



eISSN 2311-2468
Том 10, № 3. 2022
Vol. 10, no. 3. 2022

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



ЕРМОЛАЕВ В. В., УТКИНА В. Н.

ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В ОБЪЕДИНЕННЫХ АРАБСКИХ ЭМИРАТАХ

Аннотация. Выполнен обзор высотного строительства в Объединенных Арабских Эмиратах. Рассмотрены самые высокие и уникальные здания, их индивидуальные конструктивные решения. Определены основные причины и тенденции развития высотного строительства в ОАЭ.

Ключевые слова: высотное строительство, ОАЭ, небоскреб, конструктивные решения, фундамент, железобетон, металл.

ЕРМОЛАЕВ В. В., УТКИНА В. Н.

HIGH-RISE CONSTRUCTION IN THE UNITED ARAB EMIRATES

Abstract. A review of high-rise construction in the United Arab Emirates has been carried out. The tallest and most unique buildings, their individual design solutions are considered. The main reasons and trends in the development of high-rise construction in the United Arab Emirates are identified.

Keywords: high-rise construction, UAE, skyscraper, structural solutions, foundation, reinforced concrete, metal.

Объединенные Арабские Эмираты – федеративное государство на Ближнем Востоке, состоящее из семи эмирятов: Абу-Даби, Аджман, Дубай, Рас-Аль-Хайма, Умм-эль-Кайвайн, Фуджейра и Шарджа. Это удивительная страна потрясающих возможностей, демонстрирующая экономическое процветание, высокий уровень технологического прогресса. Объединенные Арабские Эмираты – вершина и жемчужина современного строительства. В настоящее время здесь работают лучшие архитекторы мира. Небоскребы или немыслимые многоэтажки не оставляют равнодушным никого. Ведущими городами по развитию высотного строительства являются столица государства Абу-Даби и растущий мегаполис Дубай. Архитектура каждого из этих мест поистине уникальна и имеет множество достопримечательностей.

Абу-Даби (рис. 1) – город, основой которого являются правительственные учреждения и офисы крупных компаний. Они расположены на севере столицы в нескольких кварталах, примыкающих к красивейшей набережной протяженностью 7 км. Эта часть города имеет плотную застройку современными высотными зданиями и небоскребами, поэтому Абу-Даби получил название «Манхэттена Ближнего Востока». Остальная часть столицы – это красивые виллы и таунхаусы для обеспеченных горожан. Здесь много зеленых территорий и парков. Современный вид город получил еще в 80-х годах XX века, намного

раньше Дубая, который стал стремительно развиваться и обгонять Абу-Даби в строительстве небоскребов и благоустройстве в начале XXI века. Одними из самых ярких достопримечательностей Абу-Даби являются: отель «Capital Gate» – падающая башня, Al Bahar – парные башни-небоскребы с уникальным «подвижным» фасадом, Aldar HQ – круговой небоскреб.



Рис. 1. Абу-Даби [1].

Отель «Capital Gate» (рис. 2) – визитная карточка делового района Capital Center. Владелец-разработчик: Abu-Dhabi National Exhibitions Company. Здание расположено рядом с символом Ближнего Востока – Национальным выставочным центром в Абу-Даби. Небоскреб занесен в Книгу рекордов Гиннеса, как здание с самым большим уклоном в мире. Отклонение от вертикальной оси составляет 18° , что в четыре раза больше, чем у Пизанской башни.

В этом здании уникально все: от плотной сетки из железобетонных свай фундамента до фасадных стеклопакетов с низкой теплопередачей, абсолютной прозрачностью и отсутствием бликов. В отеле 36 этажей, на которых расположены: офисные помещения (1 – 18 этажи), 5-звездочный отель «Hyatt» (19 – 33 этажи), внутренняя площадь которого около 20 тысяч квадратных метров. Фундамент укреплен 490 сваями на глубине 20 – 30 м, чтобы выдерживать гравитационные, ветровые и сейсмические силы, вызванные характерным уклоном здания. Сверху сваи объединяются монолитным железобетонным ростверком [2; 3].

