 0,14 \cdot V_1 X + 0,09 \cdot V_2 X + 0,10 \cdot V_3 X - 0,03 \cdot V_1 V_2 X - 0,30 \cdot V_1 V_3 X - 0,09 \cdot V_2 V_3 X + \\
 & + 0,14 \cdot V_1 X^2 + 0,02 \cdot V_2 X^2 - 0,08 \cdot V_3 X^2 + 0,27 \cdot V_1 V_2 X^2 + 0,70 \cdot V_1 V_3 X^2 + 0,29 \cdot V_2 V_3 X^2.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Согласно полученным данным, вне зависимости от комбинаций фракций микрорамора, наибольшие значения прочности для большинства исследуемых составов получены при максимальном содержании наполнителя. При этом изменение характеристик с повышением содержания микрорамора происходит не линейно. Из анализа представленных изолиний видно (рис. 3, а, б), что при повышении степени наполнения с 40 до 50÷60% для комбинаций наполнителей МКМ1+МКМ2 и МКМ1+МКМ3 происходит снижение прочности при изгибе, которое затем компенсируется повышением свойств матрицы в граничных слоях, охватывающим все больший объем с ростом содержания наполнителя. Наибольший прирост прочности при изгибе, достигающий 190%, зафиксирован при использовании покрытий, содержащих микрорамор крупной фракции (МКМ1) при степени наполнения 80% (рис. 3, а, б). Ухудшение прочностных характеристик с повышением доли мелкой (МКМ3) либо средней (МКМ2) фракций микрорамора при максимальной степени наполнения (рис. 4, в), очевидно связано с повышением общей площади поверхности введенного наполнителя выше оптимального значения, что приводит к дефициту связующего и появлению пор, являющихся концентраторами напряжений. Наименьшие значения прироста предела прочности при изгибе, не превышающие 140%, получены для образцов с покрытием, содержащим микрорамор МКМ1 и МКМ3 в равном соотношении и степенью наполнения около 55%.

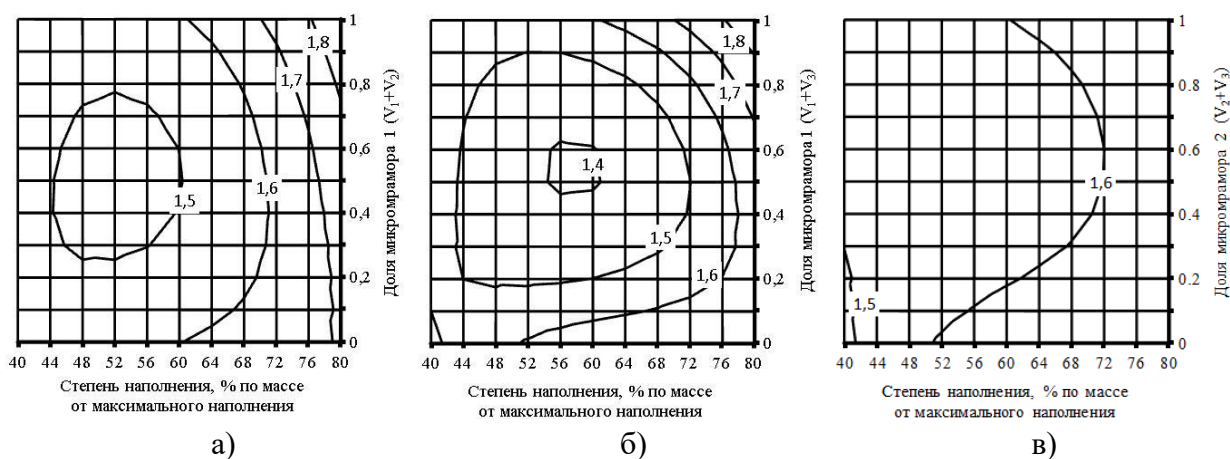


Рис. 3. Изолинии изменения относительного предела прочности при изгибе бетонных образцов с полимерными покрытиями в зависимости от степени наполнения и соотношения фракций микрорамора: а) МКМ1 + МКМ2; б) МКМ1 + МКМ3; в) МКМ2 + МКМ3.

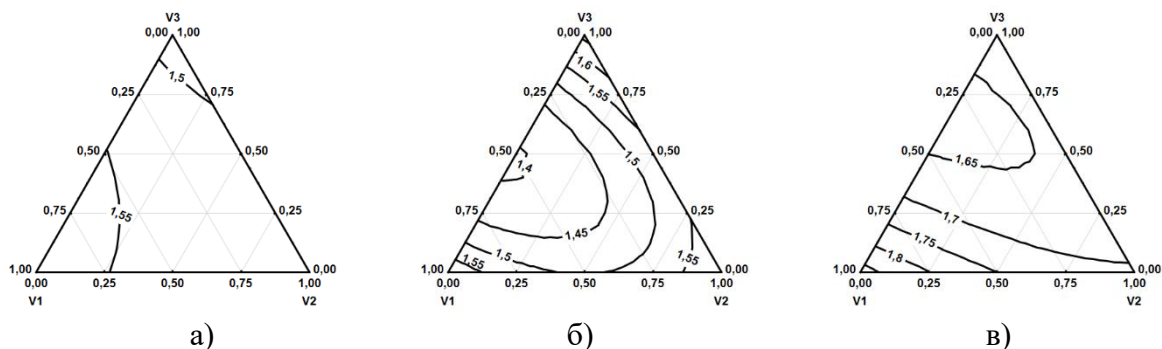


Рис. 4. Треугольные диаграммы Розебома-Гиббса изменения относительного предела прочности при изгибе бетонных образцов с наполненными полимерными покрытиями (по отношению к бетонным образцам без покрытия) при степени наполнения: а) 40%; б) 60%; в) 80%.

