



eISSN 2311-2468
Том 12, № 9. 2024
Vol. 12, no. 9. 2024

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



АНТОНЕНКО А. О., НИЗИНА Т. А.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К МОНИТОРИНГУ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Аннотация. Статья посвящена перспективам внедрения систем мониторинга российского производства технического состояния объектов нового строительства и зданий, за физическим состоянием которых необходимо постоянное наблюдение. В работе представлены современные способы сбора фактических характеристик и анализ их применения, исходя из актуальности, эффективности и экономической целесообразности.

Ключевые слова: здание, мониторинг, техническое состояние, контроль, датчики, напряжённо-деформированное состояние.

ANTONENKO A. O., NIZINA T. A.

**ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO MONITORING
TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Abstract. The article is devoted to the prospects for the introduction of Russian systems to monitor technical condition of new construction facilities and buildings, the physical condition of which requires constant monitoring. The study presents modern methods of collecting physical data and analyzing their application, based on relevance, effectiveness and economic feasibility.

Keywords: building, monitoring, technical condition, monitoring, sensors, stress-strain state.

Одним из факторов, отражающих принципы современного строительства, является стремление к обеспечению безопасности как во время возведения здания, так и в период его эксплуатации. Объект должен быть спроектирован с учётом современных норм и требований к строительству и соответствовать им в течение всего расчётного срока службы, что требует развития систем контроля технического состояния зданий и сооружений, позволяющую своевременно реагировать на возникающие проблемы и предотвращать аварийные ситуации.

В последнее время на территории нашей страны распространено строительство зданий и сооружений, отличающихся нестандартными объёмно-планировочными и конструктивными решениями, выполненными из новых материалов с применением современных технологий. Зачастую оказывается так, что уже в течение нескольких лет после введения объектов в эксплуатацию обнаруживаются дефекты и повреждения, которые приводят к значительному снижению их долговечности. В связи с этим возникает необходимость в систематическом наблюдении и контроле технического состояния строительных конструкций с целью уменьшения негативных последствий.

Одним из инструментов, используемых с целью поддержания необходимой надежности, функциональности и долговечности строительных изделий, конструкций, зданий и сооружений, является мониторинг. Мониторинг – специально организованная система непрерывного контроля и наблюдения за текущим состоянием объекта и его изменением в течение времени [1]. Основное преимущество мониторинга по сравнению с другими методами обследования зданий и сооружений проявляется в том, что в процессе наблюдения возможно отследить деформации объекта, либо его отдельных конструктивных элементов и, как следствие, предотвратить наступление негативных последствий. Использование систем мониторинга также помогает достичь таких результатов, как [2]:

- минимизация человеческого фактора при оценке технического состояния объекта;
- повышение уровня эксплуатационной безопасности, достигаемое за счет использования современных систем, позволяющих в реальном масштабе времени получать информацию об изменении технического состояния здания;
- использование специализированного интеллектуального программного оснащения систем мониторинга на базе современных информационных технологий, разработанных с учетом результатов предварительных натурных испытаний, теоретических расчётов и моделирования;
- сокращение времени обследования и др.

Для осуществления контроля и диагностики технического состояния зданий и сооружений рекомендуется [2] устанавливать автоматизированную цифровую систему модульного типа с распределённой обработкой данных, осуществляющую передачу полученной информации по цифровой линии связи на центральную вычислительную станцию. Данная система позволяет передавать необходимые данные с сенсорных измерительных узлов на большие расстояния без искажения и потерь во времени. Информация, полученная от измерительных узлов системы мониторинга, в полном объёме хранится в памяти объектовой информационно-вычислительной станции в течение некоторого срока, достаточного для комплексного анализа данных и выявления мест накопления повреждений. По истечению этого срока первичная информация, равно как и результаты анализа данных, переносятся на съёмные носители для последующего долговременного хранения. При этом в памяти объектовой информационно-вычислительной станции остаются только обобщённые результаты мониторинга за весь период эксплуатации объекта [2].

В зависимости от вида здания, типа и материала конструкций и технических задач системы мониторинга, как способ неразрушающего контроля основных несущих конструкций, классифицируются по выбранному методу сбора информации:

– метод акустической эмиссии, основанный на регистрации упругого энергоснабжения при разрушении и деформации материалов. Использование данного метода позволяет обнаруживать дефекты, развивающиеся в процессе эксплуатации конструкций, устанавливать их характер, местоположение и степень опасности;

– измерение напряженного состояния и перемещений элементов конструкций, возникающих в ходе эксплуатации здания, что позволяет контролировать положение и нарастание деформаций конструктивных элементов;

– анализ собственных частот основных форм колебаний элементов конструкций, позволяющий оценивать текущее состояние несущих конструкций и выделять из них конструкции, наиболее подверженные влиянию разрушающих факторов.

В период эксплуатации необходимо регулярное наблюдение за состоянием грунтового массива, контактирующего с фундаментом и другими конструкциями зданий или сооружений, активностью негативных геологических процессов. При мониторинге геологических процессов необходимо получать информацию о вертикальных и горизонтальных перемещениях грунтов, напряжённо-деформированном состоянии в местах контакта конструкций с грунтовым массивом и сейсмических воздействиях [3].

Система геотехнического мониторинга – одна из важнейших частей комплекса осуществления безопасности любых строительных объектов, которая должна входить в стационарную станцию. Наблюдение и сбор данных осуществляется с помощью автоматизированных средств наблюдения (датчиков) с использованием беспроводных технологий, например, по спутниковым системам [4].

При создании данной системы по периметру строительного объекта и на отдельных его конструктивных элементах размещают высокоточные приёмники. Помимо этого, создаётся опорная сеть на основе базовых станций. В условиях современных реалий необходимо обращать внимание на оборудование отечественного производителя. Так, например, приёмник 4GNSS DEKART российской компании ГК «Ориент Системс» не уступает зарубежным аналогам по техническим характеристикам. К тому же он является более доступным по цене в отличие от приёмников иностранных компаний. Кроме того, существует возможность проведения быстрого ремонта или замены приёмника в случае выхода его из строя. Технические параметры данной системы указаны в таблице 1. Отечественный приёмник отличается более высокой точностью и большим диапазоном рабочих температур.

Таблица 1

Технические характеристики приёмника 4GNSS DEKART [5]

Технические характеристики	Фактические значения
Число каналов	574 канала (GPS: L1 C/A, L1/L2 P, L5; BeiDou: B1, B2, B3; GLONASS: L1, L2; Galileo: E1, E5a, E5b)
Точность при DGPS-съёмке	< 0,4 м 3D СКО
Точность при статической съёмке	в плане 2,5 мм + 0,5 мм/км по высоте 5 мм + 0,5 мм/км
Точность при RTK-съёмке	в плане 8 мм + 1 мм/км по высоте 15 мм + 1 мм/км
Рабочая температура, °C	-40...+80

Определяя координаты контрольных точек и сопоставляя результаты измерений, возможно проанализировать изменение пространственного положения объекта и его конструктивных элементов относительно друг друга. Также необходимо постоянное владение информацией о перемещениях грунта (аналогично системе мониторинга изменения пространственного положения здания), но с размещением приёмников непосредственно на поверхности грунта или на торцевом конце анкера и наблюдением в автоматическом режиме при помощи стационарных инклиометрических систем [3].

При этом следует отметить целесообразность применения российских беспроводных инклинометров ИН-ДЗ LoRaWAN, работающих по протоколу LoRaWAN (подключенных к собственной базовой станции), позволяющих определять угловые подвижки объекта мониторинга в местах, где расположение проводных каналов связи и питания датчиков невозможно или нецелесообразно [6]. Данные измерений могут регистрироваться и анализироваться непрерывно в специальном программном модуле или сохраняться в течение некоторого времени во внутренней памяти автоматического регистратора для дальнейшей обработки. Технические параметры данной системы указаны в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики инклинометра ИН-ДЗ LoRaWAN [6]

Технические характеристики	Фактические значения
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений угла, % от диапазона	$\pm 0,5$
Фактическое значение основной погрешности, % от диапазона измерений	0,15 0,1
Средний срок службы, лет	15
Рабочая температура, °C	-50...+60

Устройство системы датчиков возможно двумя способами:

- установка собственной базовой станции LoRaWAN, которая подключается к Internet (при этом затраты по созданию собственного покрытия радиосети LoRaWAN минимальны);
- подключение инклинометров ИН-ДЗ LoRaWAN к сети операторов связи LPWAN и использование их инфраструктуры.

Также необходимо систематическое наблюдение за состоянием и изменениями гидрогеологических параметров. Для измерения уровня жидкости в грунтах в организованных наблюдательных скважинах, порового давления при проведении геотехнического мониторинга на этапе строительства и эксплуатации могут использоваться различные виды пьезометров [3]. Так, например, пьезометр PLLG-D01 является целесообразным вариантом за счёт наличия цифрового выхода RS-485, который позволяет подключать большое количество датчиков на одну измерительную линию на расстояния до 800 м [7]. Технические параметры пьезометра указаны в таблице 3. Также отличительной особенностью является возможность организации беспроводного подключения к сети, работающей по вышеупомянутой технологии LoRaWAN.

Таблица 3

Технические характеристики пьезометра PLLG-D01 [7]

Технические характеристики	Фактические значения					
Диапазон измерений избыточного давления, Бар	0,1	0,3	1	3	10	20
Диапазон измерений уровня водяного столба в открытой скважине, м	1	3	10	30	100	200
Предел допускаемой приведенной основной погрешности измерений избыточного давления, %	±0,1					
Рабочая температура, °C	-60...+120					

Сравним данную модель с зарубежным аналогом – пьезометром от одной из самых высокотехнологичных корейских компаний в этой сфере Sungjin Geotec (марка модели SJ-4000). Датчик имеет цилиндрический корпус из нержавеющей стали, на конце которого расположен пористый фильтр. Вода проходит через фильтр и оказывает давление на мембрану, которая передает воздействие на струну, увеличивая или уменьшая ее натяжение. Две электромагнитные катушки, находящиеся внутри датчика, производят возбуждение струны и считывание с нее резонансной частоты колебаний. Считанный сигнал обрабатывается с помощью дата-логгера. Технические параметры пьезометра указаны в таблице 4.

Российский пьезометр отличается более высокой точностью и большим диапазоном измерений и рабочих температур и не уступает корейскому аналогу в точности.

Таблица 4

Технические характеристики пьезометра SJ-4000 [8]

Технические характеристики	Фактические значения
Диапазон измерений, кПа	350
Максимальное давление, %	150
Точность, %	$\pm 0,1$
Рабочая температура, °C	-40...+80
Точность измерения температуры, °C	± 1

При учёте динамики развития напряжений в конструкциях лучшим технологическим решением является применение тензометрических датчиков [3], например, российского закладного тензометра SVWG-EC [9]. С его помощью возможно получение информации о напряжениях и деформациях в несущих бетонных строительных конструкциях и мониторинг напряжённого-деформированного состояния конструктивных элементов. Закладные тензометры крепятся вязальной проволокой к арматурному каркасу во взаимно перпендикулярных направлениях перед заливкой бетона. Впоследствии напряжения растяжения и сжатия бетонного массива передаются на тензометр с помощью закладных якорей. Технические параметры тензометра указаны в таблице 5.

Таблица 5

Технические характеристики тензометра SVWG-EC [9]

Технические характеристики	Фактические значения
Диапазон измерений, мкм/м	0...3300
Диапазон изменения частоты колебания струны, Гц, $\pm 20\%$	500-2000
Основная приведенная погрешность, % от диапазона	± 1
Рабочая температура, °C	-50...+60

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Развитие систем мониторинга необходимо для достижения общей безопасности здания за счёт систематического наблюдения и прогнозирования рисков, вида и скорости развития разрушений, превышающих технические возможности объекта;

2. Для обеспечения всестороннего контроля за состоянием здания или сооружения необходимо использовать комплекс измерительных приборов, способных контролировать различные показатели как конструктивных элементов, так и грунтового массива. Такой подход позволит получать точную и подробную информацию о состоянии объекта путем анализа данных, полученных от различных типов датчиков;

3. Наиболее целесообразно размещение систем мониторинга в грунтовой массив и конструктивные элементы, расположенные ниже уровня поверхности грунта, что позволит следить за состоянием наименее доступной и наиболее нагруженной части здания;

4. Необходимо развитие отечественных систем мониторинга, в качестве замены зарубежным компаниям, ушедшим с российского рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леденёв В. В., Ярцев В. П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 252 с.
2. Требования к техническим средствам и системам комплексного обеспечения безопасности, автоматизации и связи многофункциональных высотных зданий и комплексов. Пособие для специалистов проектных и монтажных организаций, заказчиков, страховых компаний, инвесторов и контролирующих органов. – М., 2005. – 55 с.
3. Таракановский В. К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сборник научных трудов. – М., 2010. – Вып. 9. – С. 243–262.
4. СП 305.1325800.2017. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – 61 с.
5. Спутниковый приёмник 4GNSS DEKART [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geo4u.ru/4gnss_dekart (дата обращения 15.05.2024).
6. Инклинометр ИН-ДЗ LoRaWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/ind3-lorawan> (дата обращения 15.05.2024).
7. PLLG-D01 пьезометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/pllg-d01> (дата обращения 17.05.2024).
8. Струнный пьезометр серии SJ-4000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monsol.ru/strunniy-piezometr-serii-sj-4000> (дата обращения 17.05.2024).
9. SVWG-EC Закладной тензометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ntpgorizont.ru/product/svwg-01-ec200-300-400-datchik-deformatsii> (дата обращения 15.05.2024).

ДЕДЯЕВА Е. С., КОНОВАЛОВА Е. С., ЛУКИНЫХ С. Г.,

ОШКИНА Л. М., РАДАЕВА Е. Е., СМОЛЯК А. А.

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ОФИСНОГО ЗДАНИЯ СРЕДСТВАМИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Аннотация. Рассматриваются принципы информационных технологий моделирования объектов капитального строительства. Приводится определение информационной модели объекта капитального строительства. Рассматриваются цели и задачи дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Информационные технологии в строительстве», реализуемой в МГУ им. Н.П. Огарёва. Рассматриваются принципы работы российской BIM-системы Renga компании Renga Software. Приведены приемы разработки информационной модели здания в BIM-системе Renga.

Ключевые слова: информационные технологии моделирования, BIM-система Renga, информационная модель здания, жизненный цикл здания, кадровый потенциал ИТ-отрасли.

DEDYAEVA E. S., KONOVALOVA E. S., LUKINYH S. G.,

OSHKINA L. M., RADAeva E. E., SMOLYAK A. A.

**DEVELOPMENT OF OFFICE BUILDING PROJECT BY MEANS
OF INFORMATION TECHNOLOGY MODELING**

Abstract. The article deals with the principles of information technology for modeling capital construction projects. It provides a definition of the information model of a capital construction project. The objectives and goals of the specialized professional retraining program «Information Technology in Construction» taught at Ogarev Mordovia State University are defined. The operation principles of the Russian Renga BIM system by Renga Software are considered. The study gives the techniques for developing a building information model in the Renga BIM system.

Keywords: information technology modeling, Renga BIM-system, building information model, building life cycle, human resources potential of IT industry.

В свете государственных решений по выполнению национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» информационные технологии становятся приоритетными в строительной отрасли. Предполагается, что традиционная «ручная» технология проектирования зданий и сооружений должна замениться технологиями информационного моделирования объектов капитального строительства, конечным продуктом которых должен быть не просто комплект проектно-конструкторской документации, а трехмерная модель объекта, насыщенная информацией, которая может быть

выведена из нее в графической, текстовой или другой форме в любой временной промежуток жизненного цикла объекта.

Термин «информационная модель объекта капитального строительства», как совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства, сформулирован в СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования ИМ объектов на разных стадиях жизненного цикла» [1].

Вполне очевидно, что перспективы цифровой трансформации строительства будут зависеть от уровня соответствующей подготовки кадров. В связи с этим перед сферой образования встают задачи по подготовке специалистов, которые, наряду с получением образования по основному профилю, были бы компетентными в сфере цифровых технологий. В рамках федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли», который входит в нацпрограмму «Цифровая экономика Российской Федерации», в Национальном исследовательском Мордовском государственном университете им. Н. П. Огарёва реализуется проект «Цифровые кафедры».

В институте архитектуры и строительства МГУ им. Н. П. Огарёва организовано обучение по дополнительной профессиональной программе профессиональной переподготовки (ДПП ПП) «Информационные технологии в строительстве», целью которой является формирование готовности слушателей к освоению нового вида профессиональной деятельности по использованию современных информационных технологий в строительстве, в том числе при подготовке проектной документации с использованием средств автоматизированного проектирования. В задачи программы входит: 1) изучение приемов создания, использования и сопровождения информационной модели объектов капитального строительства (ОКС) на всех этапах его жизненного цикла; 2) знакомство с основными программными продуктами, используемыми при создании информационных моделей ОКС; 3) получение практического опыта создания и использования информационных моделей ОКС.

Создание информационной модели строительного объекта выполняется обучающимися в российской BIM-системе Renga компании Renga Software. Эта система позволяет создавать трёхмерные информационные модели зданий и сооружений, с проработкой архитектурных, конструктивных и инженерных решений, и получать на основе созданных моделей комплекты проектно-конструкторской документации автоматизированным образом.

Модели объектов, созданные в Renga и сохраненные в формате IFC, могут быть экспортированы в комплексы типа ЛИРА-САПР, СТАРКОН для выполнения конструкторских расчетов и конечно-элементного анализа, в комплексы типа КРЕДО для работы с цифровой моделью местности и генпланом, в программные продукты семейства 1С для оформления проектно-сметной документации и организации управления строительным производством. Renga может взаимодействовать со специализированными программными продуктами для организации технологического проектирования, выполнения физико-технических, гидравлических и аэродинамических расчетов, 3D-визуализации, VR-представления, 3D-печати.

В рамках обучения по программе «Информационные технологии в строительстве» командой обучающихся был разработан групповой проект офисного здания. В задачи проекта входило: 1) использование цифровых инструментов моделирования для воплощения архитектурных замыслов; 2) использование автоматизированных приемов получения проектно-конструкторской документации; 3) повышение эффективности процесса проектирования; 4) организация совместной работы участников проекта.

Проектируемое здание – это копия современного офисно-делового центра с названием «Куб», который реализован в г. Берлин (Германия). Это уникальное строение является воплощением современного дизайна и примером инновационных подходов к созданию уникального пространства объекта. Здание имеет интересный зеркальный фасад-аттракцион, выполненный из стекла и металла, позволяющий устроить открытые террасы (рисунок 1).

Объект предполагает десять этажей гибких офисных помещений; продуктовый рынок на первом этаже и офисный вестибюль; подземную парковку и оранжереи, террасу на крыше; а также дополнительные конференц-залы. В общей сложности здание занимает 16 500 кв.м гибкого модульного надземного пространства. Высота каждого этажа составляет 4 метра, что позволяет организовать открытые многофункциональные пространства для работы и отдыха. На каждом этаже запроектированы выходы на открытые и закрытые террасы, с которых открывается панорамный вид на округу. Внутри здание спроектировано с учетом будущих требований к гибким планировкам офисов и может соответствовать меняющимся конструктивным требованиям.

Этажи расположены вокруг центрального ядра и могут быть разделены на несколько отдельных блоков или соединены внутренними атриумами. Входная группа офисного здания организована с уровня первого этажа; для доступа маломобильных групп населения запроектирован подъёмник.



Рис. 1. Исходное фото объекта для информационного моделирования [2].

Основными несущими конструкциями здания являются монолитные железобетонные стены центрального ядра и 20 колонн, расположенных по периметру каждого этажа. Вертикальные несущие конструкции объединены горизонтальными дисками междуэтажных монолитных перекрытий. Основанием проектируемого здания является свайный фундамент с монолитным плитным ростверком [3–5]. Ограждающие конструкции здания представляют собой вентилируемые двойные остекленные фасады сложной геометрической формы, выполненные с применением витражных стальных конструкций [6].

Плоская эксплуатируемая кровля проектируемого здания разработана с учетом пешеходных нагрузок. Крыша задумана как «пятый фасад» и завершает концепцию «Куб». Обширная терраса на крыше служит общим пространством и может использоваться как место для проведения встреч или мероприятий.

Информационное моделирование зданий в BIM-системе Renga рекомендуется выполнять в трехмерном пространстве 3d вида. Проектирование начинается с создания на рабочей плоскости базового уровня сетки координационных осей и привязке к ней типового этажа. В соответствии с принципом параметрического моделирования для несущих конструкций типового этажа первоначально задаются основные параметры – материал, состав, толщина, высота и др. Стены, перегородки и колонны первого этажа моделируются с использованием инструментов **Стена** и **Колонна**. С использованием инструментов **Окно** и **Дверь** организуются проёмы в созданных стенах и перегородках. Для организации

лестничных клеток используются инструменты **Лестница** и **Ограждение**. Создание перекрытия и проёмов в нём производится с помощью инструментов **Перекрытие** и **Проём**.

Все последующие этажи создаются копированием первого этажа. Так как здание имеет необычную форму и этажи отличаются планировкой, новые этажи редактировались по мере необходимости. В результате последовательных действий была получена трёхмерная модель объекта (рисунок 2).

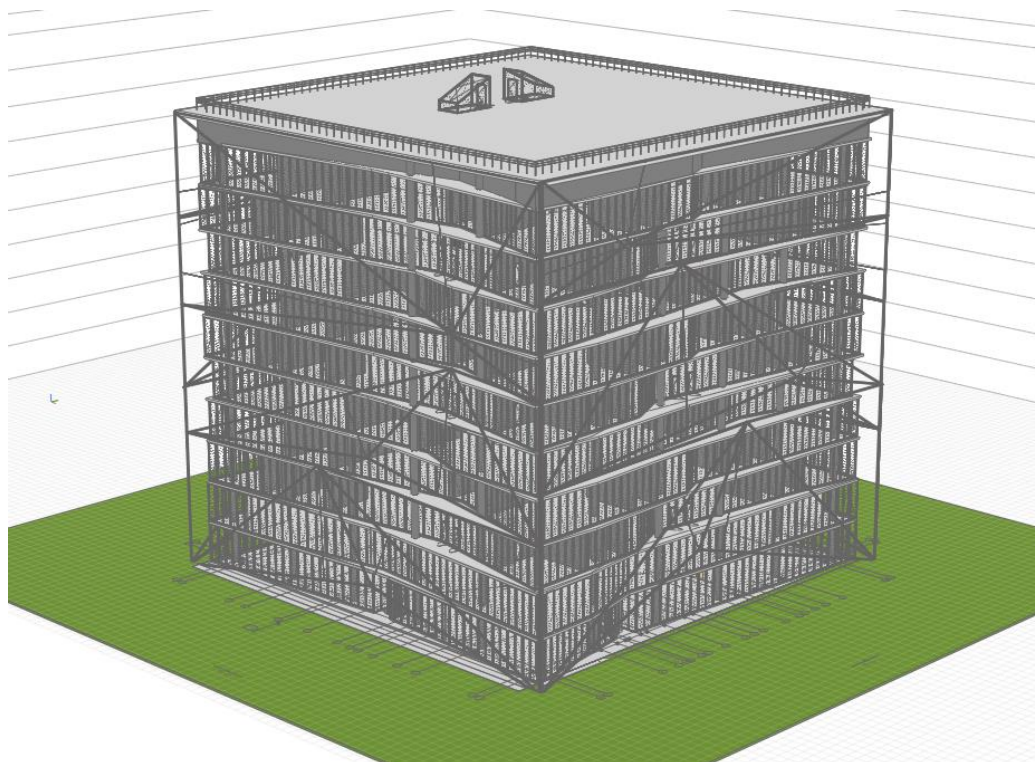


Рис. 2. 3D-модель здания (северо-западная изометрия).

В работе для создания модели здания использовались не только типовые, но также самостоятельно смоделированные 3D-объекты. Бесспорным достижением созданной модели являются уникальные фасады проектируемого здания, отличающиеся необычной геометрией.

Фасад-аттракцион сложно создать стандартными инструментами, представленными в системе Renga. Для воплощения этой идеи было сформировано большое количество индивидуальных сборок-витражей. На первоначальном этапе в сферическом режиме измерений плоскость фасада делилась линией на контурные треугольники. После этого вымерялись стороны каждого треугольника и создавался витраж индивидуальной формы. Далее этот витраж устанавливался в стену нужной длины и минимальной высоты (100 мм). Созданный элемент преобразовывался в сборку, которой задавались различные параметры поворота в трёхмерном пространстве. Затем созданные отдельно треугольные витражи

объединялись в единую фасадную сборку. На рисунке 3 представлена трёхмерная модель сборки фасада, на рисунке 4 – чертеж с фасадами смоделированного здания «Куб».