Конструктивная система здания – ствольно-оболочковая. Функцию внешней несущей оболочки выполняет диагональная решетка «diagrid», которая также формирует силуэт здания. На начальном этапе строительства стволу был задан расчетный уклон 350 мм. По мере того, как этажи росли, ядро становилось вертикальным. Первые 12 этажей не имеют

кривизны. Следующие уровни располагаются с постепенным увеличением уступа от 30 до 140 см. Диагональная решетка соединяется с балками на уровне плит перекрытия. 720 секций образуют внешнюю диагональную сетку.



Рис. 2. Отель «Capital Gate» (160 м, 2011 г.) [3].

В Абу-Даби преобладает легкий ветер, которому препятствует плотная сеть основных стен и консольных балок 17-го технического уровня. Защита от солнца устроена, как автономная система. Закругленная форма способствует сопротивлению скручиванию. Массивное бетонное кольцо из балок переносит вес диагональной сетки на основание. Поверх решетки монтируются 728 стеклянных панелей. Каждая панель состоит из 18 стекол и весит около 5 тонн. Всего на фасаде башни 12,5 тысяч стекол [4].

Al Bahar (рис. 3) – комплекс башен-близнецов в Абу-Даби, построенный в 2012 году. 29-этажные башни сочетают классический арабский стиль с новейшими технологиями. Здания достигают высоты 145 метров и общей площади 70 000 квадратных метров. Созданием комплекса занималась британская компания «AHR», а возведение доверили местной компании «Al-Futtaim Carillion». Они получили премию за поддержку экологии (LEED), а также за современное строительство небоскребов (Emporis Skyscraper Award). В одном из зданий находится Центр городского инвестиционного совета (ADIC).



Рис. 3. Al Bahar (145 м, 2012 г.) [2].

Главной уникальностью башен, их технологическим отличием являются элементы «умной защитной кожи» из 2000 электронных металлических «зонтов», которые служат не только необычным и очень элегантным украшением, но и выполняют практическую функцию, необходимую для Объединенных Арабских Эмиратов. Когда солнечные лучи попадают на «зонты», они могут автоматически закрываться и открываться, чтобы предотвратить перегрев здания, так как среднегодовая температура в Абу-Даби составляет около 30° С, а в некоторые месяцы достигает 50 градусов. Решетчатый занавес закрывает почти всю поверхность, поэтому 50% солнечного излучения подавляется, что позволяет зданию не только охлаждаться, но и вентилироваться – это еще одна функция «зонтиков». Благодаря управляемым «лепесткам», регулирующим воздушные потоки, обеспечивается естественная вентиляция здания. Такой дизайн был взят из традиционных арабских решеток XIV века и называется «машрабия». Это было первой «тонировкой» в истории, узоры и элементы были подобраны особым образом, чтобы их можно было свободно просматривать изнутри, но нельзя было заглянуть снаружи в комнату. Изначально «машрабию» эксплуатировали как для охлаждения воды, так и для терморегуляции комнат.

Дубай (рис. 4) – самый шикарный и ультрасовременный город Ближнего Востока, который смело можно назвать туристическим бриллиантом. Здесь гармонично сочетаются старинные мечети и новейшие архитектурные сооружения, извилистые тихие улочки и скоростные магистрали, песчаные пляжи и модные бутики, арабские и европейские

традиции. Высотное строительство в Дубае является приоритетным направлением городского развития, связано это с социальными изменениями и экономическим развитием эмирата за последние несколько десятков лет. По требованиям правительства все высотные здания должны соответствовать функциональным, природно-климатическим условиям, самым современным архитектурным, конструктивным и инженерным решениям, эстетическим критериям [5–7].



Рис. 4. Дубай [6].

Главной достопримечательностью этого города, конечно, является небоскреб Бурдж-Халифа, побивший все мировые рекорды и занесенный в книгу рекордов Гиннеса. Так же необходимо отметить единственный в мире роскошный семи-звездочный отель Бурдж Аль Араб.