Выводы. На основании полученных результатов выявлено, что нанесение ненаполненных покрытий на растянутую грань бетонных образцов позволяет повысить их прочность при изгибе в 2,2 раза, а их максимальный прогиб в 9 раз. Введение микроамора приводит к снижению прироста прочности при изгибе, который для наполненных составов находится в диапазоне 1,4-1,9 в зависимости от фракционного состава и степени наполнения. При этом прирост максимального прогиба образцов, усиленных покрытиями, содержащими микроамор, составляет 1,2-2,5 раз. Наибольшие значения прироста прочности образцов с наполненными покрытиями получены для составов, содержащих микроамор крупной фракции (МКМ1) при степени наполнения 80%. Таким образом, даже при использовании высоконаполненных покрытий возможно повышение прочности бетонных образцов в 1,9 раз, что незначительно ниже прочности образцов с ненаполненными покрытиями при существенном снижении расхода связующего и, как следствие, стоимости композита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селяев В. П., Низина Т. А., Уткина В. Н. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций: учеб. пособие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
2. Bassi R., Roy S. K. Handbook of Coatings for Concrete. – [Latheronwheel]: Whittles Publishing, 2002. – 253 p.
3. Степанова В. Ф., Фаликман В. Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Вестник НИЦ Строительства. – 2014. – № 9. – С. 87–98.
4. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 260 с.

5. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер К. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве: монография / под ред. В. И. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
6. Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций / В. П. Селяев, Ю. М. Баженов, Ю. А. Соколова, В. В. Цыганов, Т. А. Низина. – Саранск: СВМО, 2010. – 224 с.
7. Frank N. J., Nichols M. E., Socrates P. P. Organic Coatings: Science and Technology. – Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2017. – 512 p.
8. Селяев В. П., Цыганов В. В. Работоспособность изгибаемых элементов с полимерными покрытиями в условиях совместного действия нагрузок и агрессивных сред // Вестн. Волгоград. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. – 2014. – Вып. 37. – С. 87–92.
9. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов / Д. В. Курлапов, А. С. Куваев, А. В. Родионов, Р. М. Валеев // Инженер.-строит. журн. – 2009. – № 3. – С. 22–24.
10. Пахаренко В. А., Пахаренко В. В., Яковлева Р. А. Пластмассы в строительстве. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2010. – 350 с.
11. Rothon R. (Ed.) Fillers for Polymer Applications. – Switzerland: Springer International Publishing, 2017. – 486 p.
12. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов // Фундам. исслед. – 2017. – № 10-3. – С. 459–465.
13. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. М. Ксанта; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2010. – 462 с.
14. Wyruch G. Handbook of fillers. – 4th ed. – Toronto: ChemTec Publishing, 2016. – 922 p.
15. Синергетика дисперснонаполненных композитов / А. Н. Бобрышев, В. Н. Козомазов, Р. И. Авдеев, В. И. Соломатов. – М.: ЦКТ, 1999. – 252 с.
16. Некоторые аспекты усиления полимерных композитов / А. В. Лахно, А. Н. Бобрышев, П. А. Зубарев, В. О. Петренко, Е. В. Новиков // Междунар. техн.-экон. журн. – 2012. – № 5. – С. 100–105.
17. Соломатов В. И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2001. – 284 с.
18. Панова Л. Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2002. – 72 с.

**КУПРИЯШКИНА Л. И., КАРАНДАШОВ Д. Л.,
МУХАНОВ М. А., МЕЩЕРЯКОВ А. Е., НУРЛЫБАЕВ Р. Е.**

**АТЕМАРСКИЙ ДИАТОМИТ КАК СЫРЬЕ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА ¹**

Аннотация. Проведен анализ диатомитовых пород Атемарского месторождения Республики Мордовия. Описана методика анализа силикатной породы для получения микрокремнезема из природного диатомита. Проведен сравнительный анализ синтезированного микрокремнезема и стандартного порошка белой сажи. Получен термогравиметрический анализ синтезированного кремнезема из Атемарского диатомита. Приведены показатели теплопроводности полученного микрокремнезема.

Ключевые слова: диатомит, аморфный кремнезем, кислота, щелочь, температура прокаливания, осаждение, примеси, теплопроводность, синтезирование, теплопроводность.

**KUPRYASHKINA L. I., KARANDASHOV D. L., MUKHANOV M. A.,
MESHCHERYAKOV A. E., NURLIBAEV R. E.**

ATEMARSKIY DIATOMITE AS RAW MATERIAL TO OBTAIN MICROSILICA

Abstract. The analysis of diatomite rocks of the Atemar Deposit of the Republic of Mordovia is carried out. The procedure of analysis of silicate rock, used for obtaining microsilica from natural diatomite, is described. A comparative analysis of the synthesized microsilica and the standard white soot powder is presented. A thermo-grav analysis of the synthesized microsilica obtained from Atemarskiy diatomite is carried out. The parameters of the thermal conductivity of the obtained microsilica are provided.

Keywords: diatomite, amorphous silica, acid, alkali, calcination temperature, precipitation, impurities, thermal conductivity, synthesis, thermal conductivity.