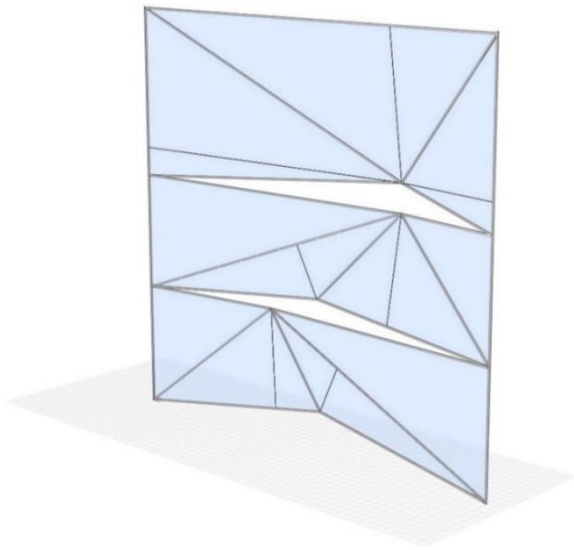


Рис. 3. Трёхмерная модель сборки фасада.

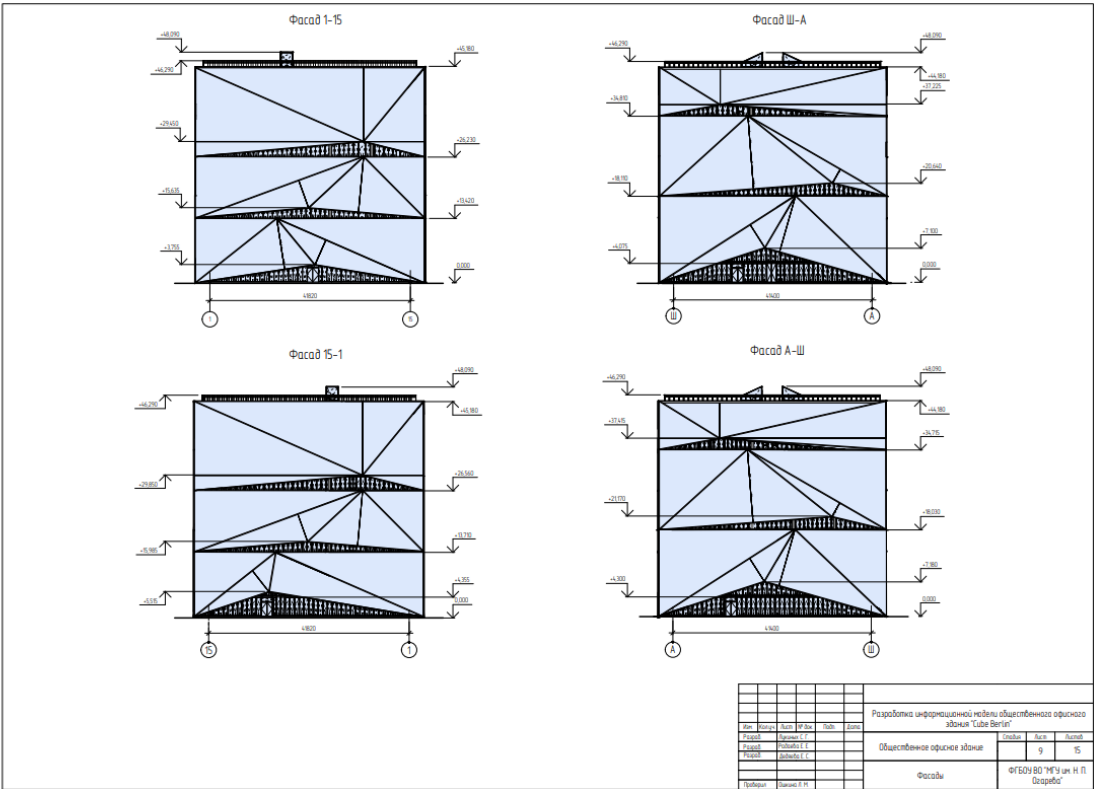


Рис. 4. Фасады смоделированного здания «Куб».

Результатом проектирования является получение комплекта проектно-конструкторской документации. На основе созданной модели «Куба» были получены архитектурно-строительные чертежи, чертежи конструктивного и инженерного разделов проекта, а также

таблицы, экспликации, спецификации и прочие текстовые документы. На рисунке 5 в качестве примера представлен чертеж плана типового этажа с экспликацией помещений.

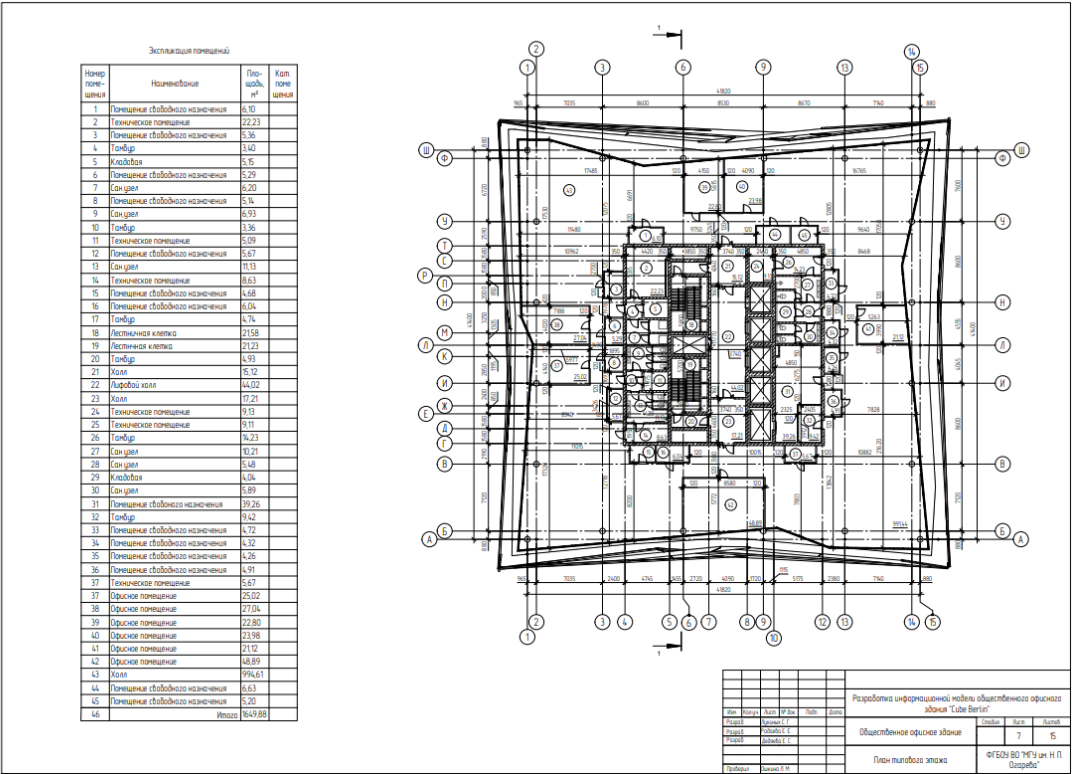


Рис. 5. Чертеж плана типового этажа с экспликацией помещений.

Информационная модель здания, созданная в BIM-системе Renga была экспортирована в программу для трехмерной архитектурной визуализации Lumion. На рисунке 6 представлен результат выполненной визуализации.

Конструктивный раздел проекта содержит информацию о несущих строительных конструкциях и их пространственном положении. BIM-система Renga располагает широкими возможностями и инструментарием для армирования объектов. Функция автоматизированного армирования монолитных железобетонных элементов значительно облегчает процесс раскладки арматуры. Благодаря инструментам, обеспечивающим гибкость в формировании документации, есть возможность создавать чертежи для отдельных элементов и конструкций. При помощи инструмента **Легенда** можно вывести на чертеж спецификацию армированных деталей. На рисунке 7 представлен чертеж схемы армирования железобетонной колонны со спецификацией.



Рис. 6. Визуализация смоделированного объекта.

В данном проекте также разрабатывалась система бытовой канализации. В BIM-системе Renga можно создавать информационные модели внутренних трубопроводных систем различного назначения для проектируемых зданий и сооружений. Инструменты автоматизированной прокладки трубопроводных трасс в Renga позволяют максимально облегчить работу инженера. Имеющиеся библиотеки сантехнического оборудования и деталей позволяют быстро формировать чертежную документацию. На рисунке 8 приведена изометрия инженерной сети бытовой канализации проектируемого здания.

Одной из особенностей информационных технологий моделирования является возможность совместной работы специалистов разных проектных групп для одновременной реализации различных разделов проекта. Над данным проектом работала команда из пяти человек. Разделение обязанностей между участниками коллектива по выполнению проекта и организации одновременной работы позволило нам обеспечить достаточно эффективное взаимодействие для уменьшения количества возможных ошибок и нестыковок. Это также способствовало повышению скорости создания 3D модели и наполнения ее информацией.

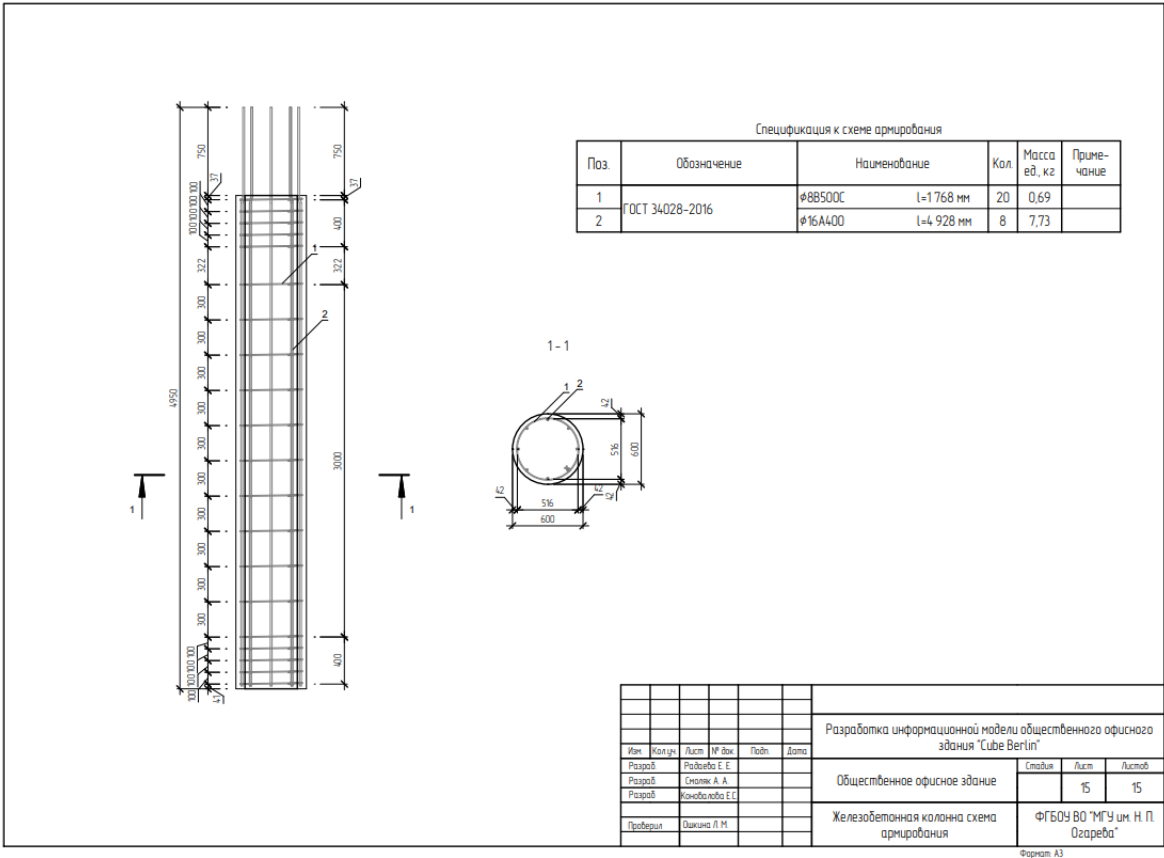


Рис. 7. Схема армирования железобетонной колонны.

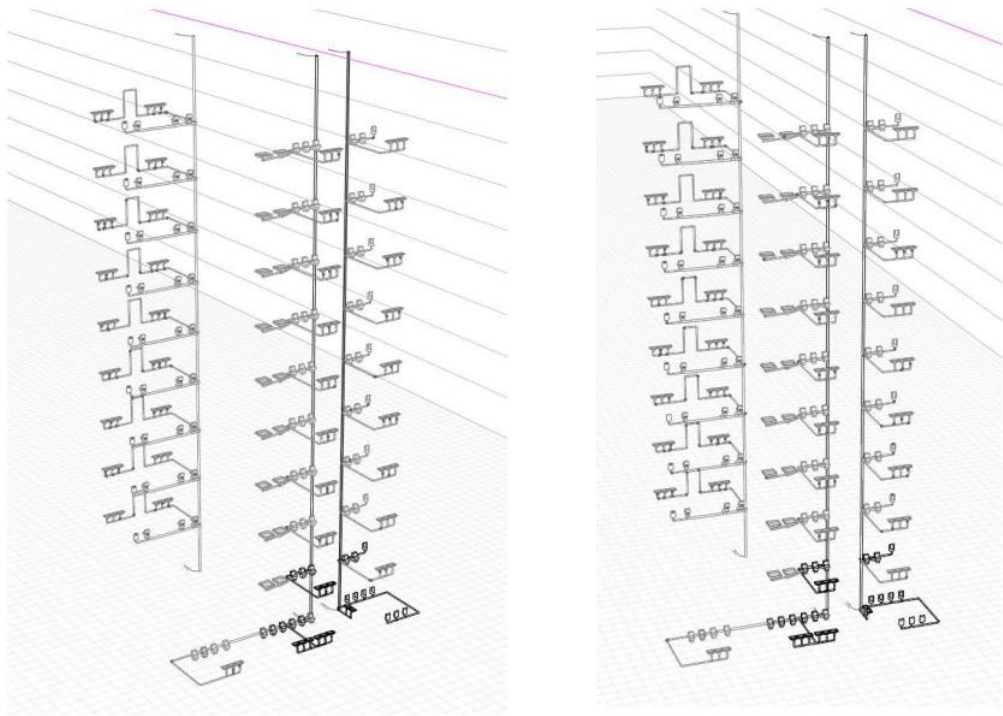


Рис. 8. Изометрия инженерной сети бытовой канализации.

Разработанный проект представлялся на Марафоне цифровых кафедр 2.0 среди вузов Поволжского федерального округа, который проводился 3 апреля 2024 года в городе Нижний Новгород [7].

В результате выполненной работы по проектированию офисного здания «Куб» в BIM-системе Renga можно заключить, что использование инструментов информационного моделирования позволило повысить скорость и качество проектирования, вывести его на новый технологический уровень, улучшить взаимодействие между участниками проекта. Мы уверены, что получаемые компетенции позволят выпускникам вузов значительно повысить уровень востребованности при устройстве на работу и обеспечат преимущества при прочих равных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования ИМ объектов на разных стадиях жизненного цикла. – М.: Стандартинформ, 2021. – 195 с.
2. 3XN completes glass faceted cube Berlin office in Washington Platz, Germany [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.stirworld.com/see-features-3xn-completes-glass-faceted-cube-berlin-office-in-washington-platz-germany> (дата обращения 12.05.2024).
3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2012. – 168 с.
4. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 102 с.
5. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2018. – 67 с.
6. СП 426.1325800.2018. Конструкции фасадные светопрозрачные зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2019. – 27 с.
7. Марафон цифровых кафедр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://events.innopolis.university/marathon_dd20 (дата обращения 12.05.2024).

**АВДОНИН В. В., КУЛЯСОВА Д. С.,
ОШКИНА Л. М., ПЕТАЙКИНА Е. В., СТРОКИН А. Е.
ОПЫТ ВЫПОЛНЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО ПРОЕКТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Renga**

Аннотация. В статье рассматривается актуальность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, вопросы государственного регулирования этого процесса в России. Содержится описание опыта реализации студенческого проекта в форме командной работы в рамках обучения по дополнительной профессиональной программе профессиональной переподготовки «Информационные технологии в строительстве». Рассматриваются основные принципы работы и инструментарий системы Renga российской компании Renga Software при создании информационной модели здания. Рассматривается реализация на практике возможности совместной работы специалистов разных направлений в процессе разработки проекта.

Ключевые слова: информационное моделирование, цифровизация строительной отрасли, Renga, командная работа, студенческий проект, профессиональный стандарт, ТИМ-специальности, инструменты, параметры и свойства.

**AVDONIN V. V., KULYASOVA D. S.,
OSHKINA L. M., PETAIKINA E. V., STROKIN A. E.
REnga INFORMATION TECHNOLOGY IN USE:
A STUDENT PROJECT EXPERIENCE**

Abstract. The article discusses the relevance of the introduction of information technology modeling in construction and some issues of state regulation of this process in Russia. The authors present the experience of implementing a student project in the form of teamwork as part of the specialized professional retraining program «Information Technology in Construction». The basic principles of operation and tools of the Renga system of the Russian company Renga Software when creating an information model of a building are considered. The authors describe the teamwork of specialists from different project groups in the process of project development.

Keywords: information modeling, digitalization of the construction industry, Renga, teamwork, student project, professional standard, TIM-specialties, tools, parameters and properties.

В зарубежной практике проектирования зданий и сооружений на государственном уровне принято обязательное использование информационных технологий. Информационное моделирование объектов капитального строительства, финансируемых с использованием государственных средств, например, в США было введено в 2003 году, а в

ряде европейских и азиатских стран активно вводилось в период с 2007 по 2010 гг. и продолжается до настоящего времени.

В соответствии с мировыми тенденциями в России в последние годы также наблюдается активное развитие технологий информационного моделирования (BIM или ТИМ-технологий). Одной из основных причин этого является необходимость в повышении эффективности строительной отрасли в целом, улучшении качества проектирования и строительства в частности, а также сокращении сроков и затрат на реализацию проектов. Крупные строительные компании и проектные организации уже активно используют ТИМ-моделирование для проектирования и управления строительством [1].

Внедрение технологий информационного моделирования в строительстве определено законодательно и проводится на государственном уровне. В распоряжении Правительства РФ № 3883-р от 27.12.2021 года «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года» перечислены основные этапы цифровизации строительной отрасли [2]. В связи с этим подготовка специалистов, владеющих новыми технологиями проектирования и моделирования зданий и сооружений, является в настоящее время актуальной задачей образования.

В Институте корпоративного обучения и непрерывного образования ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» в Центре цифровых компетенций реализуется дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки (ДПП ПП) «Информационные технологии в строительстве», базой которой является институт архитектуры и строительства. В рамках этой программы обучающиеся разрабатывают студенческий проект здания или сооружения с использованием информационных технологий моделирования. Формой реализации студенческого проекта определена командная работа, так как одним из ведущих принципов современных технологий является организация совместной работы специалистов разных проектных групп. При этом решаются задачи реализации практико-ориентированной профессиональной подготовки обучающихся [3]; получение обучающимися навыков работы в команде [4] и самоорганизации [5]; освоение принципов информационного моделирования зданий и сооружений, а также архитектурно-строительного проектирования по технологии ТИМ.

По заданию требовалось смоделировать объект, представленный на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид объекта проектирования.

Это здание детского сада, которое находится по адресу: Республика Мордовия, р.п. Комсомольский Чамзинского муниципального района, ул. Коммунистическая. Здание детского сада двухэтажное, в плане имеет многоугольную форму. Размеры в осях – $42,36 \times 21,52$ м, высота 10,25 м в верхней точке. Здание включает подвальный этаж с высотой помещения 2,500 м и два надземных этажа с высотой помещений по 3,000 м. За отметку +0,000 принят уровень пола первого этажа, соответствующий абсолютной отметке 198,50.

Профессиональный стандарт 16.151 «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве», утверждённый приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации 16.11.2020 г., предполагает наличие новых специальностей в области технологий информационного моделирования в проектных организациях [6]. К этим специальностям относятся ТИМ-мастер, ТИМ-исполнитель, ТИМ-координатор, ТИМ-менеджер и ТИМ-эксперт.

На предварительном этапе нашей работы для реализации принципов практико-ориентированной профессиональной подготовки [3] в нашей команде был выбран лидер, он же ТИМ-менеджер (с совмещением обязанностей ТИМ-координатора), ТИМ-исполнители, ТИМ-мастер, а также определены должностные обязанности каждого участника коллектива. ТИМ-менеджер в нашем коллективе являлся менеджером проекта, главным специалистом, руководил процессом формирования и разработки цифровой информационной модели объекта. ТИМ-исполнители являются непосредственными разработчиками различных частей информационной модели. ТИМ-мастер занимался формированием проектно-конструкторской документации и оформлением чертежей. Следует отметить, что распределение обязанностей не было достаточно жестким. Так как проект является учебным, то каждому участнику коллектива предоставлялась возможность поработать в разных должностях с возможностью исполнения различных обязанностей. Это позволило всем

членам команды познакомиться с широким функционалом информационного моделирования.

Для реализации проекта была выбрана отечественная система Renga компании Renga Software. Renga – это система для комплексного проектирования с необходимой функциональностью и интуитивно-понятным интерфейсом [7]. Программа предназначена для выполнения архитектурно-строительного и конструктивного разделов проекта, проектирования внутренних инженерных систем объекта строительства, а также для совместной работы и документирования результатов проектирования. Вся проектно-конструкторская документация, создаваемая в программе, полностью соответствует требованиям российских стандартов. Предполагается, что созданная информационная модель объекта строительства может использоваться на всем его жизненном цикле.

Работа с моделью в Renga может осуществляться на 3D Виде или 2D уровнях. Переход из одного пространства в другое выполняется без сложностей. Объект создается с помощью определенного набора инструментов, вынесенных на панель **Инструменты** рабочего окна интерфейса. Приёмы работы с инструментами на 3D Виде и 2D уровнях одинаковы. Размеры, которые задаются при создании модели здания, соответствуют его действительным размерам. Объекты на 2D уровнях отображаются проекциями модели или ее сечений, которые определяются положением секущей плоскости.

Создание сетки координационных осей было выполнено одним из ТИМ-исполнителей нашей команды на базовом уровне 3D Вида и представлено на рисунке 2.

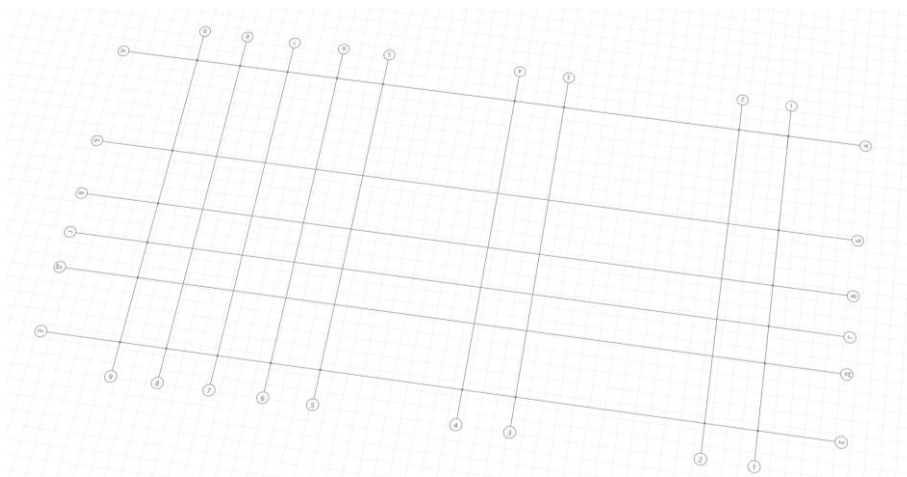


Рис. 2. Сетка координационных осей.

На следующем этапе создавались стены первого этажа, которые были построены с привязкой к координационным осям с помощью инструмента **Стена**. Наружные стены

запроектированы многослойными. На рисунке 3 представлена конструкция наружной стены, которая назначается в окне стиля **Многослойных материалов**.

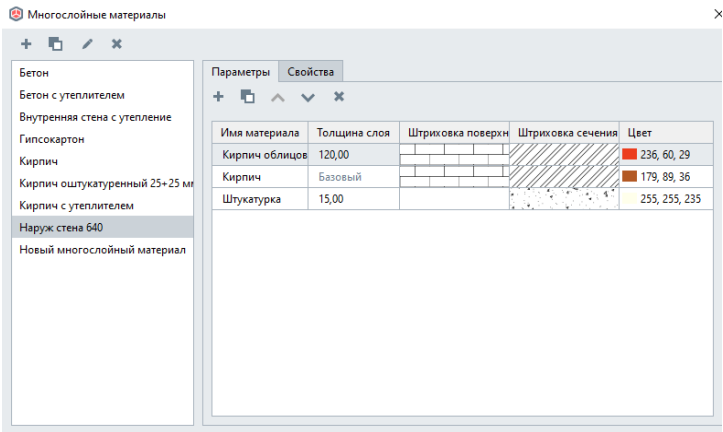


Рис. 3. Конструкция наружных стен.