Несравненный небоскреб Бурдж-Халифа (рис. 5) в Дубае был построен в начале января 2010 года и в настоящее время является самым высоким зданием в мире. Его высота составляет 828 метров. В период строительства это уникальное здание называлось Бурдж-Дубай. Оно построено по принципу «город в городе» и является автономным. Площадь уникального комплекса составляет 344 000 м² [8]. Работу над этим оригинальным и очень

сложным проектом начали в январе 2004 года. Небоскреб проектировала американская компания «Skidmore, Owings & Merrill». Генеральным подрядчиком была выбрана компания «Samsung C&T». В конце сентября 2004 года началось строительство и продолжалось очень высокими темпами около 6 лет.



Рис. 5. Бурдж-Халифа (828 м, 2010 г.) [2].

Основным несущим элементом башни является ядро жесткости. Оно имеет вид шестиконечного сердечника, от которого расходятся три пролета. Центральное ядро играет главную роль в обеспечении горизонтальной устойчивости здания. Монолитные диафрагмы располагаются от ядра до конца каждого пролета, образующего центральные коридоры. По периметру здания располагаются колонны, дополняющие монолитную целостность сооружения.

Два подземных этажа занимает парковка. На первых 17 этажах расположен отель Армани. С 19 по 37 этажи – это апартаменты Armani Residence. На 43 этаже находится огромное Sky Lobby (небесное лобби), на 123 этаже – еще одно лобби. Жилые помещения расположены на 44 – 72 и 77 – 108 этажах. Большой бассейн на 76 этаже является рекордсменом среди закрытых резервуаров с водой, расположенных на высоте. 122 этаж занимает шикарный ресторан. На 124-м этаже располагается красивая открытая смотровая площадка – самая высокая в мире. Жилые квартиры занимают 125 – 135 и 139 – 154 этажи.

На последних из «жилых этажей» (156 – 159) расположены офисы связи и телерадиовещания. На 158-м этаже находится мечеть, которая также является самой высокой в мире. Специальные этажи (17, 18, 40 – 42, 73 – 75, 109, 110, 136 – 138, 155) предусмотрены для обслуживания здания. Этажи выше 160-го являются техническими [8].

Для строительства небоскреба Бурдж-Халифа был использован предварительно напряженный железобетон. На конструкции здания потребовалось 320 кубометров высокопрочного бетона и 60 000 тонн стальной арматуры. Фундамент состоит из 192 свай, каждая диаметром 1,5 метра и длиной около 50 метров. Применение специальных технологий при возведении фундамента позволило добиться высокой плотности и инертности бетонного основания к действиям любых химикатов и грунтовых вод. Небоскреб стоит на железобетонном «ковре», который был разработан в результате всесторонних сейсмических и геотехнических исследований.

Климат в Объединенных Арабских Эмиратах очень жаркий. Дубай является одним из самых жарких городов мира. Средняя температура августа составляет + 35° С, а средний максимум превышает + 40° С. Температура в тени может достигать 50° С. Эти условия экстремальны для небоскреба. Для защиты Бурдж-Халифа от сурогатного солнца пустыни было принято решение одеть здание в «стеклянную кожу». Более 30 000 панелей защищают небоскреб от жары. Стекло, используемое в здании, имеет внешнее покрытие, отражающее тепловое излучение солнца, которое, в противном случае, могло бы проникнуть в помещение. Тонкое покрытие из металла, как солнцезащитный крем, отражает ультрафиолетовый свет. А для защиты от инфракрасных лучей солнца на внутреннюю сторону стекла наносится тонкий слой серебра.

Строительство шикарного отеля Бурдж Аль Араб (рис. 6) началось в 1994 году. Открытие для посетителей состоялось 1 декабря 1999 года. Отель был построен в виде паруса арабского судна. На верхнем ярусе находится вертолетная площадка, а с другой стороны – ресторан «Аль-Мунтакха», которые поддерживаются консольными балками. Отель расположен на искусственном острове в море на расстоянии 280 метров от берега. Здание достигает высоты 321 метр. Фундамент уходит до дна на глубину около 40 метров [9].