Строительные композиционные материалы – это поликомпонентные системы, включающие в себя различные специализированные вяжущие, химические модифицирующие добавки, наноразмерные кремнезем и силикаты, специальные заполнители и т.д. [1]. Получение набора кремнеземных наночастиц различного строения актуально. Такие нанокомпозиты уже нашли применение в промышленности для изготовления специальных покрытий, огнестойких материалов, деталей автомобилей,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-48-130001 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

электронных и оптических устройств [2]. Материалы на основе кремнезема имеют высокую стойкость к тепловому удару, обладают превосходными электроизоляционными свойствами при высоких температурах, могут длительно использоваться без изменения свойств при температуре 1000 °С и кратковременно при более высоких температурах.

В качестве исходного материала для получения аморфного кремнезема в нашей стране служит кремнеземсодержащее сырье, к которому относятся диатомиты, трепел и опока. Эти породы состоят на 70-90% по массе из различных модификаций диоксида кремния. Сырьевой базой кремнеземсодержащего сырья для получения кремнезема в Республике Мордовия могут служить два месторождения диатомита – Атемарское и Анучинское. Добыча ископаемых осуществляется открытым способом. Порошок диатомита нерастворим в кислотах (HCl, HNO₃, H₂SO₄) и относится к кислым породам. Для перевода его в раствор необходимо сплавление. Наиболее удобным плавнем является смесь Na₂CO₃ и K₂CO₃. При этом температура плавления составляет 800-900 °С.

Прежде всего, были определены общая влажность диатомита и потери при прокаливании. Результаты анализа показывают, что общая влажность породы составила 5,5-6,0%. Потери при прокаливании составили около 9%, что свидетельствует о наличии органических составляющих в породе.

В основу получения кремнезема из природного диатомита взята методика анализа силикатной породы. Навеску диатомита 5 – 7,5 г, смешивали с шестикратным количеством щелочного плавня. Проводили сплавление в платиновых и корундовых тиглях в муфельной печи при температуре 800-900 °С. Полученный плав выливали на силикатный кирпич или переливали в платиновый тигель, переносили в химический стакан, добавляли дистиллированную воду, подкисляли концентрированным раствором HCl и выпаривали досуха. Эту операцию повторяли для полного обезвоживания гидратированного диоксида кремния. Нерастворенным оставался гидратированный оксид кремния (IV), который отделяли фильтрованием. Промывали осадок 0,5% раствором HCl 6 – 8 раз. Осадок сушили на воздухе, непосредственно на фильтре, затем переносили с фильтра в чашку Петри и сушили в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

В нашем случае кремнезем из диатомита получен при низких значениях pH. pH относится к наиболее важному фактору, влияющему на пористую структуру силикагеля, при которой формируется мокрый гель. Величина pH осаждения влияет на размер частиц, образующих скелет геля, пористость «мокрого» и высушенного геля. В процессе работы pH не изменялся, оставаясь в пределах 0,6 до фильтрования и 0,8 – 0,85 после промывания осадка на фильтре.

Данный способ получения микрокремнезема трудоемкий, длительный, требует большой затраты электроэнергии.

Изучена возможность получения микрокремнезема из диатомита путем удаления примесей (оксидов Fe, Al, Ca, Mg и др.) соляной кислотой. Навески просушенного диатомита помещали в колбы, заливали соляной кислотой определенной концентрации (1, 2, 3 или 4 М) и кипятили на плитке в течение 1 – 1,5 часов. Нерастворившийся остаток отфильтровывали, промывали водой и анализировали на содержание диоксида кремния, Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Результаты химического анализа представлены в таблице 1. Содержание $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в осадке составило 78-79 %. Понижение содержания $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в осадке наблюдалось по мере увеличения концентрации HCl, что, вероятно, связано с переходом кремниевой кислоты в растворимое состояние [3]. Содержание оксида железа составило 4–6%, оксида алюминия – 5–8%. Наибольшая их концентрация в фильтрате наблюдается при обработке диатомита 2 М соляной кислотой.

Таблица 1

Результаты химического анализа Атемарского диатомита после обработки HCl

№ п/п	Навеска диатомита, г	Масса осадка, г	Определяемые параметры			Кон-ция HCl, моль/л
			$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Fe_2O_3	Al_2O_3	
1	1,0014	0,8933	$79,50 \pm 0,35$	$4,48 \pm 0,24$	$5,65 \pm 0,36$	1
2	1,0025	0,8591	$78,80 \pm 0,33$	$6,08 \pm 0,17$	$8,12 \pm 0,16$	2
3	1,0036	0,8482	$79,35 \pm 0,27$	$5,12 \pm 0,20$	$7,35 \pm 0,23$	3
4	1,0020	0,8408	$78,90 \pm 0,30$	$4,16 \pm 0,28$	$5,30 \pm 0,32$	4

На рисунках 1 и 2 представлены ИК-спектры микрокремнезема, полученного из диатомита путем сплавления последнего со щелочным плавнем, тонкодисперсного кремнезема, известного под названием «белая сажа», взятого в роли стандартного образца, а также кремнезема, выделенного из диатомита путем отмывания примесей обработкой соляной кислотой.

По данным ИК-спектров можно заключить, что микрокремнеземы, полученные различными способами, идентичны со спектрами стандартного образца «белая сажа». Во всех спектрах присутствует широкая полоса поглощения в области волновых чисел 3500–3300 см^{-1} , а также более узкая полоса в пределах 1630–1640 см^{-1} . Широкая полоса поглощения соответствует адсорбированной воде, полоса поглощения 1631 см^{-1} соответствует молекулам воды, имеющим водородные связи с силанольными группами. Полосы поглощения 1100–1087 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям связи Si – O – Si. На поверхности кремнезема содержатся в большом количестве адсорбционная вода и

силанольные группы. Наличие силанольных групп на поверхности кремнезема очень важно, так как они значительно более активны и легко вступают в химические реакции. Протон силанольной группы имеет слабокислый характер и способен вступать в реакции ионного обмена.