На следующем этапе тот же ТИМ-исполнитель команды заполнил оконные и дверные проемы. Инструменты **Окно** и **Дверь** имеют первоначальные настройки параметров, предполагающие устройство пустых проёмов разной геометрической формы. Вместе с этим система предлагает выбор стиля заполнения проёмов из имеющегося перечня объектов, предполагающего выбор конструкции с разным количеством створок и полотен, с остеклением или без, с разными вариантами открывания (рисунок 4).

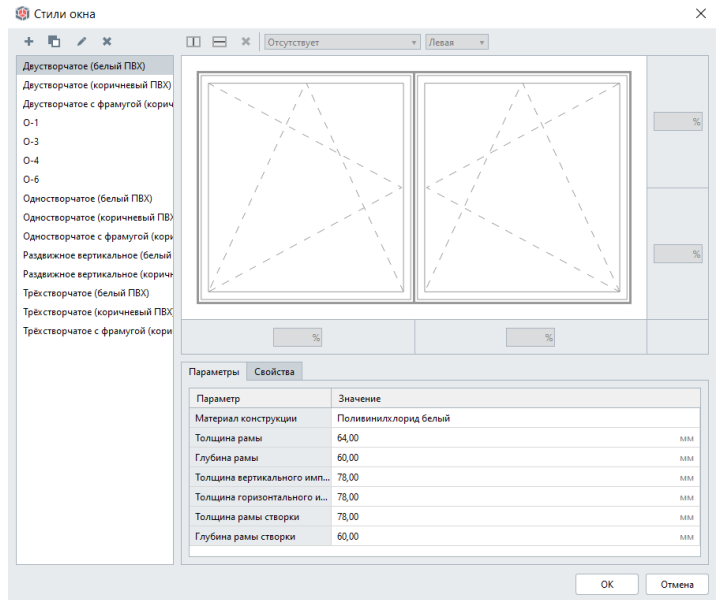


Рис. 4. Окно Стили окна.

На рисунке 5 представлен пример заполнения оконного проёма типовым стилем **Двухстворчатое (белый ПВХ)**. В системе стилей для окон и дверей могут быть созданы пользовательские конструкции заполнений.

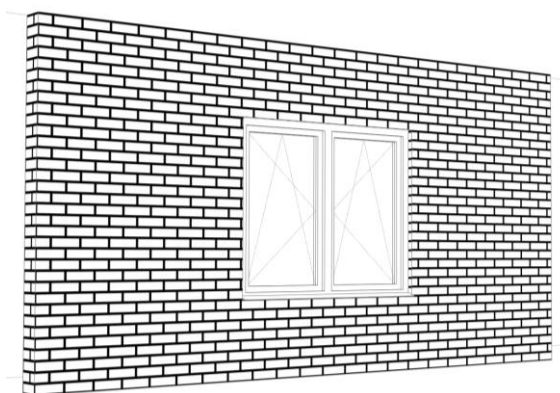


Рис. 5. Пример заполнения оконного проёма.

В кирпичных стенах над проёмами должны быть устроены перемычки. Эта задача была поставлена перед другим ТИМ-исполнителем нашей команды. Здесь следует отметить, что в системе Renga существует возможность использования типовых конструктивных элементов, которые загружаются из каталогов, размещенных на официальном сайте компании Renga Software [7]. Для официальных пользователей компания предоставляет эту услугу в свободном доступе. Мы решили воспользоваться такой возможностью и применить перемычки из каталога Renga 70_Сер 1.038.1-1_в.1 Перемычки жб брусковые.rnp. Аналогичным образом было создано междуэтажное перекрытие из плит марки ПБ, взятых из каталога Renga 70_Сер ИЖ 568-03_Плиты жб перекрытий.rnp. На рисунке 6 представлены фрагменты этих каталогов.

Раскладка перемычек и плит выполнялась вручную. Монолитные участки перекрытия запроектированы с помощью инструмента **Перекрытие** с заданием армирования.

Моделирование элементов лестничной клетки выполнялось с использованием инструментов **Лестница**, **Ограждение**. Междуэтажные площадки создавались с использованием инструмента **Перекрытие**. С использованием инструмента **Лестница** создаются крыльца у входных дверей.

На рисунке 7 представлена модель первого этажа проектируемого здания.

Для создания второго этажа используется инструмент **Уровень**, который доступен только при работе в трёхмерном пространстве модели. Копированием **Базового уровня** на высоту этажа ТИМ-исполнитель смоделировал второй этаж здания и удалил входные двери. Созданный уровень скопирован под именем **Базовый уровень**. Поэтому два имеющихся этажа далее необходимо переименовать. Это можно сделать, изменив имя уровня на

выделенном маркере этажа на 3D Виде или в панели **Параметры**, которая выводится при выделении соответствующего уровня. На рисунке 8 представлены два этажа проектируемого детского сада с частичным скрывтием наружных стен, выполненным для лучшего просмотра внутреннего пространства модели.

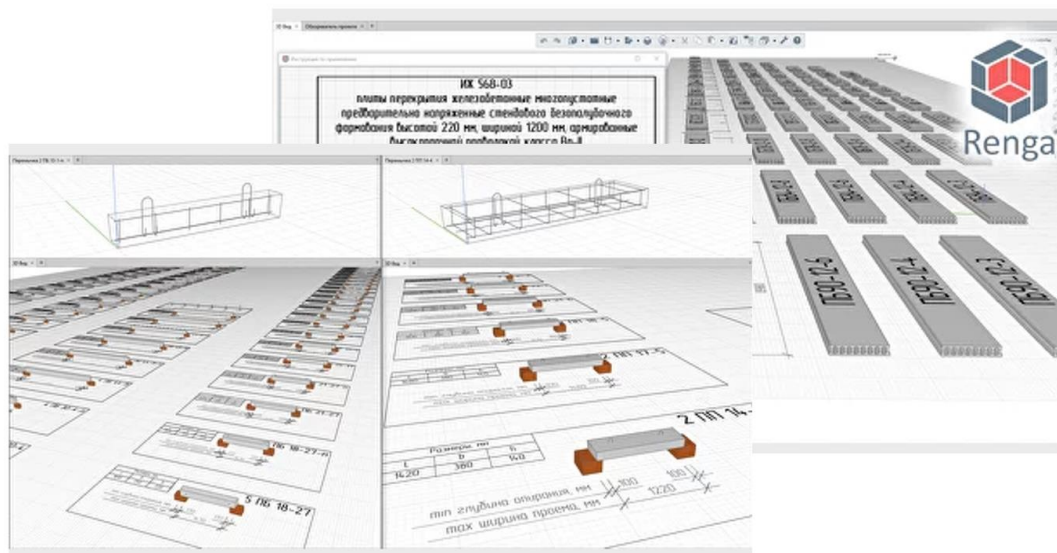


Рис. 6. Каталоги **Renga 70_Сер 1.038.1-1_v.1 Перекрышки жб брусковые.rnr** и **Renga 70_Сер ИЖ 568-03_Плиты жб перекрытий.rnr**.



Рис. 7. Первый этаж проектируемого детского сада.



Рис. 8. Два этажа проектируемого детского сада.

На следующем этапе работы было выполнено конструирование сборного ленточного фундамента. Для этого использовались блоки ФЛ из каталога Renga70_ГОСТ 13580-2021_ФЛ.rnp и блоки ФБС из каталога Renga70_ГОСТ 13579-2018_ФБС.rnp (рисунок 9).

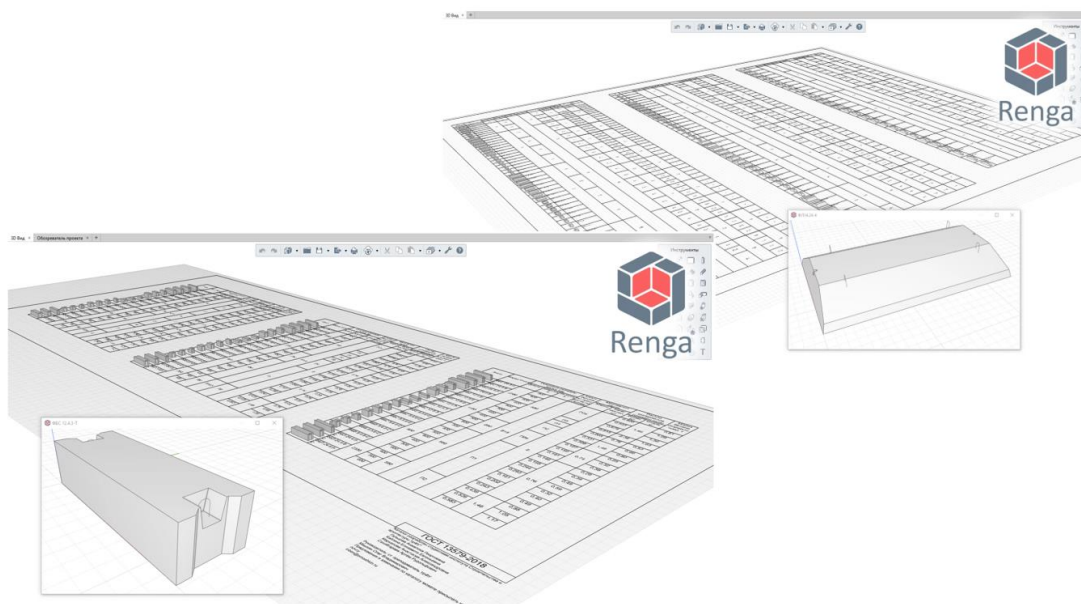


Рис. 9. Каталоги **Renga70_ГОСТ 13580-2021_ФЛ.rnp** и **Renga70_ГОСТ 13579-2018_ФБС.rnp**.

Раскладка блоков и плит фундамента выполнялась вручную. Монолитные участки запроектированы с помощью инструмента **Перекрытие** с заданием армирования. Результаты раскладки элементов фундамента представлены на рисунках 10 и 11.

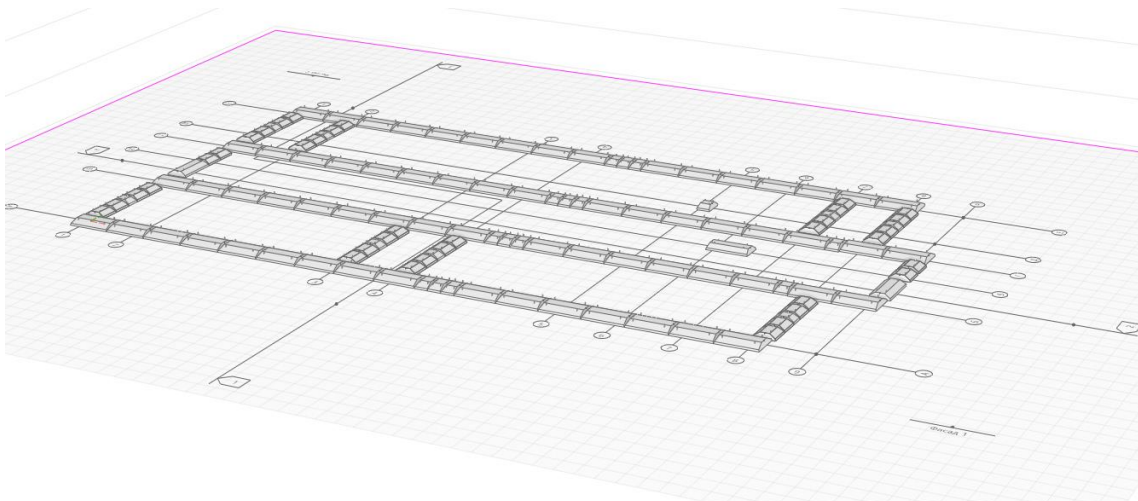


Рис. 10. Раскладка блоков ФЛ.

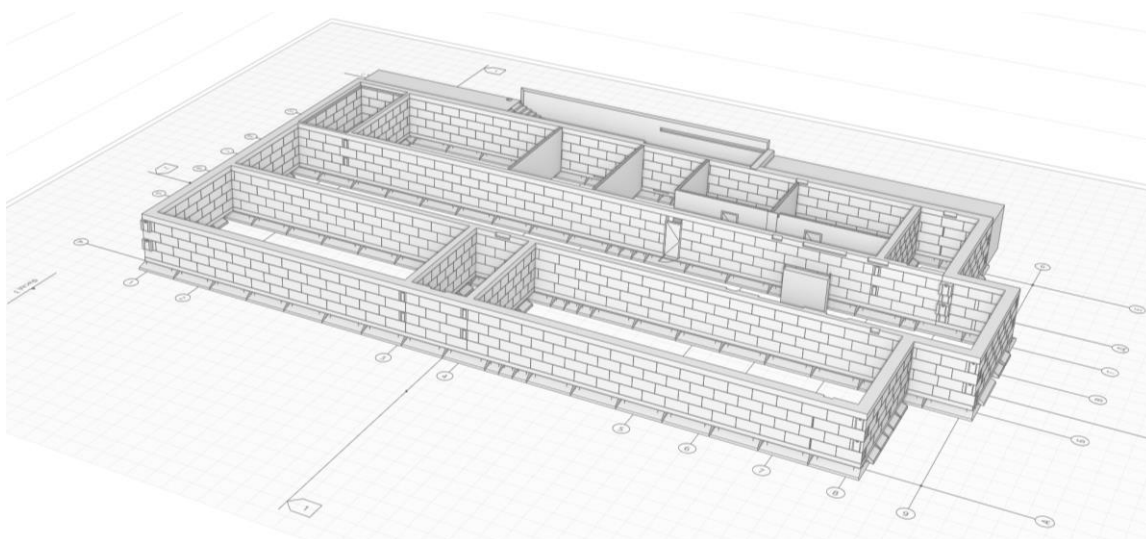


Рис. 11. Раскладка блоков ФБС.

На следующем этапе моделирования ТИМ-исполнитель создавал крышу детского сада, вход в подвал и другие конструктивные элементы здания, общий вид которого представлен на рисунке 12.



Рис. 12. Общий вид модели детского сада.

Для понимания принципов армирования железобетонных конструкций мы выполнили армирование некоторых элементов модели. Renga располагает функционалом автоматизированного армирования с широким набором арматурных стержней, сеток и каркасов. Армирование выполнялось для монолитных участков фундамента в автоматическом режиме. Ответственность за конструктивные решения была возложена на руководителя (ТИМ-менеджера) команды.

На завершающем этапе нашей работы ТИМ-мастер занимался оформлением проектно-конструкторской документации – оформлял чертежи, составлял спецификации. Основная часть этой работы выполняется автоматизированным образом путем снятия необходимой информации с созданной модели объекта. Так, например, чертежи планов этажей являются копией уровней, сгенерированных в **Обозревателе проекта** на стадии проектирования. Для получения фасадов достаточно правильно указать в 3D Виде положение точки зрения и задать направление взгляда. Количество разрезов ничем не ограничено и зависит только от положения секущей плоскости. Некоторые формы таблиц спецификаций в системе Renga заложены изначально и наполняются содержанием по мере внесения соответствующих элементов в проект. Так, например, система автоматически генерирует экспликации помещений при задании помещений на планах этажей, а спецификации заполнений оконных и дверных проемов заполняются автоматически при установке этих изделий в стены модели здания. На рисунке 13 представлены примеры чертежей планов, разрезов, фасадов, полученных на основе нашей модели.

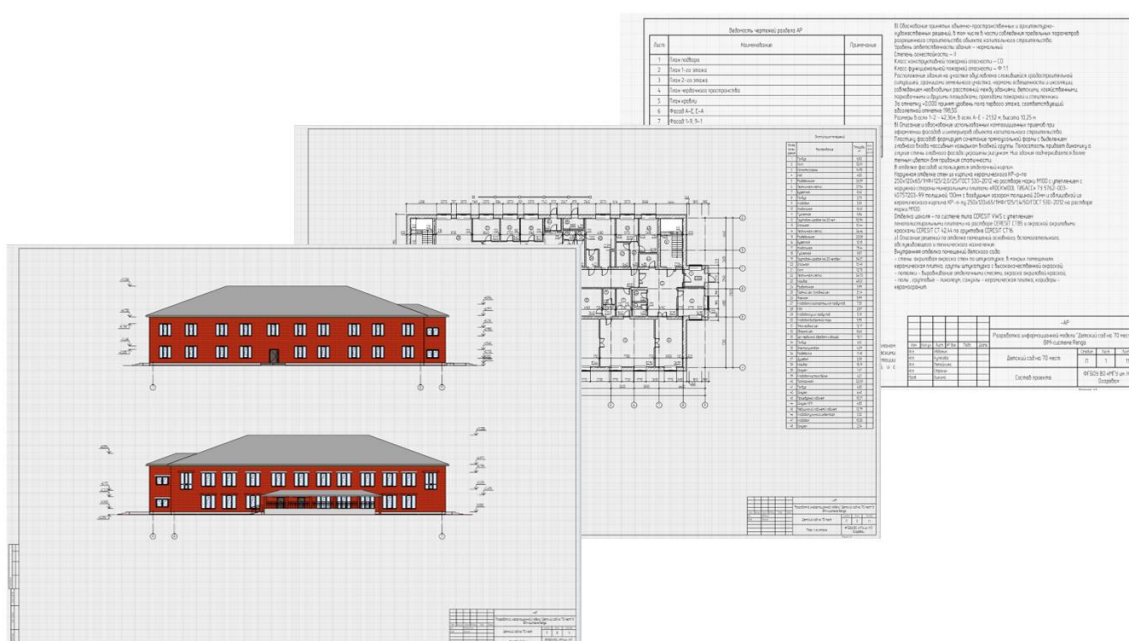


Рис. 13. Примеры чертежей.

На этом наш первый учебный проект был завершён. В результате выполненной командной работы по созданию информационной модели детского сада нам удалось не только познакомиться с основными инструментами и принципами работы системы информационного моделирования Renga, но и научиться взаимодействовать в условиях, приближенных к реальной работе в современной проектной организации. Работа в системе Renga нас заинтересовала и оставила желание погрузиться в нее более глубоко. Чтобы создавать модели зданий и сооружений в ней, нужно представлять весь строительный цикл полностью, а, соответственно, обладать достаточным багажом знаний по строительным дисциплинам. Очевидно, что знать и глубоко разбираться во всех разделах проекта одному специалисту не под силу. Полноценная и эффективная работа может быть осуществлена только группой компетентных проектировщиков, конструкторов и инженеров, каждый из которых отвечает за свою часть создаваемой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПИК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pik.ru> (дата обращения 15.05.2024).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 г. № 3883-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/138568/> (дата обращения 15.05.2024).
3. Машкин О. В., Карманова М. М., Терентьев М. М. Опыт выполнения командных проектов с использованием BIM-технологий в рамках проектного обучения // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры; материалы VI Международной научно-практической конференции / Под общей редакцией А. А. Семенова. – СПб., 2023. – С. 249–257.
4. Мищенко Е. С., Монастырев П. В., Евдокимцев О. В., Струлев С. А. Учет позиции работодателя при проектировании образовательных программ в области BIM-технологий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 2. – С. 106–115.
5. Garanina M. R. Project-Based Learning as a Driving Force of the Educational Process // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2021. – No. 76-2. – P. 35–37.
6. Профессиональные стандарты. Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=106137 (дата обращения 15.05.2024).

7. Renga [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rengabim.com> (дата обращения 15.05.2024).

АНТИПОВ А. С., УТКИНА В. Н.

РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения надежности строительных конструкций высотных зданий в чрезвычайных ситуациях. Приведены результаты исследования устойчивости монолитной конструктивной системы здания к прогрессирующему обрушению в ПК ЛИРА-САПР.

Ключевые слова: монолитная конструктивная система, высотное офисное здание, устойчивость, аварийные воздействия, прогрессирующее обрушение, расчет, анализ результатов.

ANTIPOV A. S., UTKINA V. N.

CALCULATION OF THE MONOLITHIC STRUCTURAL SYSTEM OF A HIGH-RISE BUILDING FOR STABILITY IN CASE OF EMERGENCY IMPACTS

Abstract. The article deals with the problem of ensuring the reliability of building structures of high-rise buildings in emergency situations. The results of a study of the stability of a monolithic structural system of a building to progressive collapse in LIRA-CAD software are presented.

Keywords: monolithic structural system, high-rise office building, stability, emergency impacts, progressive collapse, calculation, analysis of results.

При проектировании высотных жилых и общественных зданий необходимо обеспечить защиту конструктивной системы от прогрессирующего обрушения в случае аварийных воздействий. Этой проблеме уделяется особое внимание на нормативном уровне, так как разрушение уникальных и технически сложных объектов может привести к тяжелым социальным и экологическим последствиям, значительным экономическим потерям [1–8].

Цель работы – выполнить расчет монолитной конструктивной системы высотного офисного здания на устойчивость при аварийных воздействиях и анализ результатов.

Основные задачи:

- создать пространственную модель конструктивной системы здания, учитывающую взаимодействие с грунтовым основанием;
- выполнить общие расчеты модели в условиях нормальной эксплуатации на основные сочетания нагрузок;
- определить напряженно-деформированное состояние конструкций в случае локальных разрушений при особом сочетании нагрузок.

Проектируемое высотное здание предназначено для размещения офисов, имеет 33 надземных и 2 подземных этажа. Форма в плане симметричная, близка к кругу, максимальные размеры в осях 44,00×44,00 м. Высота здания до наивысшей отметки конструктивного элемента 125,10 м. По вертикали здание разделено на четыре пожарных отсека перекрытиями с пределом огнестойкости REI 240 и техническими этажами. Расположено в г. Екатеринбург. Ветровой район II, снеговой – III [9].

Согласно ГОСТ 27751-2014 класс сооружения КС-3 (особо опасные и технически сложные объекты), уровень ответственности – повышенный [1]. Несущие конструкции запроектированы в монолитном железобетоне. Конструктивная система здания каркасно-стенная. Несущими элементами являются стены ядра жесткости, колонны и диски перекрытий, которые при совместной работе обеспечивают геометрическую неизменяемость, общую и местную устойчивость и восприятие всех вертикальных и горизонтальных нагрузок. Функционально стены ядра жесткости являются внутренними стенами, стенами лестничных клеток и шахт лифтов. Колонны расположены регулярно в плане и по высоте здания.

Материалы и геометрические параметры конструкций, а также нагрузки определены в соответствии с нормативными документами [2; 6; 9]. Фундамент проектируется в виде сплошной монолитной железобетонной плиты толщиной 3000 мм из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В40. Колонны имеют сечения круглой формы диаметром 500 и 1000 мм, выполнены из тяжелого бетона классов В35 и В45. Наружные стены подвала и внутренние несущие стены толщиной 400 мм, а также стены диафрагм жесткости толщиной 600 мм – монолитные железобетонные из бетона класса В35. Плиты перекрытия плоские толщиной 220 мм и плита покрытия толщиной 300 мм – из бетона класса В30. Рабочая арматура всех конструкций – класса А400. Расстояние между колоннами не превышает 6,0 м.

Формирование пространственной модели конструктивной системы высотного здания и общий расчет методом конечных элементов на все виды воздействий с учетом совместной работы несущих конструкций, фундамента и основания выполнены в специализированном программном комплексе МОНОМАХ-САПР. Прочность и устойчивость здания при эксплуатационных нагрузках обеспечены. Результаты представлены в работе авторов [10].

Исследование конструктивной системы высотного здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению выполняется по методике, реализованной в ПК ЛИРА-САПР [11; 12]. Для этого производится импорт расчетной схемы здания, предварительно созданной в ПК МОНОМАХ-САПР. Информационная связь программных комплексов позволяет передать все данные об объекте: приложенные нагрузки, геометрические параметры и жесткостные характеристики элементов. Пространственная расчетная модель конструктивной системы здания представлена на рисунке 1.