Размер частиц полученного кремнезема определяли с помощью оптического микроскопа Nikon LV-150. Установлено, что микрокремнезем из Атемарского диатомита имеет размер частиц 5 – 10 мкм. По результатам исследований можно сделать вывод, что нами получен из природного диатомита тонкодисперсный порошок кремнезема, который был исследован термогравиметрическим методом на устройстве термогравиметрического и дифференциально-термического анализа TGA/SDTA 851. На рисунке 3 представлена термограмма синтезированного кремнезема из Атемарского диатомита.

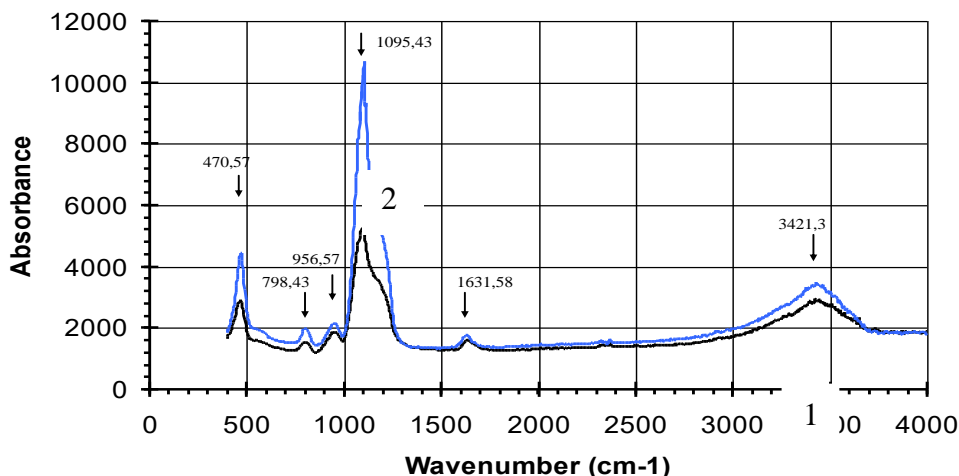


Рис. 1. Кривые спектрального анализа синтезированного кремнезема, промытого 0,5%-ным раствором HCl и стандартного образца белой сажи (1 – кремнезем из диатомита, 2 – белая сажа).

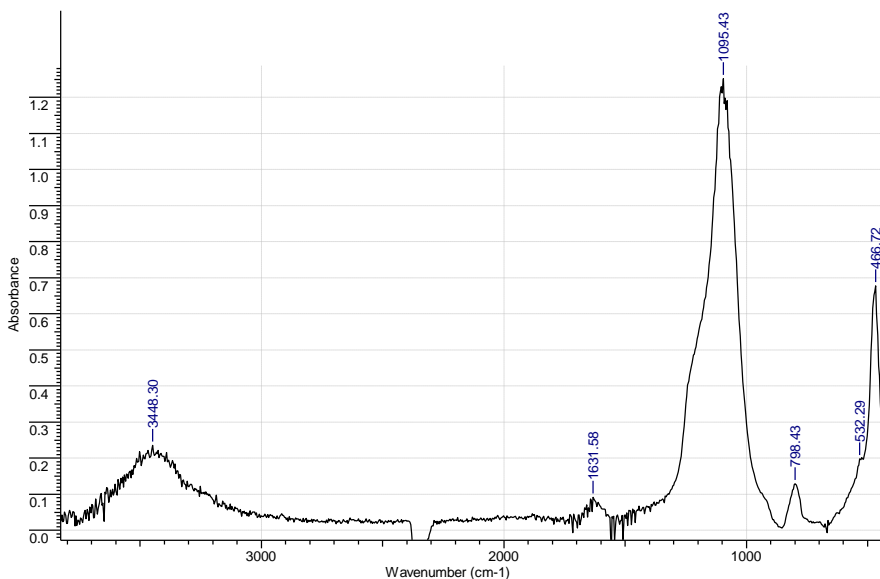


Рис. 2. Кривая спектрального анализа Атемарского диатомита после обработки 2 М раствором HCl.

Анализируя полученные кривые видно, что при нагревании порошка от 70 до 165 °С образец теряет около 21% своей массы за счет удаления адсорбированной воды. С повышением температуры до 250 – 400 °С потеря массы составляет 5,7%, вероятно, за счет удаления поровой воды. С повышением температуры до 420-500 °С потеря массы составляет 1,7%. Дальнейший рост температуры до 1200 °С не сопровождается изменением массы.