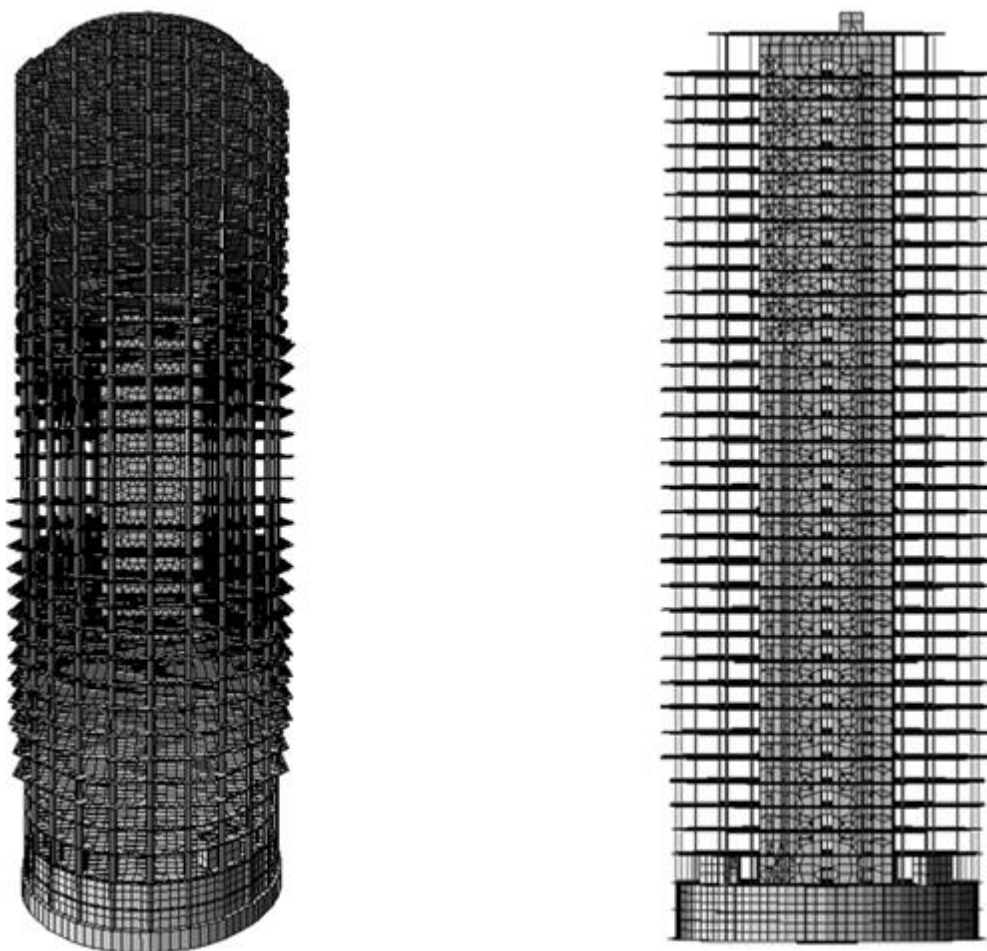


Рис. 1. Расчетная модель конструктивной системы высотного здания в ПК ЛИРА-САПР (3D-вид и проекция на плоскость XOZ).

Аналитическая модель конструктивной системы здания состоит из 49658 конечных элементов. Колонны имеют тип конечного элемента 10 (универсальный пространственный стержневой КЭ). Стены, плиты перекрытий и покрытия имеют типы конечных элементов 42 и 44 (универсальный треугольный и четырехугольный КЭ оболочки). Для учета физической нелинейности выбираются соответствующие типы конечных элементов (210 для колонн, 242 и 244 для плит перекрытий). Задаются параметры основного и армирующего материалов: законы нелинейного деформирования, классы бетона, модули упругости, предельные напряжения, расположение и площадь арматуры в сечениях элементов. Назначаем новые типы жесткости для колонн и плит перекрытий на всех уровнях здания.

Колонны имеют различные сечения, классы бетона и армирование. Формирование типов жесткости колонн производится с учетом унификации (таблица 1).

Для всех плит перекрытий толщиной 220 мм принята основная нижняя и верхняя непрерывная арматура $\varnothing 16$ с шагом 200×200 мм с дополнительным верхним армированием в местах расположения колонн.

Таблица 1

Параметры сечений колонн

Марка колонны	Диаметр сечения колонн, мм	Номера колонн	Класс бетона	Площадь сечения арматуры A_s , см ²	Процент армирования μ , %
1	2	3	4	6	7
K1	Ø1000	1_1 – 1_40, 2_1 – 2_40, 17_1 – 17_40, 18_1 – 18_40, 19_1 – 19_40, 20_1 – 20_40, 21_1 – 21_40, 22_1 – 22_40, 23_1 – 23_40, 24_1 – 24_40, 25_1 – 25_40, 26_1 – 26_40, 27_1 – 27_40, 28_1 – 28_40, 29_1 – 29_40, 30_1 – 30_40, 31_1 – 31_40, 32_1 – 32_40, 33_1 – 33_40, 34_1 – 34_40, 35_1 – 35_40, 36_1 – 36_16	B35	193,02 (24Ø32)	2,46
K2	Ø500	1_41 – 1_59, 2_41 – 2_59	B35	18,85 (6Ø20)	0,97
K3	Ø1000	3_1 – 3_40, 4_1 – 4_40, 5_1 – 5_40, 6_1 – 6_40, 7_1 – 7_40, 8_1 – 8_40, 9_1 – 9_40, 10_1 – 10_40, 11_1 – 11_40, 12_1 – 12_40, 13_1 – 13_40, 14_1 – 14_40, 15_1 – 15_40, 16_1 – 16_40	B45	193,02 (24Ø32)	2,46
K4	Ø500	3_41 – 3_59	B45	18,85 (6Ø20)	0,97

Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению производился в физически и геометрически нелинейной постановке при нормативных значениях нагрузок с учетом разрушения различных колонн. Рассматривались два нагружения: в первом учитывались постоянные нагрузки на конструкцию, во втором моделировалось прогрессирующее обрушение (разрушение колонны) с учетом коэффициента динамичности 1,1. Для этого к

верхнему узлу разрушенной колонны прикладывается нагрузка, составляющая 10% от усилия в этой колонне, возникающего при действии нагрузок из первого нагружения.

Стадии нагружений формируются в окне «Моделирование нелинейных нагружений конструкции» («Монтажная таблица»). Первая стадия включает все элементы конструкции; в нашем случае это монтируемые элементы 1 – 49658. Во второй стадии в поле «Демонтируемые элементы» добавляется номер удаляемой колонны. Кроме того, во второй стадии учитывается предыстория нагружений. Используемый метод расчета – простой шаговый, количество равномерных шагов – 10 [11].

Произведен расчет системы на устойчивость с учетом аварийного выхода из строя самой нагруженной колонны здания 1_30, а также колонн 1_1 и 1_28. Рассмотренные колонны находятся на нижнем подземном этаже (рисунок 2).

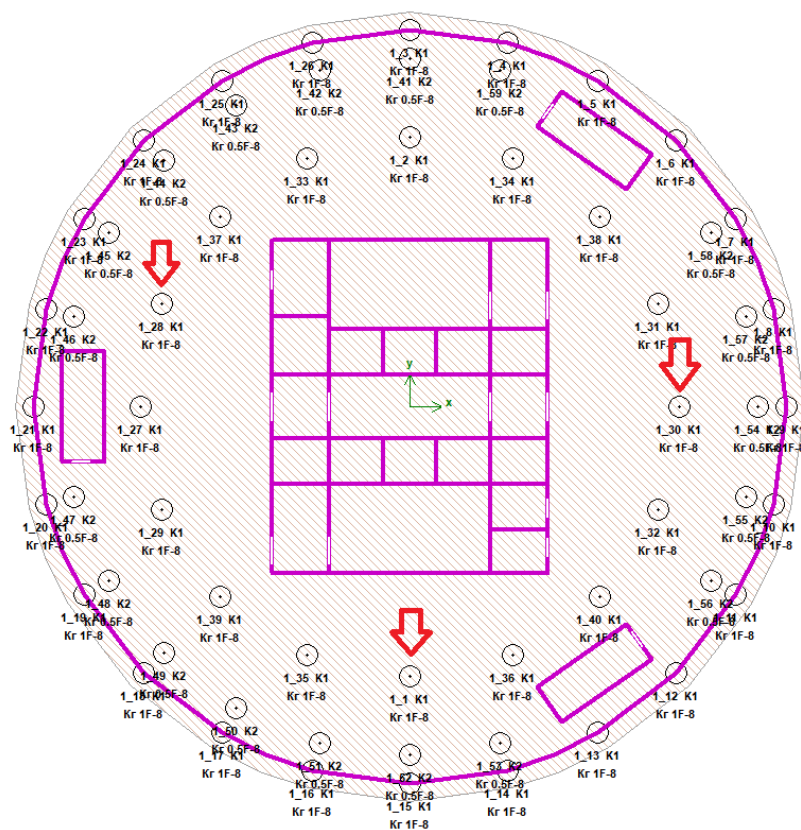


Рис. 2. Схема расположения колонн на -2-м этаже (отм. -8,300).

При удалении колонн, не предусмотренных проектом, конструктивная схема здания изменяется: увеличивается расстояние между колоннами, нагрузки с удаленной колонны перераспределяются на ближайшие колонны и стены пропорционально их новым грузовым площадям.

Нелинейный расчет модели позволяет определить усилия, напряжения и перемещения на каждом этапе приложения нагрузки, трещины в стенах и плитах, места образования пластических шарниров, а также получить информацию о разрушающихся элементах.

Расчеты показали, что по сравнению с первичной конструктивной системой при исключении указанных колонн коэффициент запаса общей устойчивости практически не изменяется. Происходит перераспределение усилий в конструкциях каркасно-монолитного здания, они «приспосабливаются» к новым условиям. Некоторые результаты расчетов первичной и вторичной систем после удаления колонн с номерами 1_30, 1_1 и 1_28 представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Перераспределение усилий в колоннах нижнего этажа

№ удаляемой колонны	№ соседней колонны	Усилие N, т		Увеличение усилий, %
		До удаления колонны	После удаления колонны	
1_30	1_31	-909,68	-1089,70	16,52
	1_32	-906,32	-1094,50	17,19
	1_57	-70,71	-94,13	24,88
	1_54	-133,98	-179,23	25,25
	1_55	-70,45	-94,18	25,20
	1_11	-263,06	-268,31	1,96
	1_9	-267,73	-297,79	10,09
	1_10	-269,44	-288,09	6,47
1_1	1_35	-785,00	-931,00	15,68
	1_36	-711,00	-848,00	16,16
	1_50	-69,20	-90,30	23,37
	1_52	-98,20	-139,00	29,35
	1_53	-58,80	-81,20	27,59
	1_17	-264,00	-281,00	6,05
	1_15	-261,00	-290,00	10,00
	1_14	-262,00	-278,00	5,76
1_28	1_37	-686,00	-815,00	15,83
	1_27	-908,00	-1063,20	14,60
	1_45	-60,80	-71,50	14,97
	1_46	-98,20	-139,00	29,35
	1_23	-265,00	-293,00	9,56
	1_22	-266,00	-293,00	9,22
	1_21	-257,00	-271,00	5,17
	1_20	-266,00	-270,00	1,48

Установлено, что при внезапном удалении наиболее нагруженных колонн нижнего этажа прогрессирующего обрушения не происходит. Конструктивная схема здания изменилась: вышестоящие колонны уже не являются опорами и «зависают» на перекрытиях, нагрузки перераспределились на ближайшие колонны пропорционально их новым грузовым площадям. При удалении самой нагруженной колонны 1_30 продольные сжимающие усилия в ближайших колоннах 1_31, 1_32 и 1_54 изменились на 16,5, 17,2 и 25,3% соответственно. Увеличение усилий в колоннах находится в рамках допустимых перегрузок при особых воздействиях.

В таблице 3 представлены результаты определения перемещений по оси Z в плитах перекрытий над -2-м, 17-м и 33-м этажами. Максимальное значение вертикального перемещения в области над удаленной колонной наблюдается в плите перекрытия 33-го этажа, минимальное – в плите перекрытия -2-го этажа.

Таблица 3

Перемещения в плитах перекрытий над удаленной колонной

№ удаленной колонны	Максимальное перемещение по оси Z, мм		
	Плита перекрытия над -2-м этажом	Плита перекрытия над 17-м этажом	Плита перекрытия над 33-м этажом
1_1	33,6	34,6	36,1
1_28	36,3	37,1	39,6
1_30	44,0	45,7	46,8

На рисунках 3 – 5 показаны изополя перемещений по оси Z при удалении наиболее нагруженной колонны под номером 1_30.

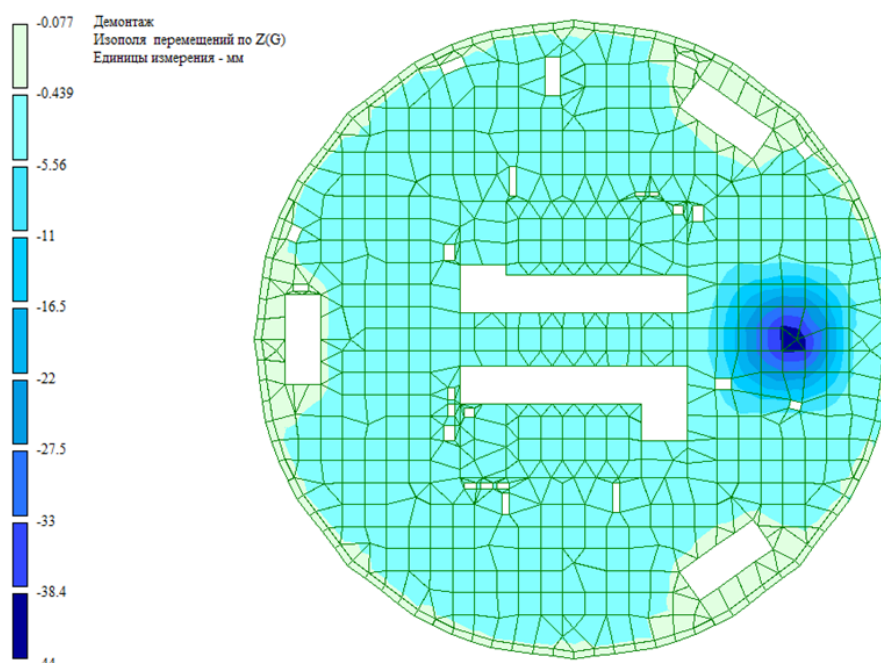


Рис. 3. Перемещения по оси Z в плите перекрытия над -2-м этажом (мм).

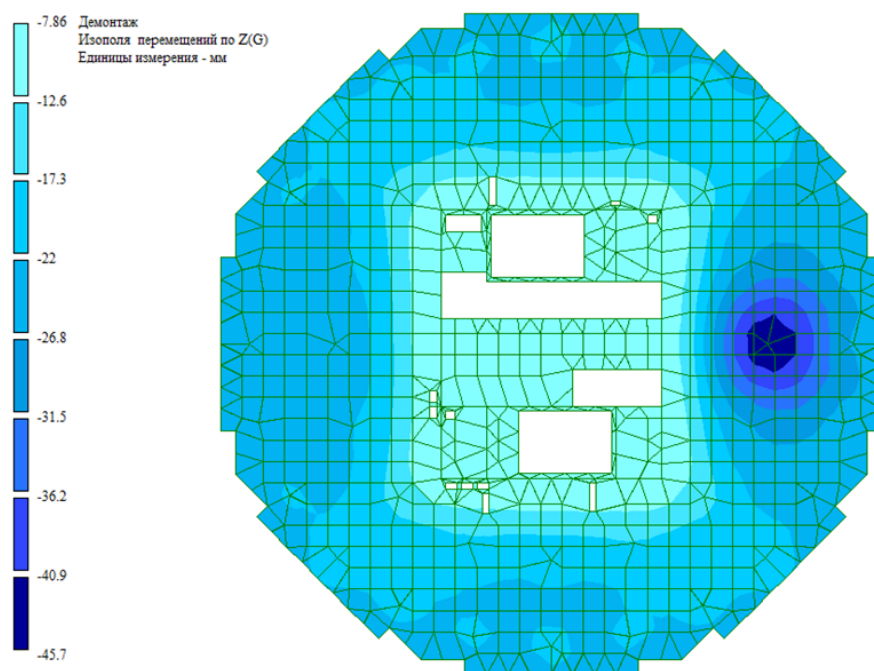


Рис.4. Перемещений по оси Z в плите перекрытия над 17-м этажом (мм).

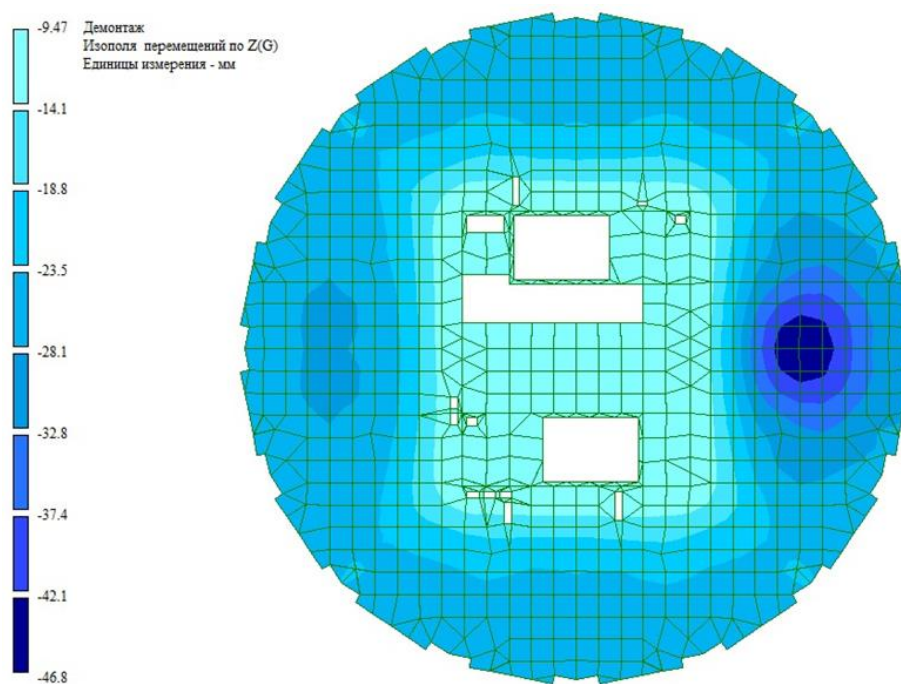


Рис. 5. Перемещения по оси Z в плите перекрытия над 33-м этажом (мм).

Сравнительный анализ перемещений в плитах непосредственно над удаленной колонной, над 17-м и 33-м этажами показал, что с ростом этажа площадь участка с максимальными перемещениями и экстремумы значений возрастают. Они равны 44,0, 45,7 и 46,8 мм соответственно.

На рисунке 6 представлены изополюс перемещений по оси Z для схемы здания на стадии 2. Наиболее наглядное отображение изменения перемещений дает проекция модели на

плоскость XOZ. Все перекрытия над удаленной колонной получили дополнительные прогибы. Они поменяли схему работы за счет мембранных усилий и также приспосабливаются к новой ситуации. Для обеспечения такой приспособляемости конструкций в проектных решениях предусматривается непрерывность верхней и нижней арматуры по всей области плиты, которая обеспечивает восприятие растягивающих усилий. Большие прогибы перекрытия и трещины нарушают эксплуатационные качества сооружения, но общая несущая способность сохраняется и прогрессирующего обрушения не происходит.

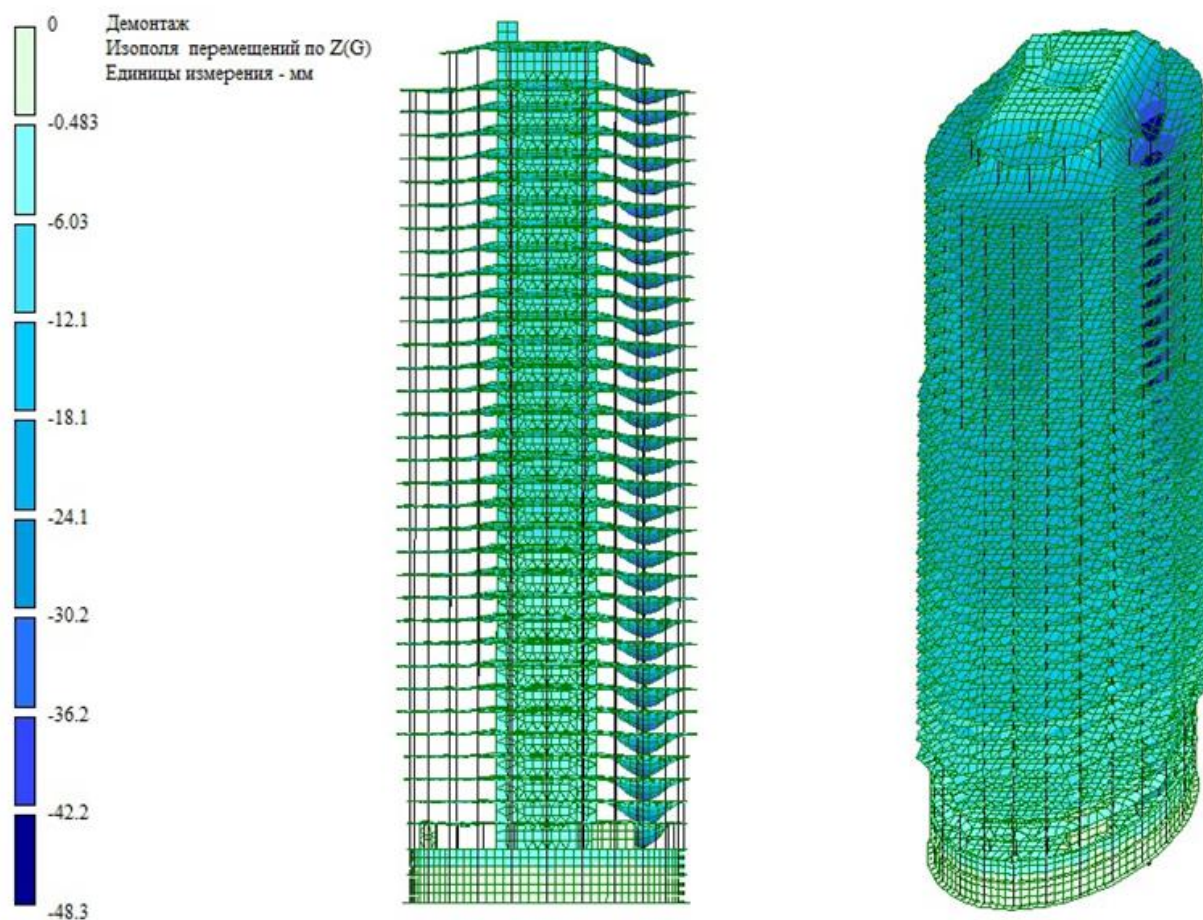


Рис. 6. Изополя перемещений по оси Z при удалении колонны 1_30, мм
(проекция на плоскость XOZ и 3D-вид здания).

Нормативные документы не устанавливают предельные значения прогибов и перемещений конструкции. Так как аварийная ситуация является маловероятной, а требуемая продолжительность обеспечения несущей способности сооружения ограничена, то допускаются большие перемещения и трещины. Расчет выполняется только по первому предельному состоянию [2–4].

Критериями разрушения конструкций могут быть: геометрическая изменяемость системы; лавинообразный рост деформаций и перемещений. В программном комплексе при этом выдается сообщение о разрушении конструкции и дальнейший расчет прекращается.

Выводы. Обеспечение защиты высотных каркасно-монолитных зданий от прогрессирующего обрушения при проектировании имеет огромное значение. В настоящее время эта проблема мало изучена из-за невозможности численно оценить аварийные нагрузки и непредсказуемости последствий разрушения. Применение современного подхода к решению данной проблемы с использованием уникальных возможностей различных программных комплексов позволяет выполнить сложные расчеты в нелинейной постановке, выявить дополнительные резервы несущей способности и оценить надежность конструктивной системы в условиях возникновения аварийных ситуаций. Такой подход можно успешно использовать для исследовательских задач, но в реальном проектировании строительных объектов не всегда применим. Для выполнения расчета в нелинейной постановке необходимо задавать арматуру во всех сечениях элементов, так как её наличие и расположение значительно влияет на напряженно-деформированное состояние конструкций. Процедура задания арматуры очень трудоемкая, требует большой подготовительной работы. Нелинейные расчеты теоретически должны быть проведены для каждого локального разрушения отдельно, т.е. необходимо по очереди удалять все колонны или другие конструкции здания. Если количество рассматриваемых вариантов становится значительным, предлагается использовать специальные режимы вариации расчетных моделей. В практике проектирования необходимы инженерные решения, не требующие детального анализа каждой конкретной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
2. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 122 с.
3. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2018. – 33 с.
4. СТО-008-02495342-2009 Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2009. – 21 с.
5. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2018. – 67 с.

6. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 168 с.
7. Уткина В. Н., Безрукова Е. С. Обеспечение устойчивости высотных зданий к прогрессирующему обрушению на стадии проектирования // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. (17–19 окт. 2018 г.). – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 196–201.
8. Уткина В. Н., Костева У. С., Ледайкин А. С. Исследование устойчивости конструкций каркасно-монолитного здания к прогрессирующему обрушению в ПК ЛИРА-САПР // Информационные технологии в архитектуре и строительстве. Материалы II Всероссийского научно-практического семинара «ВМ-технологии ALLPLAN в архитектуре и строительстве». – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. – С. 121–130.
9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Стандартинформ, 2016. – 95 с.
10. Уткина В. Н., Антипов А. С., Антипова Д. Р. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного монолитного здания с учетом нелинейных свойств железобетона [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2023. – №7. – Режим доступа: <https://journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-konstrukcij-vysotnogo-monolitnogo-zdaniya-s-uchetom-nelinejnyx-svojstv-zhelezobetona> (дата обращения 15.04.2024).
11. Водопьянов Р. Ю., Титок В. П., Артамонова А. Е., Ромашкина М. А. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Под редакцией академика РААСН А. С. Городецкого // Электронное издание, 2017. – 535 с. – Режим доступа: https://www.liraland.ru/public_private/lira/2017/LIRA_SAPR_2017_examples (дата обращения 15.04.2024).
12. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. – Киев: Изд-во «Сталь», 2014. – 301 с.

КОВШОВ А. О., НЕМОЙКИН А. А., УТКИНА В. Н.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИКАЛЬНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА В BIM-СИСТЕМЕ Renga

Аннотация. В статье рассматривается процесс создания цифровой модели многофункционального жилого комплекса с использованием российской BIM-системы Renga. Обоснован выбор программного обеспечения. Представлены основные этапы и результаты моделирования.

Ключевые слова: информационное моделирование, многофункциональный жилой комплекс, BIM-система Renga, объемно-планировочные решения, монолитная конструктивная система, железобетонные конструкции.

KOVSHOV A. O., NEMOYKIN A. A., UTKINA V. N.

INFORMATION MODELING OF UNIQUE MULTIFUNCTIONAL RESIDENTIAL COMPLEX IN Renga BIM SYSTEM

Abstract. The article discusses the process of creating a digital model of a multifunctional residential complex using the Russian Renga BIM system. The choice of software is justified. The main stages and results of modeling are presented.

Keywords: information modeling, multifunctional residential complex, Renga BIM system, spatial planning solutions, monolithic structural system, reinforced concrete structures.

В настоящее время в строительной отрасли Российской Федерации наблюдается заметный рост интереса к использованию технологии информационного моделирования (BIM), причем предпочтение отдается отечественным программным продуктам. Эта тенденция объясняется не только геополитической обстановкой и санкционными ограничениями со стороны западных стран, но и стремлением к развитию собственной инновационной инфраструктуры и цифровизации отрасли [1–5].

Выбор программного обеспечения для интеграции в рабочие процессы проектных организаций становится важным и сложным вопросом, учитывая многообразие решений на рынке и их постоянное обновление. При этом необходимо соблюдать баланс между функциональностью, совместимостью с отечественными стандартами и требованиями заказчиков, а также ценовой доступностью и удобством использования. Одним из самых популярных российских ПО для BIM-проектирования является Renga (Renga Software) [1].

Внедрение технологии информационного моделирования в строительной отрасли России играет ключевую роль в проведении сложных и масштабных проектировочных работ. Законодательные инициативы, в том числе постановление № 331 от 5 марта 2021 года,

обязывающее использовать BIM на объектах государственных заказов с 1 января 2022 года, свидетельствуют о постепенном, но неуклонном развитии данной области [1–4].

Применение информационного моделирования в строительстве способствует улучшению организации процессов, снижению производственных издержек и увеличению прибыли. Более того, использование BIM позволяет ускорить сроки выполнения работ и повысить их качество за счет более точного и эффективного взаимодействия всех участников процесса. Благодаря возможности визуального представления проекта в виде трехмерной модели, специалисты могут быстрее выявлять потенциальные проблемы и коллизии, что помогает сократить затраты на исправление ошибок и дополнительные работы. Кроме того, информационное моделирование способствует повышению прозрачности процессов, улучшению координации и управлению ресурсами, а также повышению эффективности производства [2; 4].

В последние годы российская нормативная база по информационному моделированию получила существенное развитие. Активно ведется разработка нормативных документов, призванных стандартизировать и регулировать процесс BIM-проектирования на всех его этапах. Среди наиболее важных документов можно выделить: СП 301.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами», СП 328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели», СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах», СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [6].

Цель данной работы: создание информационной модели уникального многофункционального жилого комплекса с использованием российской BIM-системы Renga. Основные задачи: обоснование выбора программного обеспечения; определение технологии формирования цифровой модели уникального комплекса; представление результатов моделирования.

Renga является инновационным решением в области BIM-проектирования, разработкой, развитием и продвижением которой активно занимается российская компания «Renga Software». Преимущество данного программного комплекса заключается, в частности, в его многооконном режиме, который делает процесс моделирования более удобным как в 2D, так и в 3D форматах. Интуитивно понятный интерфейс обеспечивает комфортную навигацию, а функционал «Обозревателя проекта» упрощает переход между окнами и рабочими листами.

Полученная документация полностью соответствует используемой в России нормативной базе [7].

Одним из преимуществ Renga является также возможность сохранения BIM-моделей в различных форматах, что способствует эффективному взаимодействию и параллельной работе участников проекта. Доступная цена на это отечественное программное обеспечение делает его весьма конкурентоспособным на рынке цифровых технологий для строительной отрасли.

Использование BIM-технологий, в том числе и через платформу Renga, позволяет значительно ускорить процесс проектирования и строительства, а также предотвратить возможные ошибки на различных этапах работ. В итоге это помогает повысить эффективность проектов, сократить затраты и обеспечить более качественный результат. Развитие и внедрение подобных инноваций в отечественной строительной отрасли способствует ее современному развитию и конкурентоспособности на мировом рынке.

Объект проектирования – уникальный многофункциональный жилой комплекс с подземной автостоянкой, состоящий из трех двухсекционных корпусов различной этажности, со встроенными нежилыми помещениями общественного назначения. Корпуса объединены на первом этаже центральным вестибюлем, а в подземной части – автостоянкой. Высота комплекса более 100 м. Максимальные габаритные размеры в наземной части – 133,00×110,00 м, в подземной – 167,20×116,90 м. Уровень ответственности: повышенный.

Здания расположены в виде трилистника, под углом в 120 градусов по отношению друг к другу. Центральный объем вестибюля имеет форму шестигранника, габаритные размеры в плане – 36,60×36,60 м, высота – 8,05 м. Встроенно-пристроенная, двухуровневая подземная автостоянка расположена под всеми корпусами и значительной частью участка. Корпуса 1, 2 и 3 запроектированы с квартирами «Бизнес» класса различного типа (от студии до двухуровневых пентхаузов), имеют 30, 49 и 39 этажей соответственно.

Высота зданий 1, 2, 3 – 109,30, 176,00, 143,45 м, размеры в плане – 19,30×51,00, 23,30×49,80, 21,00×51,30 м соответственно. Высота всех жилых помещений 3,45 м, первого этажа – 6,30 м, первого подземного этажа – 6,00 м, второго подземного этажа – 3,60 м.

Каждый корпус представляет собой единый конструктивный отсек, отделенный деформационным швом и опирающийся на фундамент в виде монолитного железобетонного ростверка на свайном основании. Конструктивная система зданий – каркасно-стенная с ядрами жесткости лестнично-лифтовых узлов. Все несущие конструкции – монолитные железобетонные. Вертикальные несущие элементы (стены и пилоны) жестко сопряжены с перекрытиями и покрытиями. Геометрические размеры сечений конструкций, а также

материалы приняты в соответствии с требованиями СП 267.1325800.2016 и СП 63.13330.2018 [8; 9].

Монолитный железобетонный ростверк толщиной 1500 мм выполняется из бетона класса В50, марки W6, F150 по ГОСТ 26633-12. Свайное сплошное равномерное поле – из набивных висячих свай Ø800 мм, бетон В30, W10, F300. Рабочая арматура для всех конструкций принимается класса А500С по ГОСТ Р 52544-2006. Несущие стены имеют переменную толщину (в зависимости от этажности): 200, 250, 300, 500, 600 мм; бетон В30, В35, В40, В45, В50 W4 F150. Для пилонов приняты различные сечения: 1650×500, 1600×500, 800×400 мм и др., бетон В45, В50 W4 F150. Плиты перекрытий и покрытия имеют толщину 200, 250 и 300 мм, бетон В30 W4 F150. Все несущие железобетонные конструкции имеют непрерывное армирование, что обеспечивает жесткость и устойчивость здания.

Процесс формирования информационной модели в BIM-системе Renga подразделяется на 2 этапа: подготовительный и основной. На этапе подготовки выполняется задание материалов, создание фильтров, координационных осей, задание форм и сечений объектов. Стандартного набора основных материалов зачастую достаточно для начала работы. Они уже существуют в программе, задаются лишь необходимые многослойные материалы [10].

Создание модели многофункционального жилого комплекса начинаем с подготовки рабочей плоскости и задания координационных осей. Построение выполняем в трехмерном пространстве отдельно для каждого здания, затем выполняем сборку общей модели комплекса. После размещения осей и задания материалов приступаем к созданию несущих и ограждающих конструкций с помощью соответствующих инструментов: «Стена», «Балка», «Перекрытие». При добавлении нового объекта в модель учитываются данные о его характерных точках и базовой линии, позволяющих выполнять точную привязку к осям.

Стены задаются при помощи одноименного инструмента. Расставляем стены и пилоны на этажах по соответствующим осям, осуществляя построение объектов при помощи привязок или динамического поля ввода. Базовые линии пересекающихся несущих стен доводим до точного совпадения в одной точке, а перегородки – до грани несущей стены. В построенных стенах задаем проемы, затем двери и окна с учетом действующих стандартов при помощи соответствующих инструментов «Дверь» и «Окно». Создаем лестничные пролеты, используя функции «Лестница».

Для моделирования плит перекрытий применяем инструмент «Перекрытие», назначаем необходимые параметры, такие как толщина, уровень, смещение по вертикали, материал. Линии для контура перекрытий должны быть замкнутыми и не иметь пересечений.

На рисунке 1 представлен пространственный вид первого этажа корпуса № 1.

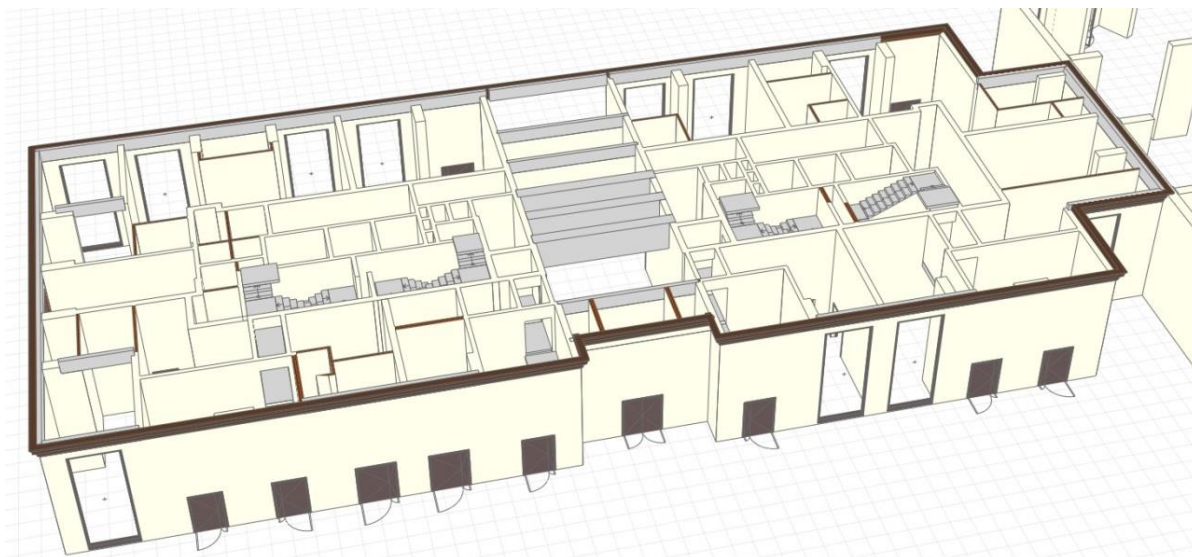


Рис. 1. 3D-модель первого этажа корпуса № 1.

Формирование остальных этажей выполняется аналогично, для автоматического создания типовых этажей здания используем функцию копирования. Для этого выделяем соответствующие объекты и перемещаем их на другой уровень. При необходимости вносим изменения и производим корректировку модели.

На рисунках 2 и 3 показаны пространственные виды корпуса № 1 (-2 – 5 этажи) и всего комплекса соответственно.



Рис. 2. 3D-модель корпуса № 1 (-2 – 5 этажи).



Рис. 3. 3D-модель проектируемого жилого комплекса (-2 – 5 этажи).

На рисунке 4 изображен верхний технический этаж корпуса № 1.



Рис. 4. Верхний технический этаж корпуса № 1.

Информационная модель многофункционального жилого комплекса представлена на рисунке 5. Она содержит архитектурные и конструктивные решения, которые служат основой объекта. Полученные результаты сохраняются в различных форматах, что дает возможность использования данных на всех стадиях коллективной работы над проектом.

Наглядную визуализацию трехмерной модели можно производить в специальных программах, имеющих более обширный список библиотеки объектов, материалов и функций для изображения пространства.

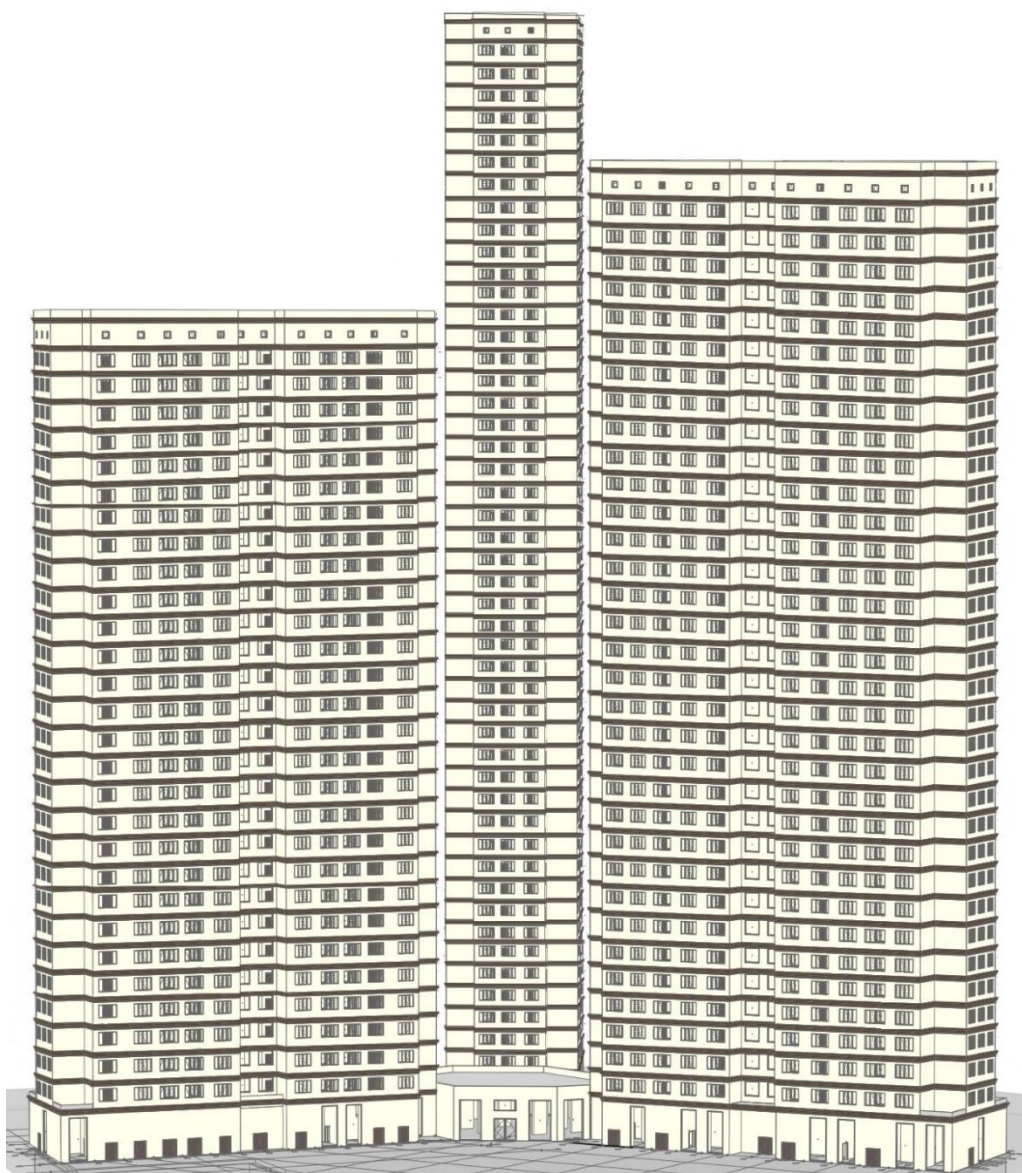


Рис. 5. Информационная модель многофункционального жилого комплекса.

Выводы. В BIM-системе Renga была разработана цифровая модель уникального многофункционального жилого комплекса, включающая конструктивные и объемно-планировочные решения, позволяющая автоматически представить информацию в виде плоских чертежей и различных пространственных изображений. Renga поддерживает гибкость изменений и дополнений полученной информационной модели, а также позволяет экспортировать данные в различные универсальные и специализированные программы для дальнейшего расчета, анализа и оптимизации проекта. Это способствует выбору наиболее эффективных конструктивных и инженерных решений и обеспечивает возможность детализации рабочей документации, необходимой для успешного строительства и дальнейшей эксплуатации уникального многофункционального жилого комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федухина Н. В., Астафьева Н. С. Сравнительный анализ российского программного обеспечения для информационного моделирования зданий и сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – СПб.: СПбГАСУ, 2023. – С. 389–394.
2. Фонтокина В. А., Савенко А. А., Самарский Е. Д. Роль BIM-технологий в организации и технологии строительства [Электронный ресурс] // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 1. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/06ECVN122.pdf> (дата обращения 25.04.2024).
3. Погосова Е. Б. Анализ особенностей программных комплексов, поддерживающих технологии информационного моделирования при проектировании зданий [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8300> (дата обращения 30.04.2024).
4. Машковцев И. Б. BIM-технологии в современном строительстве // Системные технологии. – 2022. – № 2(43). – С. 48–56.
5. Антипов А. С., Антипова Д. Р., Уткина В. Н. Информационное моделирование и проектирование многоэтажного жилого здания с использованием российского программного обеспечения [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2023. – № 7. – Режим доступа: <https://journal.mrsu.ru/arts/informacionnoe-modelirovanie-i-proektirovanie-mnogoetazhnogo-zhilogo-zdaniya-s-ispolzovaniem-rossijskogo-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения 30.04.2024).
6. Нормативные документы по информационному моделированию в России. ГОСТ и СП по BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rengabim.com/stati/normativnye-dokumenty-po-informacionnomu-modelirovaniyu-v-rossii-gost-i-sp-po-bim/> (дата обращения 30.04.2024).
7. Практическое руководство пользователя Renga [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manual.rengabim.com> (дата обращения 30.04.2024).
8. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 102 с.
9. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 150 с.

КАНАЕВА Н. С., НИЗИН Д. Р., НИЗИНА Т. А., СПИРИН И. П., ЧИБУЛАЕВ И. А.
ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ
СЕРИЙ ОБРАЗЦОВ НА РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ¹

Аннотация. В статье представлены результаты исследования процесса релаксации полимерных материалов на основе эпоксидного связующего Этал-247 в зависимости от уровня прикладываемого растягивающего напряжения и влажностного состояния серий образцов. Проведена аппроксимация кривых релаксации с помощью уравнения Кольрауша, рассчитаны числовые значения показателей в зависимости от уровня релаксирующего напряжения и влагосодержания серий образцов. Установлено, что наибольшей релаксационной устойчивостью характеризуются образцы состава Этал-247/Этал-1472, наименьшей – состава Этал-247/Этал-45TZ₂.

Ключевые слова: полимерные материалы, эпоксидное связующее, влажностное состояние, релаксация, уравнение Кольрауша, аппроксимация.

KANAEVA N. S., NIZIN D. R., NIZINA T. A., SPIRIN I. P., CHIBULAEV I. A.
INFLUENCE OF STRESS LEVEL AND HUMIDITY OF SERIES OF SAMPLES
ON RELAXATION CHARACTERISTICS OF EPOXY POLYMERS

Abstract. The article presents the results of a study of the relaxation process of polymer materials based on the epoxy binder Etal-247 depending on the level of applied tensile stress and the humidity state of a series of samples. The relaxation curves were approximated using the Kohlrausch equation, numerical values of the indicators were calculated depending on the level of relaxing stress and moisture content of the sample series. It was found that the samples of the composition Etal-247/Etal-1472 are characterized by the most relaxation stability and the samples of the composition Etal-247/Etal-45TZ₂ by the least relaxation stability.

Keywords: polymer materials, epoxy binder, humidity state, relaxation, Kohlrausch equation, approximation.

Из научной литературы известно [1–3], что объективно судить о механической работоспособности материала только по предельным прочностными и деформационными характеристикам не представляется возможным. В процессе эксплуатации изделия и покрытия

¹ Работа выполнена в рамках реализации Плана фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России на 2024 год (№3.1.2.2 «Продолжение исследований механизмов формирования обратимых и необратимых изменений свойств полимерных материалов в процессе натурального климатического старения»).

на полимерной основе работают при нагрузках и деформациях, существенно меньше предельных, что сопровождается развитием релаксационных процессов (снижение напряжений при постоянных деформациях или рост деформаций со временем при постоянных напряжениях). Именно эти процессы и определяют истинную механическую работоспособность материала.

Релаксация – это процесс структурной перестройки макромолекул полимера при переходе от одного равновесного состояния в другое под действием внешних условий. Известно [4], что релаксационные процессы в различных материалах протекают с разной скоростью – в жидкостях релаксация происходит гораздо быстрее, чем в твердых телах. Время релаксации – это то время, в течение которого напряжение падает в e раз от общего спада напряжения [5].

В данном исследовании для изучения процесса релаксации напряжений образцы полимеров на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемой различными отвердителями (Этал-45М, Этал-1472, Этал-45TZ₂), подвергались деформациям до уровня растягивающих напряжений 40, 60 и 80% от разрушающего, после чего уровень деформаций стабилизировался и фиксировалось снижение напряжения во времени. Для возможности последующего сравнения данных, фиксируемых для различных составов, уровень растягивающих напряжений округлялся до величины, кратной 2, 5 или 10 МПа (в зависимости от упруго-прочностных показателей и влажностного состояния серий образцов). Оценка влияния влажностного состояния полимеров на скорость протекания релаксационных процессов осуществлялась для образцов в трех различных влажностных состояниях – «без кондиционирования», «высушенные» и «влагонасыщенные» [6; 7]. Результаты исследования в виде графических зависимостей, формируемых по итогам проведенных исследований, представлены на рисунке 1 (серии «без кондиционирования» и «высушенные» при уровнях растягивающих напряжений 20 и 30 МПа соответственно).

Установлено, что наименее устойчивыми релаксационными характеристиками обладает полимер состава Этал-247/Этал-45TZ₂ – падение релаксирующего напряжения через 30 минут составляет 56 и 40%, соответственно, для уровней 20 (серия «без кондиционирования») и 30 МПа (серия «высушенные») соответственно. Релаксационные характеристики полимера, отверждаемого Этал-45М, показали независимость от влажностного состояния – падение релаксирующего напряжения составило около 35% в обоих случаях. Наибольшую релаксационную устойчивость продемонстрировали образцы полимера Этал-247/Этал-1472 – для представленных случаев падение релаксирующего напряжения составило 17÷20%.