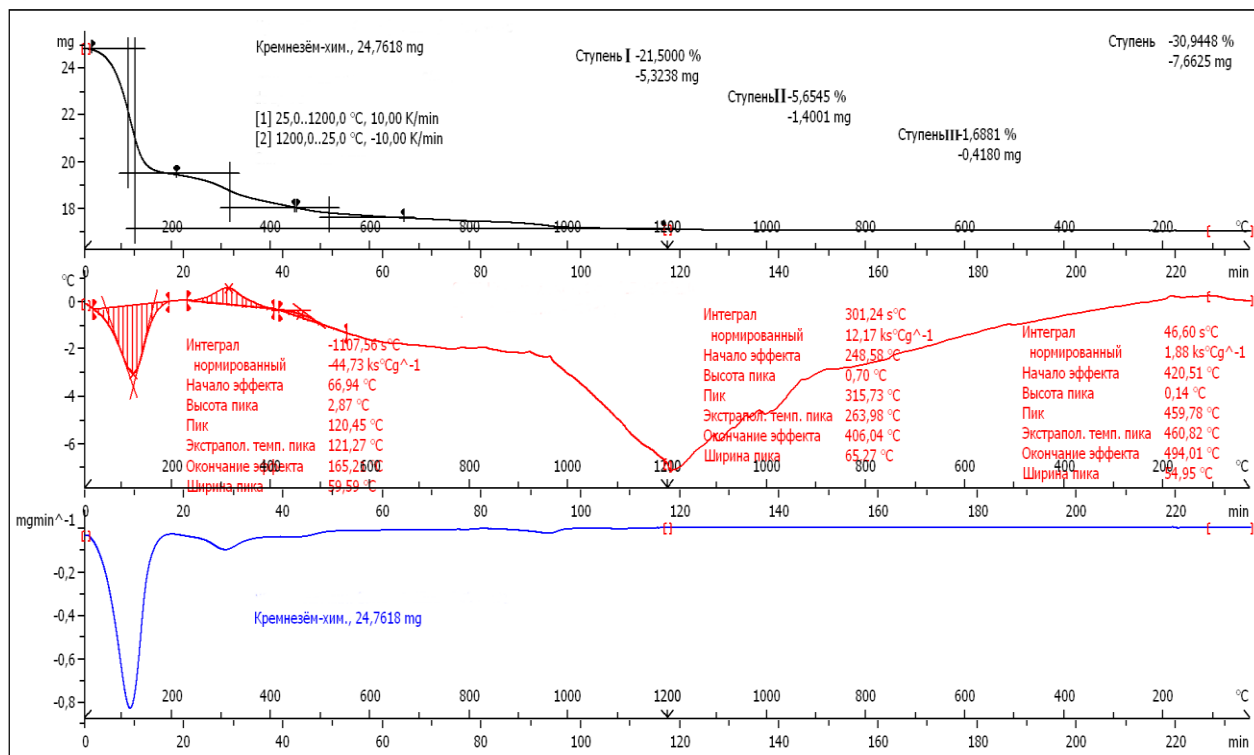


Рис. 3. Кривая термогравиметрического анализа синтезированного кремнезема из Атемарского диатомита, промытого 0,5%-ным раствором HCl.

Нанопорошки имеют низкую теплопроводность и могут быть использованы в качестве теплоизоляторов и теплоизолирующих прокладок, поэтому изучена теплопроводность микрокремнезема [4; 5]. В таблице 2 представлены результаты анализа, сделанные на измерителе теплопроводности ИТС-1.

Таблица 2

Результаты анализа теплопроводности микрокремнезема

№ п/п	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Производимые действия
1	0,090	—
2	0,087	Прокаливание при 200 °С в муфельной печи в течение 30 мин
3	0,050	СВЧ-излучение в течение 5 мин
4	0,042	Измельчение растиранием
5	0,040	СВЧ-излучение в течение 5 мин

Из таблицы 2 видно, что микрокремнезем без предварительного прокаливания имеет теплопроводность $\lambda = 0,090$ Вт/(м·К). После прокаливания при 200 °С в муфельной печи в течение 30 минут теплопроводность составила $\lambda = 0,087$ Вт/(м·К), после обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут – $\lambda = 0,050$ Вт/(м·К). При дополнительном измельчении до обработки СВЧ-излучением в течение 5 минут – $\lambda = 0,040$ Вт/(м·К). Таким образом, при взаимодействии СВЧ-излучения происходит удаление адсорбированной воды, увеличение пористости микрокремнезема, что ведет к уменьшению теплопроводности дисперсной системы более чем в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айлер Р. Химия кремнезёма. В 2-х частях. – М.: Мир, 1982. – 1128 с.
2. Селяев В.П., Осипов А.К., Писарева А.С. Наночастицы, порошки, структуры, технологии: аналит. обзор. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 84 с.
3. Патент 2526454 Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема / В.П. Селяев, А.К. Осипов, А.А. Седова, Л.И. Куприяшкина; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2013104054/05; заявл. 30.01.13; опубл. 20.08.14, Бюл. № 23. – 7 с.
4. Долгов И. П., Киселев Н. Н., Куприяшкина Л. И., Нурлыбаев Р. Е., Селяев В. П. Разработка вакуумных панелей на основе микрокремнезема из наноструктурированного порошка частиц диатомита [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2018. – № 9. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/razrabotka-vakuumnykh-panelej-na-osnove-mikrokremnezema-iz-nanostrukturirovannogo-poroshka-chastic-diatomita> (дата обращения 08.04.2019).
5. Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Киселев Н.Н., Селяев П.В. Оптимизация состава наполнителя вакуумной теплоизоляционной панели на основе пирогенного микрокремнезема // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 5. – С. 36–42.

НИЗИН Д. Р., ЧЕРНОВ А. Н., ГОРЕНКОВА А. И.
КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ
С ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К УФ-ИЗЛУЧЕНИЮ¹

Аннотация. Проанализирована возможность повышения климатической стойкости эпоксидных полимеров посредством использования отвердителя, обладающего повышенной стойкостью к действию УФ-излучения как одного из основных действующих факторов окружающей среды. Установлены различия в сорбционных и упруго-прочностных характеристиках образцов эпоксидных полимеров на основе отвердителей Этал-45М и Этал-2МК, экспонированных на испытательных стендах эколого-метеорологической лаборатории МГУ им. Н.П. Огарёва (г. Саранск) в течение 12 месяцев. Выявлена возможность использования отвердителя Этал-2МК для получения эпоксидных полимеров, обладающих повышенной стабильностью свойств в условиях действия окружающей среды.

Ключевые слова: климатическая стойкость, эпоксидные полимеры, отвердитель, солнечная радиация, УФ-излучение, поверхностный слой, предел прочности при растяжении.

NIZIN D. R., CHERNOV A. N., GORENKOVA A. I.
CLIMATIC RESISTANCE OF EPOXY POLYMERS
WITH IMPROVED UV RESISTANCE

Abstract. The possibility of increasing the climatic resistance of epoxy polymers through the use of a hardener with high resistance to the action of UV radiation, as one of the main environmental factors, has been analyzed. The differences in the sorption and elastic-strength characteristics of samples of epoxy polymers based on hardeners Etal-45M and Etal-2MK, exposed on the test benches of the Ecological and Meteorological Laboratory of Ogarev Mordovia State University for 12 months, established. The possibility of using hardener Etal-2MK to obtain epoxy polymers with high stability properties under environmental conditions has been shown.

Keywords: climatic resistance, epoxy polymers, hardener, solar radiation, UV radiation, surface layer, tensile strength.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-43-130009 «Исследование влияния обратимых и не обратимых изменений в поверхностных слоях материалов на закономерности их старения под действием природных климатических факторов».

Климатическое воздействие представляет собой самую распространенную агрессивную среду, оказывающую влияние на изменение свойств материалов любого функционального назначения. Как следствие, климатическая стойкость представляет собой характеристику, определение которой потенциально необходимо для всех без исключения изделий и конструкций, в том числе на полимерной основе. Однако, определение климатической стойкости полимерных материалов производится в крайне редких случаях – преимущественно для конструкционных материалов на основе эпоксидных смол (авиа-, автомобиле- и кораблестроение, машиностроение и т.д.). При этом известно [1–3], что состав эпоксидного связующего, используемого в процессе получения соответствующего композиционного материала, является одним из определяющих факторов неизменности комплекса эксплуатационных свойств готового изделия в ходе эксплуатации. Соответственно, аналогичный подход может быть применен и для получения долговечных защитно-декоративных покрытий строительных материалов и изделий.

Принято считать [1; 5–7], что основными факторами климатического воздействия, способствующими протеканию процессов старения эпоксидных полимеров (ЭП), являются влажность окружающего воздуха и количество осадков, температуры окружающей среды и испытываемого эпоксидного полимера, а также солнечная радиация и её различные волновые составляющие. При этом старение эпоксидных полимеров под действием первых двух факторов может происходить по всему объему рассматриваемого материала, в то время как солнечная радиация и её составляющие оказывают воздействие исключительно в поверхностных слоях образцов. Толщина поверхностного слоя полимерного материала, разрушенного под действием световых волн, как правило, крайне мала по сравнению с общей толщиной испытываемого образца. Однако, нарушение целостности поверхностного слоя может приводить к повышению скорости сорбции (десорбции) атмосферной влаги и загрязняющих веществ в толщу полимерного материала, что, в перспективе, приводит к ещё большему снижению их физико-механических свойств. Как следствие, защита эпоксидных полимеров от действия УФ-излучения представляет собой один из возможных путей повышения климатической стойкости защитно-декоративных покрытий.

Известно [8–10], что свойства эпоксидных полимеров во многом зависят от типа используемого отвердителя. Как следствие, можно утверждать, что замена стандартного отвердителя на обладающий повышенной стойкостью к действию УФ-излучения, позволит получить полимер с повышенной стойкостью к воздействию света.

В проведенных ранее исследованиях [11] авторами были получены кривые изменения предела прочности при растяжении для образцов эпоксидных полимеров четырех различных составов на основе отвердителя Этал-45М в процессе 12 месяцев натурного экспонирования.

Согласно данным исследованиям, за время экспонирования, снижение механической прочности образцов составило от 30 до 70% от первоначального значения. С целью уменьшения данного показателя была произведена замена отвердителя марки Этал-45М на Этал-2МК. В соответствии с заявлением производителя (АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ»), данный отвердитель предназначен для получения лакокрасочных покрытий, стойких к действию УФ-излучения.

В работе проведена оценка влияния типа используемого отвердителя на климатическую стойкость полимеров на основе модифицированных эпоксидных смол. Составы исследуемых полимерных материалов приведены в таблице 1. На рисунке 1 приведены кривые изменения массы образцов ЭП, отвержденных с помощью Этал-2МК (сплошные линии) и Этал-45М (пунктирные линии). Полученные результаты позволяют сформулировать ряд гипотез относительно влияния отвердителя на сорбционно-десорбционные процессы, протекающие в структуре эпоксидных полимеров.