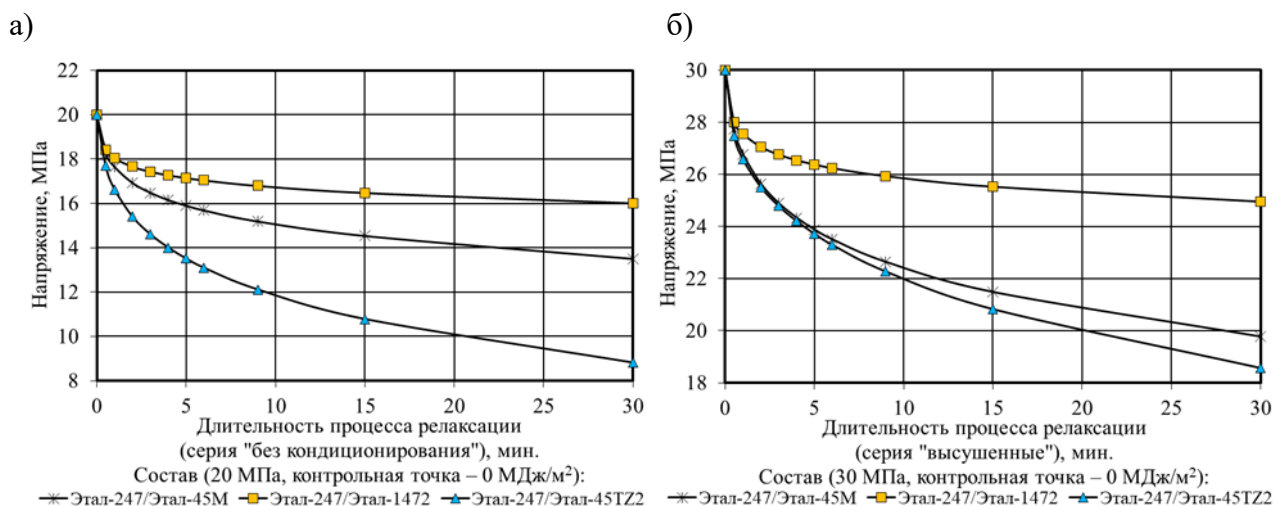


Рис. 1. Кривые релаксации напряжения эпоксидных полимеров зависимости от уровня прикладываемого напряжения и исследуемой серии:
а – 20 МПа, «без кондиционирования»; б – 30 МПа, «высушенные».

По результатам экспериментальных исследований проведен расчет релаксирующего модуля, а также аппроксимация релаксационных процессов с помощью уравнения Кольрауша

$$\sigma = \sigma_0 \times e^{-(t/\tau)^\theta}, \quad (1)$$

где σ_0 – напряжение в момент начала разгрузки, МПа; σ – напряжение в момент времени t , МПа; τ – время релаксации Кольрауша, мин.; θ – коэффициент, лежащий в интервале от 0 до 1.

Также при моделировании кривой релаксации с помощью уравнения Кольрауша проводят анализ напряжения σ_τ , соответствующего времени релаксации τ . Числовые значения параметров уравнения Кольрауша (1) и σ_τ , а также экспериментальные и предсказанные значения начальных (0,5 мин.) и конечных (30 мин.) релаксирующих напряжений для исследуемых полимеров приведены в таблицах 1 – 3.

В целом, числовые значения коэффициентов достоверности аппроксимации достигают достаточно высоких значений ($R^2 > 0,970$) при использовании уравнения Кольрауша для моделирования процесса релаксации исследуемых полимерных материалов на основе эпоксидных связующих. Из сравнения предсказанных и исходных значений релаксирующих напряжений следует, что ошибка аппроксимации для длительности релаксации 30 минут составляет не более 4% (состав №1), 2,5% (состав №2), 17% (состав №3).

Из анализа кривых изменения параметров θ и τ в зависимости от уровня прикладываемого напряжения, представленных на рисунке 2, видно, что в зависимости от используемого отвердителя и влажностного состояния образцов наблюдается существенное изменение исследуемых числовых показателей.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения Кольрауша (1), экспериментальные и предсказанные значения начальных (0,5 мин.) и конечных (30 мин.) релаксирующих напряжений для полимера состава Этал-247/Этал-45М

Уровень нагрузки, МПа	Параметры уравнения (1)				Экспериментальные значения		Предсказанное значение	
	θ	τ , мин.	σ_{τ} , МПа	R^2	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
серия «без кондиционирования»								
10	0,314	955,8	3,68	0,989	9,19	7,27	9,13	7,15
15	0,351	341,2	5,52	0,988	13,64	10,07	13,55	9,79
20	0,353	353,7	7,36	0,988	18,26	13,49	18,12	13,16
серия «высушенные»								
20	0,284	1036,5	7,36	0,994	17,97	14,05	17,86	13,89
25	0,374	253,5	9,20	0,984	22,91	16,51	22,70	15,95
30	0,403	213,9	11,04	0,986	27,73	19,76	27,52	19,08
серия «влагонасыщенные»								
10	0,304	1287,8	3,69	0,985	9,21	7,42	9,15	7,29
15	0,355	455,1	5,53	0,982	13,86	10,57	13,75	10,27
20	0,379	263,6	7,36	0,980	18,38	13,40	18,22	12,89

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения Кольрауша (1), экспериментальные и предсказанные значения (0,5 мин.) и конечных (30 мин.) релаксирующих напряжений для полимера состава Этал-247/Этал-1472

Уровень нагрузки, МПа	Параметры уравнения (1)				Экспериментальные значения		Предсказанное значение	
	θ	τ , мин.	σ_{τ} , МПа	R^2	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
серия «без кондиционирования»								
20	0,239	13352	7,36	0,989	18,43	16,01	18,34	15,86
30	0,311	2830,9	11,05	0,992	28,17	23,79	28,06	23,54
40	0,336	1160,3	14,72	0,981	37,40	30,53	37,16	29,86
серия «высушенные»								
30	0,238	30362	11,04	0,989	28,00	24,95	27,89	24,74
40	0,274	19021	14,73	0,984	37,99	34,08	37,86	33,74
50	0,308	6809,4	18,4	0,971	47,66	42,11	47,41	41,44
серия «влагонасыщенные»								
20	0,259	13361	7,36	0,992	18,71	16,42	18,64	16,29
30	0,271	9178,3	11,05	0,997	28,09	24,4	28,01	24,31
40	0,368	605,9	14,71	0,986	37,40	29,40	37,17	28,74

Выявлено повышение коэффициента θ и снижение времени релаксации Кольрауша τ при повышении уровня прикладываемого растягивающего напряжения. Исключением является состав Этал-247/Этал-45TZ₂, для которого параметры τ и θ для серий «без кондиционирования» и «влагонасыщенные» находятся приблизительно на одном уровне вне

зависимости от величины прикладываемых циклических напряжений. Так же необходимо отметить, что прогнозируемое время релаксации для исследуемых составов значительно отличается. В качестве примера рассмотрим значения параметра τ для начального уровня напряжения релаксации 20 МПа (таблицы 1 – 3). Для полимера состава Этал-247/Этал-45М при вышеуказанном уровне напряжений прогнозируемое время релаксации серий «без кондиционирования» и «влагонасыщенные» составляет, соответственно, 263,6 и 353,7 минут; для серии «высушенные» – почти в 3 и 4 раз выше (1036,5 минут).

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения Кольрауша (1), экспериментальные и предсказанные значения начальных (0,5 мин.) и конечных (30 мин.) релаксирующих напряжений для полимера состава Этал-247/Этал-45TZ₂

Уровень нагружения, МПа	Параметры уравнения (1)				Экспериментальные значения		Предсказанное значение	
	θ	τ , мин.	σ_τ , МПа	R^2	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{30} , МПа
серия «без кондиционирования»								
15	0,417	33,75	5,52	0,989	12,83	6,21	12,63	5,79
20	0,456	41,02	7,36	0,995	17,69	8,81	17,5	8,41
25	0,429	35,07	9,20	0,981	21,71	10,76	21,27	9,82
серия «высушенные»								
20	0,374	303,72	7,36	0,997	18,34	13,33	18,26	13,13
30	0,410	173,06	11,04	0,999	27,47	18,58	27,40	18,43
40	0,476	55,68	14,72	0,990	36,32	20,21	35,99	19,00
серия «влагонасыщенные»								
6	0,339	6,34	2,20	0,980	4,09	1,29	3,92	1,10
8	0,409	8,39	2,94	0,985	6,03	1,77	5,83	1,48
10	0,378	11,96	3,68	0,986	7,63	2,79	7,40	2,43

Для полимера Этал-247/Этал-1472 прогнозируемое время релаксации τ наибольшее из исследованных полимеров, составляющее для двух серий образцов («без кондиционирования» и «влагонасыщенные»), соответственно, 13352 и 13361 минут. Для серии «высушенные» экспериментальные исследования на уровне нагружения 20 МПа не проводились. Однако, судя по тенденции снижения времени релаксации для данного состава по близкой ($R^2 = 0,999$) к линейной зависимости (рисунок 2, г)

$$\tau = -1177,6 \times \sigma_H + 65835, \quad (2)$$

прогнозное значение τ (20 МПа) составит 42283 минуты, что в 3,2 раза выше, чем для серий «без кондиционирования» и «влагонасыщенные». Для полимера Этал-247/Этал-45TZ₂ параметр τ не превышает 45 минут для серий «без кондиционирования» и «влагонасыщенные» и примерно равен 300 минутам для серии «высушенные».

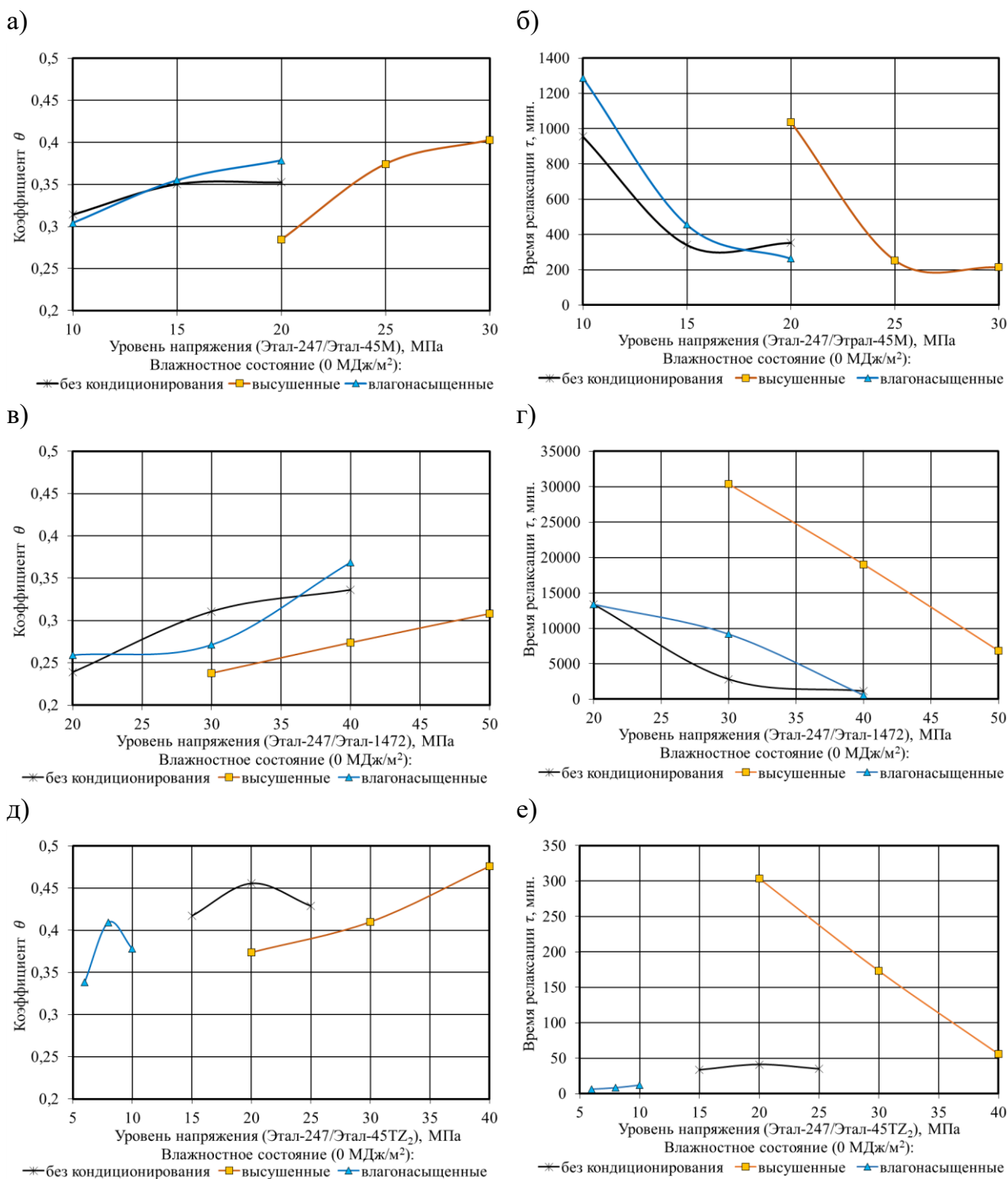


Рис. 2. Изменение параметров уравнения Кольрауша (1) θ (а, в, д) и τ (б, г, е) в зависимости от влажностного состояния и уровня прикладываемого напряжения для трех исследуемых составов (а, б – Этал-247/Этал-45М; в, г – Этал-247/Этал-1472); д, е – Этал-247/Этал-45ТЗ₂).

Выводы. В ходе исследования релаксационных процессов полимерных материалов установлено, что наибольшей релаксационной устойчивостью характеризуются образцы полимера Этал-247/Этал-1472, наименьшей – Этал-247/Этал-45ТЗ₂. Проведена аппроксимация кривых релаксации с помощью уравнения Кольрауша. Рассчитаны числовые

значения и построены графические значения изменения показателей уравнений Кольрауша (коэффициент θ , время релаксации τ , напряжение σ_τ) в зависимости от уровня релаксирующего напряжения и влагосодержания серий образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В. А., Шведкова А. К., Коренькова Т. Г., Кириллов В. Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натурных условиях // Труды ВИАМ. – 2013. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-polimernyh-konstruktsionnyh-materialov-pri-vozdeystvii-klimaticheskikh-faktorov-i-nagruzok-v-laboratornyh-i-naturnyh> (дата обращения 12.06.2024).
2. Аскадский А. А. Влияние химического строения на релаксационные свойства теплостойких ароматических полимеров // Успехи химии. – 1996. – Т. 65, Вып. 8. – С. 733–764.
3. Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. – М.: Химия, 1978. – 328 с.
4. Александров А. П. Собрание научных трудов: в 5 томах. Т. 1: Физика твердого тела. Физика полимеров / сост. П. А. Александров, Л. В. Кравченко, В. К. Попов; [отв. ред. Ж.И. Алферов]. – М.: Наука, 2006. – 333 с.
5. Аскадский А. А., Хохлов А. Р. Введение в физикохимию полимеров. – М.: Научный мир, 2009. – 384 с.
6. Канаева Н. С., Низин Д. Р., Низина Т. А. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 3. – С. 42–46.
7. Низина Т. А., Низин Д. Р., Спирин И. П., Канаева Н. С. Релаксационные характеристики полимеров на основе эпоксидных связующих // Полимеры в строительстве. – 2024. – № 1(12). – С. 55–57.

ЛУКЬЯНОВ Д. А., КУПРИЯШКИНА Л. И.

ВАРИАНТЫ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Аннотация. Изучены варианты свайных фундаментов. Проведен анализ конструктива свайного фундамента 18-этажного жилого здания. Выявлены преимущества и недостатки различных типов фундамента. Сделан вывод о наиболее подходящем варианте свайного фундамента для многоэтажного жилого дома.

Ключевые слова: свая, фундамент, модуль деформации, сосредоточенные и распределенные нагрузки, грунты, ростверк, пространственная жесткость, каркас.

LUKYANOV D. A., KUPRIYASHKINA L. I.

PILED FOUNDATION OPTIONS FOR MULTISTORY RESIDENTIAL BUILDING

Abstract. Options for piled foundations have been studied. An analysis of the structure of a piled foundation of an 18-storey residential building was carried out. The advantages and disadvantages of various types of foundations are revealed. A conclusion is made about the best option of a piled foundation for a multistory residential building.

Keywords: pile, foundation, deformation modulus, concentrated and distributed loads, soils, grillage, spatial rigidity, frame.

Фундамент – основополагающая часть любого здания или сооружения. От прочности фундамента зависит прочность и устойчивость всего здания, а также срок его службы. Есть несколько типов фундамента: ленточный, плитный, монолитный, свайный и т.д. В тех случаях, когда строительство ленточного, столбчатого или плитного основания невозможно по объективным причинам, например, на участках со склоном или перепадами по высоте, на нестабильных, влажных грунтах, в районах с регулярными подтоплениями или риском оползней используется свайный фундамент. Он состоит из отдельных свай, погруженных в почву, которые перекрыты сверху железобетонной или бетонной плитой. Свайный фундамент дорогой и трудоемкий в исполнении. Выбор свайного фундамента зависит от условий строительства и качественных характеристик грунта. Чаще всего данный тип фундамента используют при строительстве на слабых грунтах, где нужно возложить большую нагрузку, при этом вся нагрузка будет передаваться на более плотные грунты, которые залегают глубже.

Свайный фундамент 18-этажного жилого дома с железобетонным монолитным ростверком (рис. 1) выполнен из бетона класса В25 (марки по морозостойкости и по водонепроницаемости, соответственно, F200 и W6). Схема расположения свай представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Модель 18-этажного жилого дома.

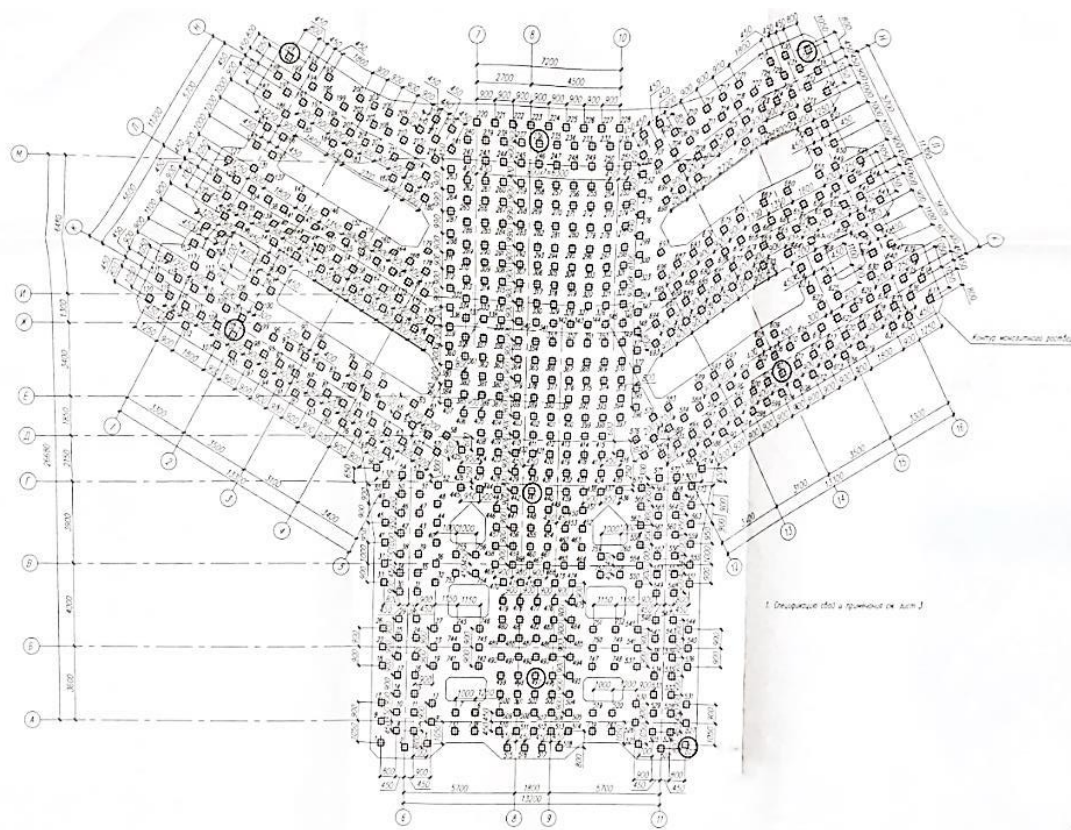


Рис. 2. Схема расположения свай.

Анализ существующей схемы расположения свай показал, что данный способ является достаточно материалоемким и трудоемким. Для того, чтобы уменьшить материало- и трудоемкость устройства свайного фундамента были рассмотрены другие варианты свайного фундамента для проектируемого здания. В частности, был предложен свайно-плитный фундамент (рис. 3), выполненный в виде свай, образующих кусты под колонны, и лент свай под диафрагмы жесткости каркасного здания. При устройстве монолитного железобетонного ростверка объединяют все сваи в кустах и ленты свай в единую жесткую пространственную систему, образуя проемы между кустами свай.

Подобное расположение свай обеспечивает более рациональную передачу сосредоточенных и распределенных нагрузок на фундаменты и основание от веса каркасных зданий с одновременным восприятием (при необходимости) сейсмических нагрузок конструкцией ростверка. Это позволяет снизить трудоемкость и материалоемкость решения по устройству фундаментов каркасных зданий, сохраняя пространственную жесткость конструкции и преимущества свайно-плитного фундамента, обеспечивая совместность деформаций элементов фундаментов [1].

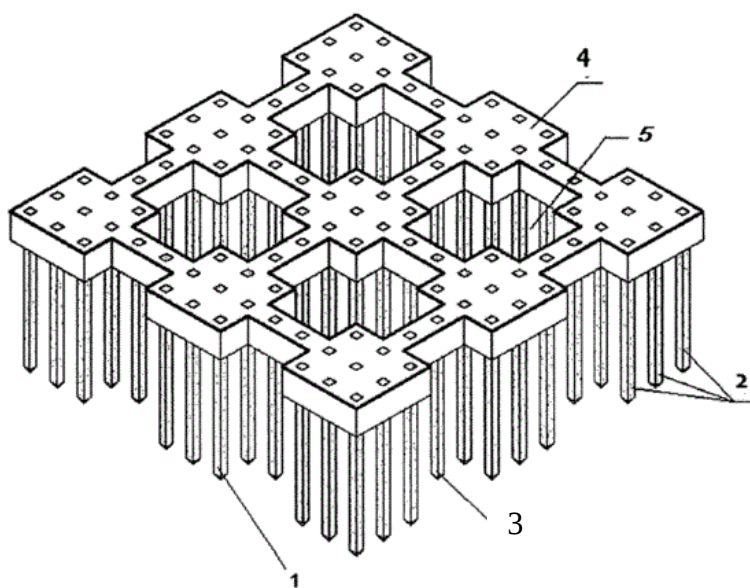


Рис. 3. Первый вариант свайно-плитного фундамента:
1 – свая; 2 – кусты под колонну; 3 – сваи ленты; 4 – железобетонный ростверк;
5 – проемы между кустами свай.

Возведение свайно-плитного фундамента предусматривает устройство свайного ростверка, имеющего вид плиты, где предполагается, что примерно 85% нагрузки на фундамент воспринимают сваи и примерно 15% приходится на плиту. Все здания и сооружения рассчитывают по второму предельному состоянию, т.е. на осадки. Если забивать или погружать сваи под все здание или сооружение, то сваи в середине поля будут не нужны и можно существенно сократить расход свай, если учесть, что сжимаемость под плитой

ростверка в средней части поля повысится за счет невозможности расширения грунта, нагруженного вертикальной нагрузкой и работающего в замкнутом пространстве. Величина осадки здания будет меньшей.

Во втором варианте последовательность способа возведения фундамента осуществляется следующим образом (рис. 4). Сначала подготавливают поверхность грунта на разную глубину для устройства отдельных частей свайно-плитного фундамента. Затем по периметру фундамента погружают сваи и возводят внешнюю часть плиты-ростверка, имеющую выступы кверху. Затем на подготовленной поверхности грунта возводят внутреннюю часть плиты комбинированного свайно-плитного фундамента с уступами книзу, которая в период строительства должна претерпеть осадку, равную $1/2$ осадки от допустимого значения для возводимого типа здания, объединившись при этом в процессе развития осадки с уступами внешней части плиты. После этого будет работать комбинированный свайно-плитный фундамент. При достижении осадки в процессе строительства внутренней частью плиты необходимо произвести объединение внешней и внутренней частей плиты-ростверка для обеспечения совместной работы конструкции. При этом грунт, находящийся внутри свайного контура, будет иметь измененные деформационные характеристики, что позволит снизить осадку единой свайно-плитной конструкции и, как следствие, уменьшить вертикальные перемещения всего возводимого сооружения [2].

Анализ рассматриваемых вариантов свайно-плитного фундамента позволил выявить преимущества и недостатки каждого типа фундамента. Расположение свай, рассмотренное в первом варианте, обеспечивает более рациональную передачу сосредоточенных и распределенных нагрузок на фундаменты и основание от веса каркасных зданий с одновременным восприятием нагрузок конструкцией ростверка. Это дает возможность возведения зданий в сейсмических районах, повысить эффективность передачи нагрузки на конструкции фундаментов, снизить материалоемкость и трудоемкость при устройстве фундаментов, но приводит к усложнению расчетов.

При устройстве комбинированных свайно-плитных фундаментов второго рассматриваемого варианта сваи погружаются только по периметру фундамента и создают огражденное пространство, чтобы при перемещении внутренней плиты-ростверка не происходило расширение грунта в стороны. Модуль деформации за счет этого в огороженной части повышается и уменьшается число свай, погружаемых при устройстве полей под все здание или сооружение. Но есть и недостатки данного варианта – в процессе строительства обеспечение равномерности осадок внутренней части плиты является труднодостижимой задачей, что приводит к высокой сложности при устройстве плиты-ростверка.

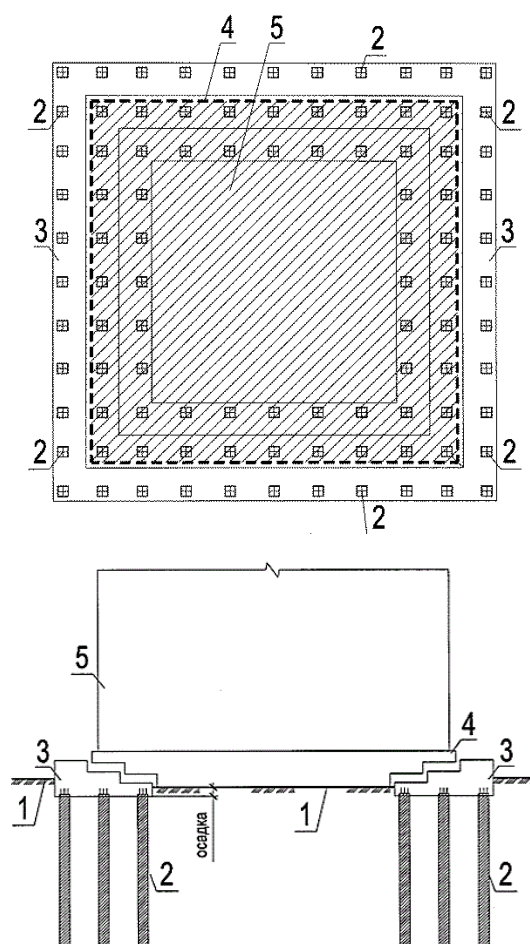


Рис. 4. Второй вариант свайно-плитного фундамента:
1 – поверхность грунта; 2 – сваи; 3 – внешняя часть плиты;
4 – внутренняя часть плиты; 5 – здание

Основными тенденциями современного строительства общественных и жилых зданий в крупных населённых пунктах является увеличение надземной и подземной частей здания. Такие тенденции требуют сооружения фундаментов повышенной жёсткости, которые будут способны выдержать нагрузки от конструкций сооружения и передать их в прочные слои грунтового массива. Из проведенного анализа установлено, что при возведении рассматриваемого 18-ти этажного жилого дома первый вариант является наиболее целесообразным, так как в отличие от второго варианта обеспечивается рациональное расположение свай, благодаря чему распределение нагрузок на фундамент и основание происходит равномерно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2548461 Российская Федерация, МПК Е 02 D 27/12 Способ возведения свайно-плитного фундамента / А. К. Шпетер, П. Н. Семенюк, В. В. Родевич, А. В. Матвеев; заявитель ООО «Стройтехинновации ТДСК». № 2013158581/03; заявл. 27.12.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. – 8 с.

2. Пат. 2379425 Российская Федерация, МПК E 02 D 27/12 Способ возведения свайно-плитного фундамента / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель ФГБУ ВО Кубанский государственный аграрный университет. № 2008133434/03; заявл. 14.08.20008; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2. – 7 с.

**НИЗИН Д. Р., НИЗИНА Т. А., ПИВКИН Н. А., СПИРИН И. П., ЧИБУЛАЕВ И. А.
ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ¹**

Аннотация. Представлены результаты исследования изменения сорбционных и упруго-прочностных характеристик полимерных образцов на основе модифицированной эпоксидной смолы и отвердителей различных видов в условиях натурального климатического старения. Установлено влияние длительности экспонирования на изменение характера зависимости предела прочности при растяжении и относительного удлинения при максимальной нагрузке. Проанализировано влияние сорбированной влаги на изменение упруго-прочностных свойств эпоксидных полимеров.

Ключевые слова: эпоксидные полимеры, натурное климатическое старение, влагосодержание, высушенное и влагонасыщенное состояния.

**NIZIN D. R., NIZINA T. A., PIVKIN N. A., SPIRIN I. P., CHIBULAEV I. A.
THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE CLIMATIC RESISTANCE
OF POLYMER MATERIALS**

Abstract. The article provides the results of studying changes in the sorption and elastic-strength characteristics of polymer samples based on modified epoxy resin and various types of hardeners exposed to field climatic ageing. The effect of the exposure time on the change in the dependence of tensile strength and relative elongation at maximum load was established. The authors analyzed the effect of sorbed moisture on the change in elastic-strength properties of epoxy polymers.

Keywords: epoxy polymers, field climatic ageing, moisture content, dried and moisture saturated states.

Климатическое воздействие, представляя собой самую распространенную агрессивную среду, требует достоверных и воспроизводимых методов оценки стойкости строительных материалов, изделий и конструкций, в то числе на полимерной основе [1–3]. Наряду с температурой и интенсивностью актинометрических воздействий, наиболее значимыми климатическими факторами, оказывающими влияние на свойства полимерных композитов в процессе эксплуатации, являются влажность окружающего воздуха, а также интенсивность атмосферных осадков [4–7]. Сорбируемая полимерными композитами влага активизирует процессы структурной релаксации, оказывает частично обратимое пластифицирующее

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00206, <https://rscf.ru/project/22-79-00206/>.

воздействие, а также участвует в реакциях гидролиза и доотверждения [8]. В естественных климатических условиях эксплуатации предельное влагонасыщение полимерного материала практически не достигается вследствие нестабильности самого климатического воздействия, присутствия конкурирующих процессов сушки и десорбции влаги, изменения атмосферного давления и т.д. Однако необходимость учета влияния влагосодержания полимеров, в том числе в их предельных равновесно-влажностных состояниях (высушенном и влагонасыщенном), крайне важна для понимания работы полимеров в натурных климатических условиях.

В качестве объектов исследования выступали образцы полимерных материалов на основе модифицированной эпоксидной смолы Этал-247 (ТУ 2257-247-18826195-07) и трех отвердителей производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ» – Этал-45М, Этал-1472, Этал-45TZ₂. Эпоксидная смола Этал-247 представляет собой низковязкую модифицированную смолу с вязкостью по Брукфильду при 25 °С 650÷750 СПз. Массовая доля эпоксидных групп для Этал-247 составляет не менее 21,4÷22,8 %, вязкость по Брукфильду при 25 °С – 650÷750 СПз. Этал-1472 представляет собой отвердитель аминного типа; Этал-45TZ₂ – полиамидного типа; Этал-45М – смесь ароматических и алифатических ди- или полиаминов, модифицированную салициловой кислотой.

Экспонирование образцов проводилось на испытательных стендах научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва (г. Саранск, умеренно континентальный климат) [3; 9]. Механические испытания образцов эпоксидных полимеров осуществлялись через 2, 5, 10 и 18 месяцев от начала натурного экспонирования. Испытания образцов исследуемых полимеров на растяжение проводили с помощью разрывной машины серии AGS–X с программным обеспечением TRAPEZIUM X при температуре 23±2 °С и относительной влажности воздуха 50±5% согласно требованиям ГОСТ 11262-2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение». Прочностные и деформативные характеристики образцов исследуемых полимеров определяли в трех различных влажностных состояниях – равновесно-влажностном (сразу после снятия с испытательной площадки и контроля массы), высушенном и влагонасыщенном. Сушка образцов осуществлялась при температуре 60±2 °С, увлажнение – в эксикаторах над водой при температуре 23±2 °С в соответствии с ГОСТ Р 56762-2015 «Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния».

Количественные значения влагосодержания образцов эпоксидных полимеров в равновесно-влажностном и влагонасыщенном состояниях в зависимости от длительности натурного экспонирования в условиях умеренно континентального климата приведены в

таблице 1. Установлено, что наибольшее значение предельного влагонасыщения (вне зависимости от длительности экспонирования), достигающее $3,686 \div 5,088$ % по массе, зафиксировано для образцов на основе полиамидного отвердителя Этал-45TZ₂. При этом для образцов на основе исследуемых отвердителей аминного типа предельное влагонасыщение образцов как в контрольном состоянии, так и после экспонирования не превышает 2,5% по массе.

Таблица 1

**Среднее влагосодержание полимерных образцов исследуемых составов
в зависимости от длительности натурального экспонирования
в равновесно-влажностном и влагонасыщенном состояниях, % по массе**

Вид отвердителя	Длительность натурального экспонирования, мес.				
	0	2	5	10	18
равновесно-влажностное состояние / влагонасыщенное состояние					
Этал-45М	<u>0,804</u> 2,414	<u>0,673</u> 2,100	<u>0,691</u> 2,464	<u>1,087</u> 2,124	<u>0,796</u> 2,169
Этал-1472	<u>0,689</u> 2,164	<u>0,681</u> 1,970	<u>0,641</u> 2,424	<u>0,903</u> 1,960	<u>0,616</u> 2,147
Этал-45TZ ₂	<u>1,494</u> 5,088	<u>0,890</u> 3,686	<u>0,884</u> 4,607	<u>1,583</u> 4,201	<u>1,010</u> 4,471

Согласно полученным данным, натурное климатическое старение эпоксидных полимеров в большинстве случаев сопровождается снижением предельного значения влагонасыщения образцов. При этом, максимальное снижение значения предельного влагонасыщения варьируется от 9% для состава на основе отвердителя Этал-1472 до 27% для состава на основе Этал-45TZ₂. В качестве возможной причины снижения уровня предельного влагонасыщения образцов исследуемых составов можно рассматривать необратимую потерю массы образцов.

На основе анализа результатов изменения предела прочности образцов исследуемых составов в высушенном, влагонасыщенном и равновесно-влажностном состояниях в зависимости от длительности натурального экспонирования установлено (рис. 1, а, в, д), что в контрольном состоянии для всех составов наблюдается непрерывное снижение механической прочности в зависимости от влагосодержания. Однако, для ряда составов для сроков экспонирования свыше 10 месяцев наблюдается изменение характера зависимости предела прочности при растяжении образцов от их влагосодержания. Так, механическая прочность образцов в высушенном и влагонасыщенном состояниях оказывается меньше аналогичного показателя в равновесно-влажностном состоянии для составов на основе отвердителей Этал-45М и Этал-45TZ₂.

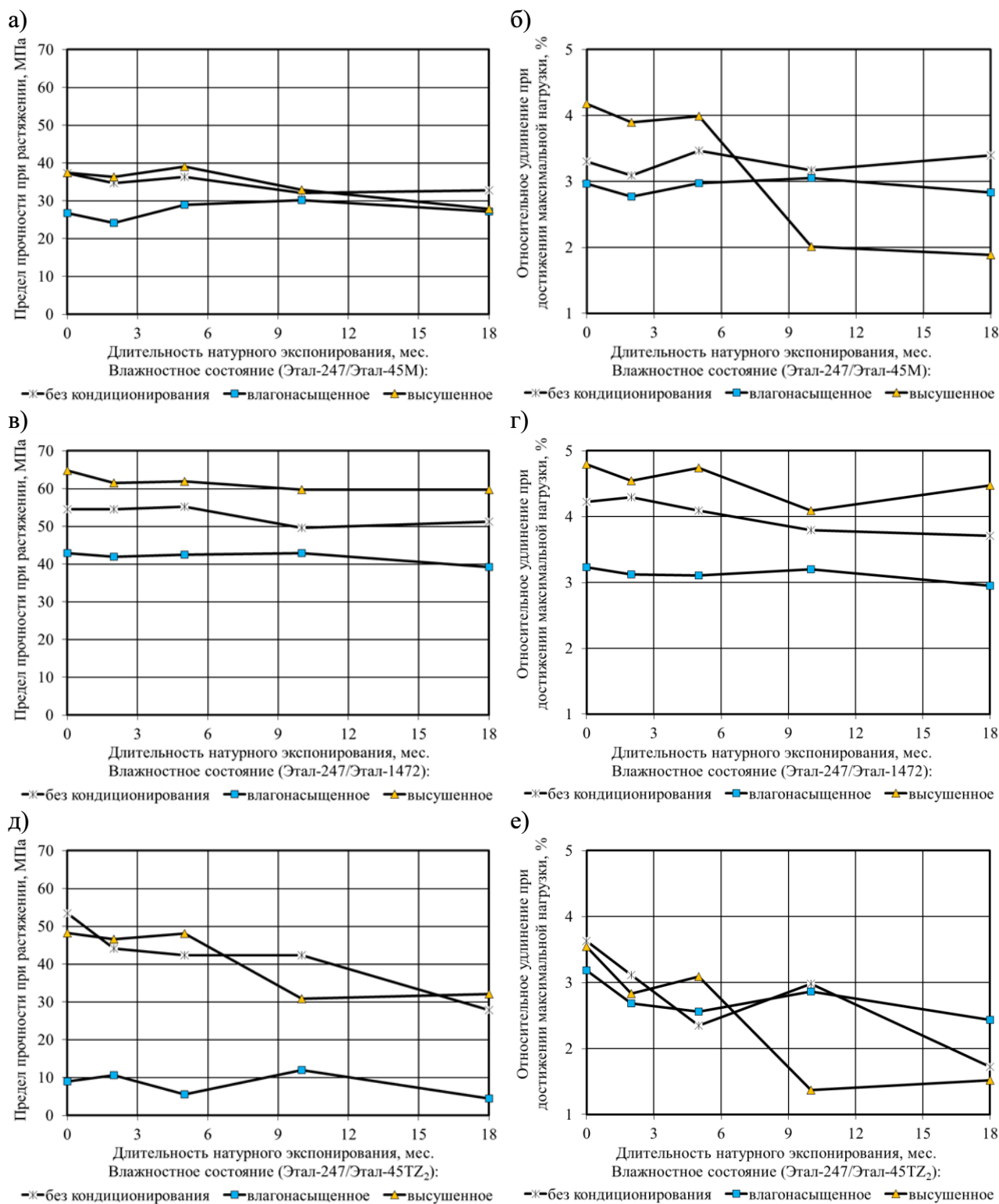


Рис. 1. Изменение предела прочности и относительного удлинения при растяжении серий образцов полимеров на основе эпоксидной смолы Этал-247, отвержденных Этал-45М (а, б), Этал-1472 (в, г) и Этал-45TZ₂ (д, е), в процессе натурального экспонирования в условиях умеренно континентального климата (с учетом влажностного состояния).

Следует отметить, что временной период с 5 до 10 месяц экспонирования соответствует месяцам с июня по октябрь включительно, что, в свою очередь, соответствует наибольшему в масштабах календарного года уровню суммарной солнечной радиации и ультрафиолетового

излучения диапазонов А и В. Это позволяет предположить, что именно действие актинометрических факторов делает сорбированную влагу основным пластификатором эпоксидных полимеров, эксплуатируемых в условиях действия натуральных климатических факторов. Дальнейшее экспонирование (в т.ч. «повторное» воздействие высоких уровней актинометрических факторов) не приводит к восстановлению исходной зависимости механической прочности от влагосодержания образцов эпоксидных полимеров. Исключением является состав на основе отвердителя Этал-1472. Для него исходный характер зависимости между пределом прочности при растяжении и влагосодержанием сохраняется на всем протяжении экспонирования.

Для составов на основе отвердителя аминного типа механическая прочность в предельном влагонасыщенном состоянии меняется незначительно, в отличие от образцов на основе полиамидного отвердителя Этал-45TZ₂. В свою очередь, предел прочности при растяжении образцов в высушенном состоянии для сроков экспонирования свыше 10 месяцев снижается вне зависимости от исследуемого состава. Наибольшее снижение зафиксировано для отвердителя Этал-45TZ₂, наименьшее – для отвердителя Этал-1472.

Аналогичная картина наблюдается и для показателя относительного удлинения образцов при максимальной нагрузке. Для экспериментальной точки, соответствующей 10 месяцам натурального экспонирования, для образцов, отверждаемых Этал-45М и Этал-45TZ₂ выявлено резкое падение относительного удлинения при максимальной нагрузке в высушенном состоянии (рис. 1, б, е). При этом, в отличие от показателя механической прочности, относительное удлинение в высушенном состоянии оказывается меньше аналогичного показателя во влагонасыщенном состоянии в 1,5-2 раза.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о важности оценки и контроля показателя влагосодержания для эпоксидных полимеров, эксплуатируемых в условиях действия натуральных климатических факторов. При этом значимыми критериями оценки эксплуатационных показателей полимерных материалов в процессе климатического старения становятся необратимая потеря массы, а также изменение характера зависимости механической прочности от влагосодержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 В. О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и

- зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – № 2. – С. 47–58.
3. Низина Т. А., Селяев, В. П., Низин, Д. Р. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – 188 с.
4. Низин Д. Р., Низина Т. А., Селяев В. П., Климентьева Д. А., Канаева Н. С. Изменение влагосодержания образцов эпоксидных полимеров в условиях натурального климатического старения // Климат-2021: Современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы. Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. – М., 2021. – С. 41–52.
5. Низина Т. А., Низин Д. Р., Канаева Н. С., Климентьева Д. А., Порватова А. А. Влияние влажностного состояния на кинетику накопления повреждений в структуре образцов эпоксидных полимеров под действием растягивающих напряжений // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1. – С. 37–45.
6. Старцев В. О., Панин С. В., Старцев О. В. Сорбция и диффузия влаги в полимерных композитных материалах с ударными повреждениями // Механика композитных материалов. – 2015. – № 6. – С. 1081–1094.
7. Maxwell A. S., Broughton W. R., Dean G., Sims G. D. Review of accelerated ageing methods and lifetime prediction techniques for polymeric materials: NPL Report DEPC MPR 016, 2005. – 84 p.
8. Старцев В.О., Плотников В. И., Антипов Ю. В. Обратимые эффекты влияния влаги при определении механических свойств ПКМ при климатических воздействиях // Труды ВИАМ. – 2018. – № 5. – С. 110–118.
9. Низин Д. Р., Низина Т. А., Селяев В. П., Спирин И. П. Анализ влияния климатических факторов на изменение физико-механических характеристик полимерных материалов с учетом их влагосодержания // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТМТ-2023: сборник научных трудов Восьмой межд. научно-практ. конф. – М., 2023. – С. 275–279.

КАЛЯБИН Д. В., ЛАНКИНА Ю. А., МЕЛЬНИКОВА Н. С.
ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. В данной статье рассмотрены принципы внедрения технологий информационного моделирования в жилищном строительстве, а также представлен обзор требований к цифровым информационным моделям объектов жилищного строительства.

Ключевые слова: ТИМ, технология информационного моделирования, объект капитального строительства, цифровая информационная модель, пространственная модель, дисциплинарная модель.

KALYABIN D. V., LANKINA YU. A., MELNIKOVA N. S.
IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGY MODELING
IN HOUSING CONSTRUCTION

Abstract. The article discusses the basic principles and problems of implementing information technology modeling in housing construction. In addition, the authors provide an overview of the requirements for digital information models of residential buildings.

Keywords: TIM, information modeling technology, capital construction facility, digital information model, spatial model, disciplinary model.

В настоящее время внедрение технологий информационного моделирования в строительную отрасль РФ происходит все стремительнее. С 1 июля 2024 года все застройщики, которые реализуют проекты в рамках жилищного строительства, должны будут использовать технологии информационного моделирования (ТИМ) при подготовке проектов жилых зданий. Эти нововведения коснутся многоквартирных домов и объектов необходимой для них инфраструктуры, строящихся с привлечением средств дольщиков, а с 1 января 2025 года – это же требование распространится и при долевом строительстве малоэтажных жилых комплексов.

В сентябре 2023 внесены изменения в Постановление Правительства №331 от 05.03.2021 «Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства». Эти изменения обязывают застройщика или технического заказчика, которые осуществляют деятельность в соответствии с 214-ФЗ «О долевом строительстве» обеспечить формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства в отношении объекта

(за исключением индивидуальных жилых домов в границах территории малоэтажного жилого комплекса), проектная документация и (или) результаты инженерных изысканий которого подлежат экспертизе, в случаях, если:

- договор о выполнении инженерных изысканий и/или подготовке проектной документации заключен (задание застройщика/технического заказчика на выполнение инженерных изысканий и/или задание на проектирование утверждено) после 01 июля 2024;
- разрешение на строительство вышеуказанного объекта капитального строительства, по которому проектная документация утверждена до 1 июля 2024 г., выдано после 1 января 2025 г.

По оценке экспертов ДОМ.РФ, внедрение ТИМ позволяет уменьшить сроки обработки документов, снизить количество ошибок при проектировании и повысить точность расчёта объёмов работ, а также сократить бумажный документооборот. Кроме того, обязательное использование технологий информационного моделирования выведет строительную отрасль РФ на принципиально новый уровень и позволит существенно повысить качество всего проектно-строительного цикла [1].

Внедрение технологий информационного моделирования в РФ началось более 10 лет назад, а в марте 2015 года Минстрой РФ сообщил, что в целях реализации плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в сфере промышленного и гражданского строительства определены критерии отбора пилотных проектов с использованием информационных технологий моделирования зданий [2]. При этом термин «информационная модель объекта капитального строительства» в Градостроительном кодексе закрепили только в 2019 году. Это событие можно считать стартом широкого распространения ТИМ в России.

Использование технологий информационного моделирования дает возможность отслеживать процесс строительства от стадии проекта до ввода в эксплуатацию готового объекта. А на стадии эксплуатации информационная модель поможет наблюдать за техническими процессами, происходящими в здании, а также информировать о неполадках или проблемах в инженерных системах.

На стадии проектирования информационная модель здания содержит самую полную информацию об объекте проектирования, с ее помощью можно проанализировать все технико-экономические и конструктивные характеристики возводимого объекта, а также в какие сроки будет произведен монтаж конструкций и многое другое.

Благодаря ТИМ, застройщик может рассчитать с высокой точностью стоимость строительства в целом и каждого этапа в отдельности, а также сроки возведения объекта. Кроме того, модель дает возможность контролировать ход строительства, при этом не

допустить отклонения от проектной и рабочей документации. Кроме того, применение ТИМ снижает стоимость планирования и самих строительных работ, сокращает сроки реализации проекта.

К настоящему моменту в РФ идет создание нормативной базы по применению технологий информационного моделирования на основных этапах проектирования и строительства объектов капитального строительства, оценены преимущества применения ТИМ на «пилотных проектах», а также налажена работа по проведению повышения квалификации специалистов с области ТИМ и обучение работе с сопутствующим программным обеспечением.

Знаковым событием на пути внедрения ТИМ в жилищное строительство стало утверждение Росстандартом в январе 2024 года предварительного национального стандарта (ПНСТ) 909-2024 «Требование к цифровым информационным моделям объектов непромышленного назначения. Часть 1. Жилые здания», разработанного институтом развития в жилищной сфере ДОМ.РФ, который вступил в силу с 1 февраля 2024 года и будет действовать в течение трех лет.

Настоящий предварительный национальный стандарт устанавливает правила и требования к результату формирования и ведения цифровых информационных моделей многоквартирных домов, индивидуальных жилых домов в границах территории малоэтажного жилого комплекса и жилых домов блокированной застройки.

Для цифровизации всей отрасли жилищного строительства ПНСТ является методологическим документом, который задает всем участникам рынка четкие критерии применения технологий информационного моделирования. Применение ПНСТ позволит стандартизировать и систематизировать требования к цифровым информационным моделям (ЦИМ) жилых зданий, а также автоматизировать обработку данных из создаваемых ЦИМ. Таким образом внедрение стандарта решает в том числе прикладные задачи: позволяет быстрее разрабатывать проектную и рабочую документацию, заполнять ведомости строительных материалов, проводить работу с другими типовыми сценариями применения ТИМ.

Согласно утвержденному ПНСТ, цифровая информационная модель жилого здания должна быть выполнена с тем уровнем потребности в информационном наполнении, который требуется для реализации выбранных сценариев применения технологий информационного моделирования. Стандарт предусматривает 22 возможных сценария применения технологий информационного моделирования.

Под сценарием применения технологий информационного моделирования понимается использование ТИМ для получения участниками процессов планирования и реализации

строительного проекта, а также управления объектом недвижимости, определенных выгод путем решения конкретных задач для достижения поставленных целей определенными методами. При этом один сценарий может включать в себя множество целей и множество задач, выполняемых последовательно или параллельно [3].

Для реализации сценариев применения технологий информационного моделирования необходимо разработать цифровую информационную модель (ЦИМ) которая должна быть выполнена с нужным уровнем потребности в информации и содержать пространственную структуру объекта капитального строительства (см. рисунок 1), состоящую из следующих элементов: проект, строительная площадка, здание, этаж.