Таблица 1

Составы исследуемых эпоксидных полимеров

Марка отвердителя	Состав смоляной части			
	ЭД-20	(90% ЭД-20 + 10% Этал-1)	(75% ЭД-20 + 25% Этал-1)	Этал-247
Этал-45М	100:50	90:10:50	75:25:50	100:47,5
Этал-2МК	100:45	90:10:45	75:25:45	100:42,75

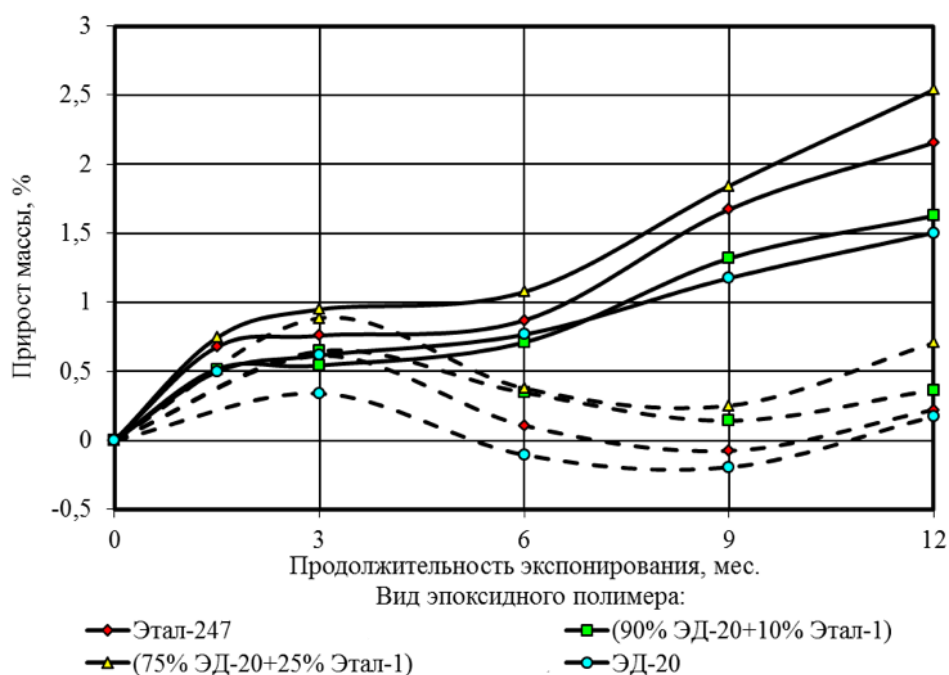


Рис. 1. Изменение массы образцов ЭП в зависимости от вида используемого отвердителя: Этал-2МК (сплошные линии), Этал-45М (пунктирные линии).

В первую очередь, данные результаты свидетельствуют об определяющей роли вида отвердителя в процессе формирования структуры полимерной сетки. Так, кривые изменения массы образцов в зависимости от длительности натурального экспонирования для составов с отвердителем одного вида характеризуются общей формой. Единственным различием в данном случае выступает начальный этап экспонирования, который, в свою очередь, свидетельствует о существовании различий в скорости сорбции влаги в зависимости от состава смоляной части. При этом части кривых на других временных отрезках характеризуются практически одинаковым наклоном по отношению к положительному направлению оси абсцисс.

Расхождения направлений процессов сорбции-десорбции атмосферной влаги на временных отрезках 3 – 6 и 6 – 9 месяцев для составов на основе отвердителей Этал-45М и Этал-2МК не могут быть с достаточной степенью точности охарактеризованы без привлечения графиков изменения механической прочности образцов (рис. 2, а – г).

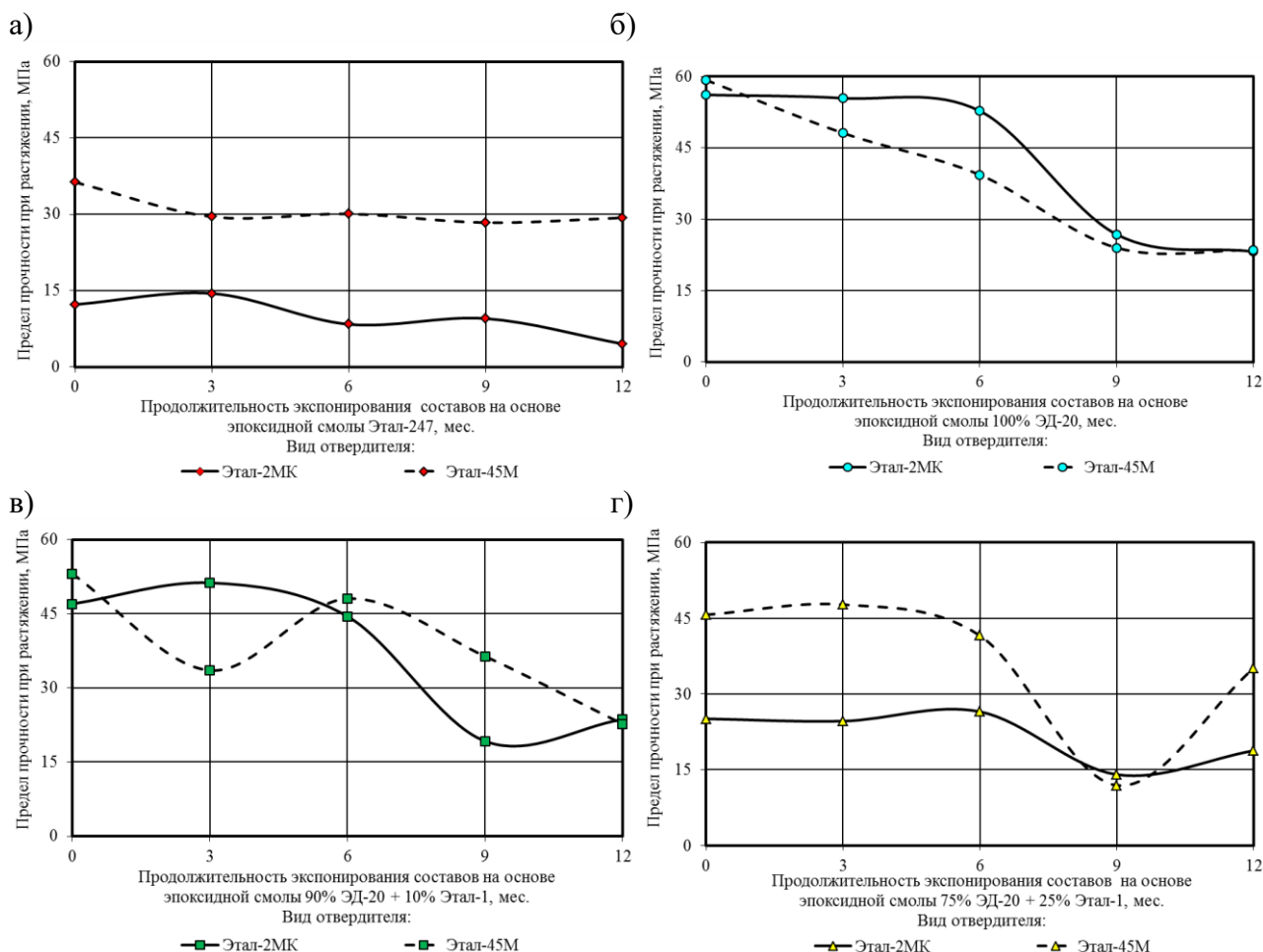


Рис. 2. Изменение предела прочности ЭП при растяжении в процессе натурального экспонирования в зависимости от вида отвердителя (Этал-2МК и Этал-45М) и эпоксидного связующего: а – Этал-247; б – ЭД-20; в – 90% ЭД-20 + 10% Этал-1; г – 75% ЭД-20 + 25% Этал-1.

Монотонный рост влагосодержания образцов эпоксидных полимеров на основе отвердителя марки Этал-2МК на всем протяжении процесса натурального экспонирования, в отличие от составов, отверждаемых Этал-45М, может быть обусловлен различиями в реакционной способности и химическом составе полимерной сетки. Так, для составов на основе Этал-2МК может быть характерна существенно большая доля химически связанной воды, наиболее активно образующейся в процессе термовлажностного старения и не удаляющейся из структуры полимерной матрицы при дальнейшем экспонировании. В свою очередь, форма кривой изменения массы в процессе натурального старения для образцов, отверждаемых Этал-45М, может быть обусловлена потерями массы образца вследствие частичного вымывания из структуры полимерной матрицы непрореагировавших реакционно-способных групп разбавителя Этал-1 (рис. 1).

Следует отметить, что для всех составов на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя Этал-2МК (рис. 2, б, в, г) снижение механической прочности наблюдается исключительно на временном промежутке с 6 по 9 месяц экспонирования, что соответствует периоду с 1 июня по 31 августа. На других временных промежутках изменение предела прочности между смежными контрольными точками находится в пределах статистической погрешности. Это свидетельствует о важной роли именно процесса термовлажностного старения в изменении механической прочности образцов данной серии составов.

Следует отметить, что для составов на основе отвердителя Этал-45М после 12 месяцев натурального экспонирования прирост массы не превышает 0,7%, в то время как для образцов, отверждаемых Этал-2МК, он варьируется от 1,5 до 2,5% (рис. 1). Однако, учитывая практически полное совпадение прочностных характеристик некоторых составов после 12 месяцев экспонирования (рис. 2, б, в), можно предположить наличие, в случае составов на основе Этал-45М, дополнительных причин снижения прочностных свойств образцов – например, разрушения поверхностных слоев вследствие светового старения. Как следствие, мы можем предположить повышение стойкости образцов эпоксидных полимеров на основе отвердителя марки Этал-2МК к действию УФ-излучения. Анализ изменения прочностных характеристик образцов на основе эпоксидной смолы Этал-247 и Этал-2МК показал, что механическая прочность данного состава значительно ниже аналогичного показателя образцов, отверждаемых Этал-45М. При этом состав Этал-247 + Этал-45М характеризуется наибольшей стабильностью свойств на всем промежутке экспонирования.

На основании полученных данных можно сделать вывод о целесообразности использования отвердителя Этал-2МК совместно с эпоксидными связующими на основе ЭД-20 и 90% ЭД-20 + 10% Этал-1, что позволяет получить ЭП с повышенной стойкостью к действию УФ-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 11. – С. 19–27.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравномерности градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 12. – С. 40–46.
3. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Релаксация исходной структурной неравномерности градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
4. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
5. Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Артамонов Д.А. Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 34–42.
6. Климатические испытания строительных материалов / под общ. ред. д-ра техн. наук проф. О.В. Старцева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.Т. Ерофеева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.П. Селяева. – М.: АСВ, 2017. – 558 с.
7. Селяев В.П., Старцев В.О., Низина Т.А., Старцев О.В., Низин Д.О., Молоков М.В. Анализ пластифицирующего воздействия влаги на климатическую стойкость эпоксидных полимеров, модифицированных алифатическим разбавителем Этал-1 // Вестник Приволжского территориального отделения РААСН. – Вып. 21. – Нижний Новгород, 2018. – С. 200–205.
8. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
9. Мошинский Л. Эпоксидные смолы и отвердители. – Тель-Авив: Аркадия пресс Лтд, 1995. – 370 с.
10. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: Дом печати, 2004. – 446 с.
11. Nizin D.R., Nizina T.A., Selyaev V.P., Chernov A.N., Gorenkova A.I. Natural Climatic Aging of Epoxy Polymers Taking into Account the Seasonality Impact // Key Engineering Materials. – 2019. – Vol. 799. – P. 159–164.