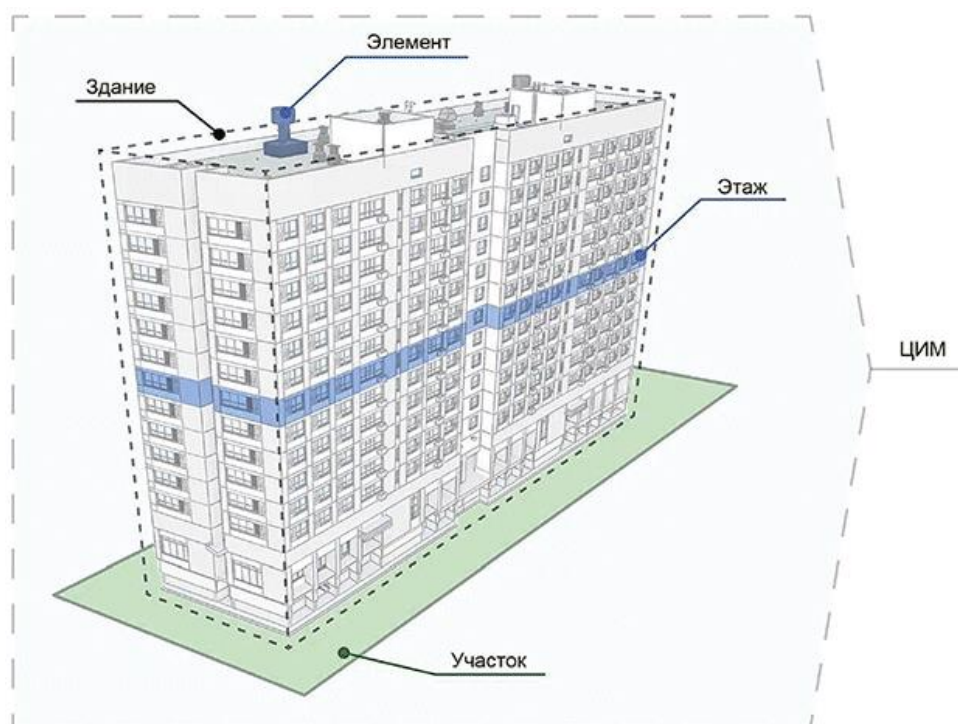


Рис. 1. Пространственная структура ЦИМ здания [3].

Следующим этапом является создание дисциплинарных ЦИМ по всем разделам проекта, которые представляются также в рамках каждого отдельного здания. Дисциплинарная цифровая информационная модель представляет собой ЦИМ, которая содержит элементы, относящиеся к определенной архитектурной, конструктивной, функционально-технологической или инженерно-технической системе объекта моделирования. Примером дисциплинарной ЦИМ могут служить ЦИМ конструкций железобетонных, ЦИМ системы отопления, ЦИМ системы пожарной сигнализации и т.п. На рисунке 2 показан пример дисциплинарной цифровой информационной модели архитектурных и конструктивных решений.

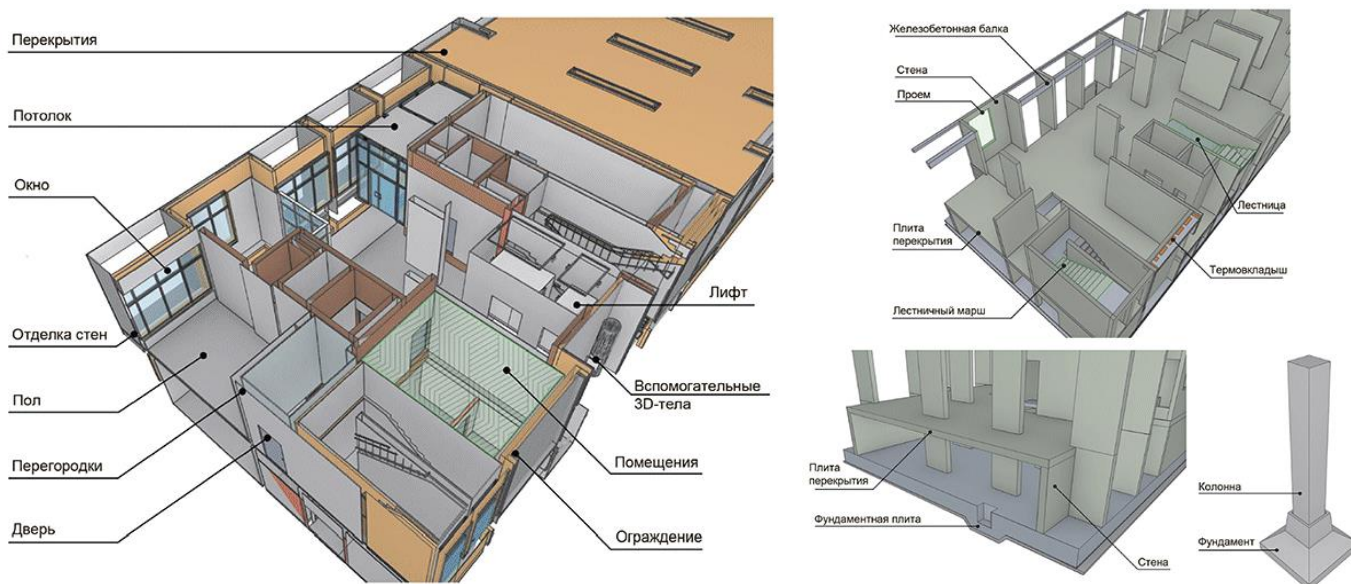


Рис. 2. Пример дисциплинарной ЦИМ архитектурных и конструктивных решений.

В свою очередь, дисциплинарные ЦИМ должны содержать элементы, необходимые для реализации выбранных сценариев применения ТИМ, например, элементы, относящиеся к разделу «Архитектурные решения» или «Конструктивные решения» проекта. При этом каждый элемент дисциплинарной ЦИМ должен отвечать требованиям по информационному наполнению в соответствии с требованиями к обмену информации, предъявляемыми к данному сценарию применения ТИМ. Каждый элемент цифровой информационной модели должен содержать уникальный глобальный идентификатор, который не должен меняться на протяжении всех этапов жизненного цикла ЦИМ.

Далее, для представления проекта в соответствии с требованиями «Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» должны быть составлены комбинации дисциплинарных ЦИМ для формирования разделов проектной документации. В результате проект должен содержать пространственную структуру здания и включать в себя элементы ЦИМ в соответствии с ее дисциплинарным назначением. Документы, необходимые для реализации выбранных сценариев применения ТИМ, могут быть представлены в цифровой информационной модели жилого здания в виде ссылок на них и физически храниться вне ЦИМ, в ином информационном контейнере.

Таким образом, реализация строительных проектов с применением технологий информационного моделирования с каждым днем становится все более реальной и утверждение ПНСТ является еще одним шагом в этом направлении. Применение ПНСТ позволит всем участникам строительного процесса: проектировщикам, экспертам и строителям более точно понимать структуру ЦИМ, а также создает единые правила для формирования и ведения цифровых информационных моделей многоквартирных домов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новости ДОМ.РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://дом.рф/media/news/utverzhdenn-razrabotanny-dom-rf-predvaritelnyy-natsstandart-dlya-tsifrovyykh-modeley-zhilykh-zdaniy/?ysclid=luvcf1xzmd598157459> (дата обращения 11.04.2024).
2. Ланкина Ю.А. Оценка эффективности внедрения BIM модели в процесс экспертизы проектной документации // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 71–73.
3. ПНСТ 909-2024 «Требование к цифровым информационным моделям объектов непроизводственного назначения. Часть 1. Жилые здания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/358796/> (дата обращения 11.04.2024).

АРХИПОВ И. В., КОРОТИН А. И., ЛАЗАРЕВ А. Л.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СЖАТИИ

Аннотация. В статье рассмотрен процесс нагружения древесины сжимающей нагрузкой вдоль волокон и особенности ее поведения при данном типе нагружения. Сделаны выводы по возникновению линий скольжения и разрушению древесины в целом. Для эффективного анализа концентрации напряжений и прогнозирования начального разрушения образца была разработана иерархическая модель древесины.

Ключевые слова: древесина, строение клетки, модель, сжатие, линии скольжения.

ARKHIPOV I. V., KOROTIN A. I., LAZAREV A. L.

FEATURES OF WOOD DESTRUCTION DURING COMPRESSION

Abstract. The article considers the process of loading wood with a compressive load along the fibers and the features of its behavior under this type of loading. Conclusions are drawn on the occurrence of slip lines and the destruction of wood as a whole. A hierarchical model of wood has been developed for effective stress concentration analysis and prediction of the initial destruction of the sample.

Keywords: wood, cell structure, model, compression, sliding lines.

На протяжении всей истории древесина непрерывно применялась в различных направлениях человеческой деятельности, в том числе и строительстве. В настоящее время она также остается непревзойденным материалом, даже несмотря на разработку различных новых прочных синтетических композитов. Ввиду своей распространенности, древесина подверглась детальному изучению. И одним из наиболее освоенных видов ее напряженного состояния стало сжатие.

Сжатие может рассматриваться в двух направлениях – вдоль и поперек волокон, при этом последний случай в радиальном и тангенциальном направлениях. Также при поперечном направлении сжатия материала нужно учитывать варианты нагружения по площади: образец нагружен по всей своей поверхности; нагрузка находится лишь на части поверхности.

При испытании на сжатие в поперечном направлении древесины в большинстве случаев трудно определить момент разрушения по стрелке силоизмерителя. Это связано с тем, что при данном виде нагружения древесина может сильно деформироваться, при этом момент нагружения наглядно не фиксируется. В связи с этим, испытания проводятся по специальной методике, и для оценки прочности древесины при сжатии поперек волокон и местном смятии используется условный предел прочности [1].

Случай сжатия вдоль волокон имеет существенные отличия от предыдущего варианта по множеству показателей. Если в первом случае идет прессование древесины, то во втором происходит развитие линий скольжения, причем под разными углами, в зависимости от породы древесины и ее плотности. Чем выше плотность, тем угол наклона будет меньше.

Следует отметить, что обнаружение линий скольжения является сложной задачей, выполнение которой может быть довольно трудоемким. Это связано с тем, что в процессе достижения критической нагрузки в образце развиваются деформации, и в момент преодоления ее значения происходит резкое разрушение структуры. Самой главной проблемой в этом случае является то, что значение критической силы точно неизвестно.

Исследования древесины ведутся уже длительный период, и за это время было получено множество различных данных. Однако практически вся основная часть из них проводилась на образцах малых размеров, что в свою очередь не учитывает масштабный фактор. К сожалению, в литературе также не удалось обнаружить каких-либо систематизированных данных на данную тему, лишь отдельные мало перекликающиеся друг с другом сведения. В следствии этого в процесс испытаний было включено изучение не только прочности и разрешения древесины при данном виде нагружения, но и было принято во внимание влияние масштабного фактора.

Основной породой для проведения исследования была принята сосна. Выбор данной породы обусловлен тем, что она является одной из наиболее распространенных в промышленности, а также занимает около 20% всех древесных запасов нашей страны.

В ходе подготовки были проведены испытания на образцах с поперечными размерами от 10×50 до 50×50 мм. В результате за основной был принят образец с размерами 50×50×100 мм (рисунок 1).

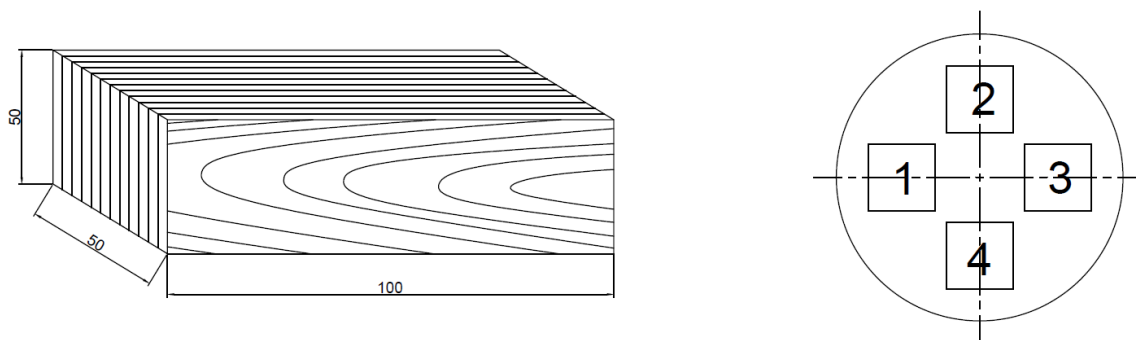


Рис. 1. Размеры образца и схема выпилов брусков из ствола.

Помимо того, что использовались образцы различных типоразмеров, также они выпиливались из разных частей ствола самого дерева. Ствол делился на 4 одинаковые части при помощи четырех радиусов, направленных друг к другу под углом в 90°, и из него

выпиливались брусья на одинаковом расстоянии от центра так, чтобы их грани были перпендикулярны радиусам ствола (рисунок 1).

Испытание проводилось для случая сжатия вдоль волокон. После чего по полученным данным строились графики «напряжения – перемещения». Также для подтверждения результатов были реализованы модели клеточной структуры древесины для данного варианта загрузки. В случае сжатия вдоль волокон, как было сказано ранее, разрушение происходит по линиям скольжения. Их возникновение можно описать структурными внутренними изменениями в материале [2].

В работе [3] отмечается, что именно сердцевинные лучи оказывают непосредственное влияние на характер развития линий скольжения [3]. Однако в противовес данному предположению было выдвинуто другое [4]: причина такого явления кроется в особенностях напряженного состояния образца, а в свою очередь развитие складок под определенными углами в зависимости от грани является сопутствующим процессом [4].

Мы, в свою очередь, считаем, что образцы разрушаются вследствие наличия внутренних структурных изменений, а различные внешние факторы оказывают лишь незначительное влияние, и, как следствие, появление, размещение и развитие линий скольжения не зависит от этого.

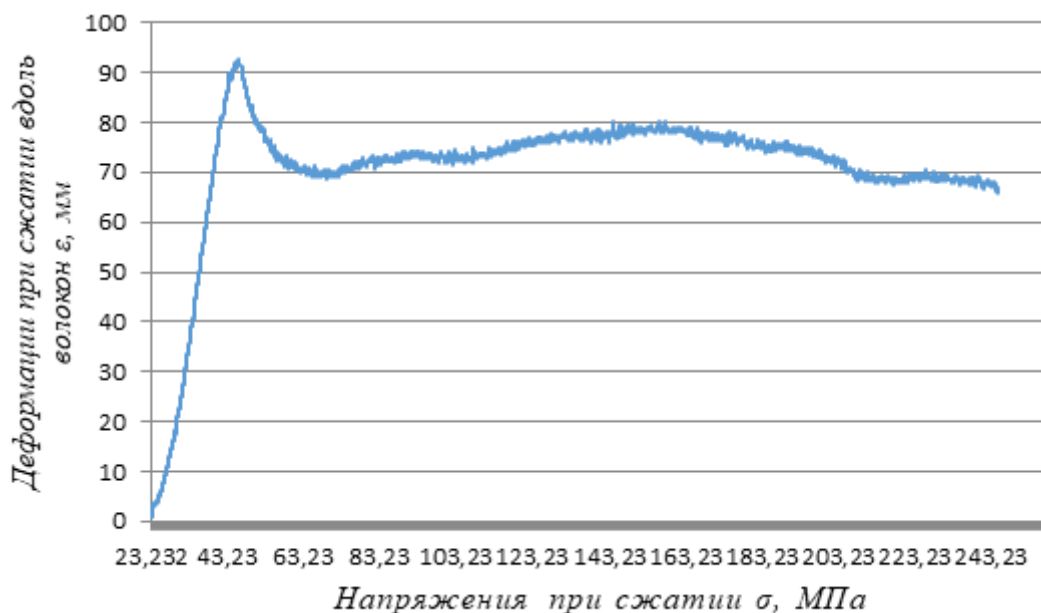


Рис. 2. Диаграмма «напряжения - деформации» при сжатии вдоль волокон.

При описании диаграммы «напряжения – перемещения» можно выделить три различных участка [5]. Первый характеризуется смятием ранней древесины под действующей нагрузкой, при этом рост деформаций значительно опережает рост усилия. В свою очередь, второй представляет собой зону упрочнения материала, и зависимость на

графике приобретает линейный характер. И заключительный, третий этап, представляет собой зону достижения критической нагрузки; здесь происходят необратимые деформации, график выравнивается и начинает ниспадать вниз (рисунок 2).

Помимо этого, на диаграмме можно выделить этап, который представляет собой область нисходящей ветви. Он также разделяется на несколько участков, при этом на первом происходит только лишь возникновение самих линий скольжения, когда остальные характеризуются попеременным упрочнением с развитием все новых трещин, что, в конечном итоге, приводит к разрушению образца. Образование линий скольжения на образцах при испытании на осевое сжатие приведены на фотографиях (рисунки 3, 4).

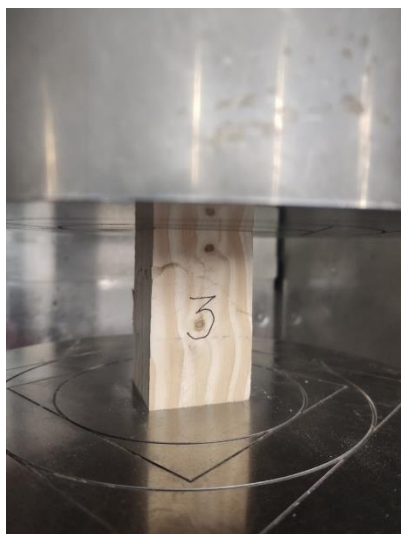


Рис. 3. Образец №3 50×50 мм.

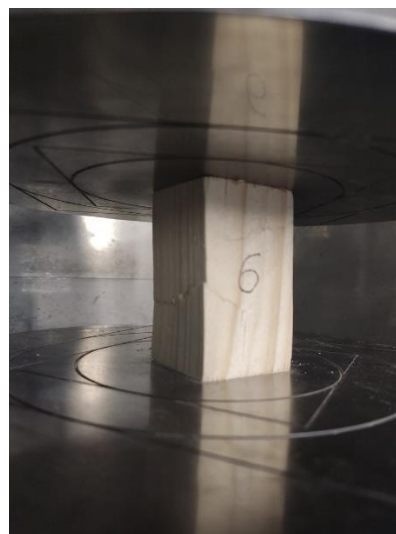


Рис. 4. Образец №6 50×50 мм.

При проведении анализа можно сделать вывод, что разрушение древесины при сжатии происходит из-за разрыва межструктурных связей между волокнами, сопровождающееся потерей их устойчивости. Это подтверждается результатами сгенерированной модели клеточной структуры древесины.

Модель была рассчитана и проанализирована при помощи метода конечных элементов в программе FreeCAD. Для создания модели структур были приняты некоторые допущения:

1. На макроуровне древесина представлена как совокупность прямоугольных клеток со стенками одинаковой толщины;
2. Клеточная стенка представлена в виде четырех слоев: первичной стенки Р и вторичной стенки S, содержащей в себе три слоя - S₁, S₂ и S₃;
3. Слой М является связующим двух соседний клеточных стенок (рисунок 5).

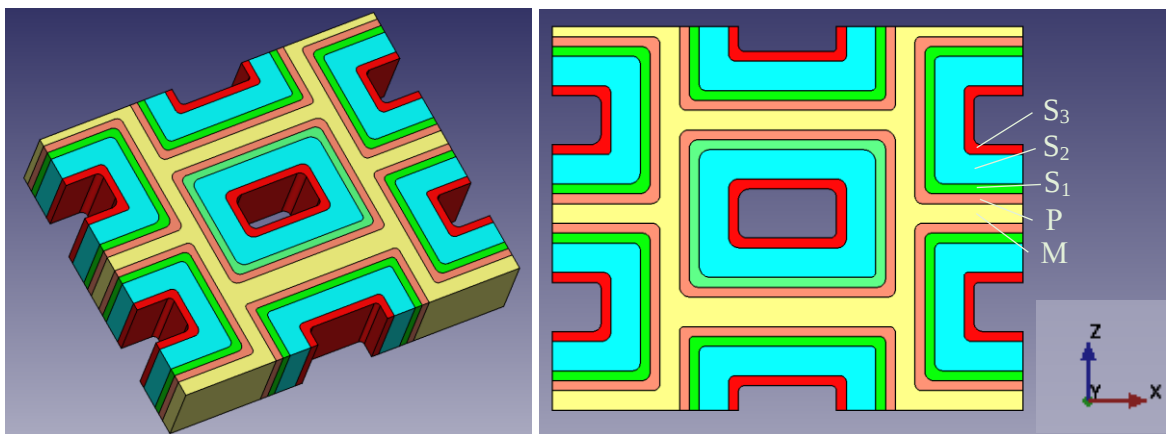


Рис. 5. Модель клеточной структуры древесины.

При задании свойств элементов было учтено, что каждый слой клеточной стенки на микроуровне представляет собой армированные фибриллами композиты. Слои Р и М являются материалами изотропными и имеют свои определенные упругие константы (таблица 1). В свою очередь слои вторичной стенки анизотропны в виду отличного содержания химических веществ и своего строения (таблица 2).

Таблица 1

Характеристики слоев М и Р

Слой	E (ГПа)	γ
М	2,82	0,30
Р	3,97	0,28

E – модуль упругости; γ – коэффициент Пуассона.

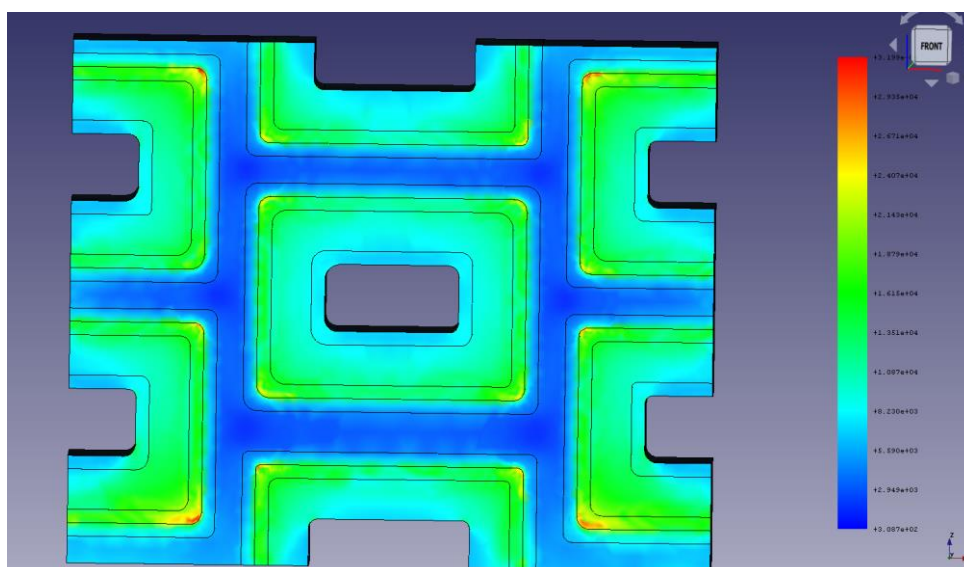


Рис. 6. Результаты расчета клеточной структуры древесины.

Характеристики слоев S₁, S₂ и S₃

Слой	E_x (ГПа)	E_z (ГПа)	E_y (ГПа)	γ_{zx}	γ_{xy}	γ_{zy}
S ₃	8,43	7,98	50,36	0,39	0,33	0,32
S ₂	9,85	9,16	63,96	0,24	0,23	0,33
S ₁	8,54	8,02	53,10	0,38	0,33	0,32

E_i – модуль упругости в i -м направлении слоев клеточной стенки; γ_{ij} – коэффициент Пуассона слоев клеточной стенки.

Анализируя результаты, полученные после проведения расчета модели, можно увидеть, что основные напряжения возникают именно во вторичной стенке клетки (рисунок 6). При этом в углах стенки наблюдаются наибольшие напряжения, свидетельствующие о том, что процесс отрыва волокон друг от друга начинается именно с этого места.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хухрянский П. Н. Прочность древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 152 с.
2. Иванов Ю. М. Деформации древесины под действием повторной статической нагрузки при сжатии вдоль волокон // Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций: сборник статей. – М., 1952. – С. 7–47.
3. Москалева В. Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях. – М.: АН СССР, 1957. – 166 с.
4. Тутурин С. В. Механическая прочность древесины // Физическая мезомеханика. – 2004. – № 7. – С. 85–88.
5. Шемякин Е. И., Тутурин С. В., Короткина М. Р. Разрушение древесины при сжатии // Вестник Московского университета леса – Лесной вестник. – 2005. – № 3. – С. 56–70.