Общая площадь комплекса составляет 460 тысяч квадратных метров. В Бурдж Аль Араб находится самое высокое лобби-atrium в мире – 180 метров над землей. Стандартных номеров здесь нет, отель разделен на 202 двухместных номера, площадь которых изменяется от 169 м² до 780 м². Для отделки внутренних помещений отеля было использовано около 8000 квадратных футов 22-карата сусального золота. Снаружи здание покрыто тефлоновой пленкой. В лучах летнего солнца оно выглядит ярко-белым, а ночью под управлением компьютера создает красивый фон для постоянно меняющегося освещения.



Рис. 6. Отель Бурдж Аль Араб (321 м, 1999 г.) [9].

На основании проанализированного материала о высотном строительстве в Объединенных Арабских Эмиратах следует отметить, что эта быстро развивающаяся страна является одним из мировых лидеров в данном направлении в настоящее время.

По официальным данным Совета по высотным зданиям и городской среде обитания (CTBUH) в 2020 г. на планете было построено 106 небоскребов, что на 20% меньше, чем в 2019 г. Это самый низкий показатель с 2014 г., так как Covid-19 вызвал значительные сбои в реализации уникальных проектов. Более половины от общего числа небоскребов было построено в Китае, на втором месте – ОАЭ, за ними следуют США и Великобритания [10].

Первое место в мире среди городов по количеству возведенных новых небоскребов (12 зданий высотой более 200 м) в 2020 г. занял растущий мегаполис Дубай, укрепляющий свою роль не только в качестве туристического, но и научного и индустриального центра. Причина такого роста числа высотных зданий заключается в увеличении объема инвестиций. Кроме того, мощным импульсом возникновения и реализации грандиозных проектов являются амбиции государственных деятелей и бизнесменов. Для превращения Дубая в «высотную» архитектурную столицу мира правительством привлечены ведущие проектно-конструкторские бюро. Данное обстоятельство обуславливает «международный» облик

высотной архитектуры Дубая. Предпочтение отдается ультрасовременным архитектурным и конструктивным решениям известных проектных бюро Европы и Америки.

Большое внимание в высотном строительстве ОАЭ уделяется соблюдению современных требований экологической безопасности и повышению энергоэффективности зданий и сооружений, внедрению инновационных технологий и материалов. Применяемые меры позволяют значительно сократить потребление энергии и воды, выбросы углекислого газа (на 20%) и объем производимых отходов (на 50%) [11]. В настоящее время Дубай занимает третье место в мировом рейтинге городов с наибольшим количеством экологически рациональных зданий.

Непревзойденные высоты небоскребов, невероятный технологический прогресс, уникальность архитектуры и конструктивных решений не перестают удивлять. Все это демонстрирует широкие перспективы развития высотного строительства, свободного использования объемного пространства и потрясающие возможности, на которые способен человек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абу-Даби [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.trn-news.ru/Ru/Upload/Image/Abu_Dhabi_3_14182556.jpg (дата обращения 01.03.2022).
2. Топ-20 – шедевры из бетона и стекла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psdom.ru/catalog/top-20-shedevry-iz-betona-i-stekla> (дата обращения 02.03.2022).
3. Capital Gate / RMJM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/889854/capital-gate-rmj> (дата обращения 03.03.2022).
4. Конструктивные особенности высотных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thepresentation.ru/uncategorized/konstruktivnye-osobennosti-vysotnyh-zdaniy> (дата обращения 03.03.2022).
5. Акимова Е. А. Проекты архитектурного бюро СОМ для Объединенных Арабских Эмиратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekty-arhitekturnogo-byuro-som-dlya-obedinennyh-arabskih-emiratov/viewer> (дата обращения 04.03.2022).
6. Современная архитектура ОАЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://middleeastarchitecture.uaecis.com/sovremennoyaya-arhitektura-uae/19/> (дата обращения 04.03.2022).
7. Коротич А. В. Художественные особенности современной высотной архитектуры Ближнего Востока. Объединенные Арабские Эмираты. Дубай [Электронный ресурс].

- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/hudozhestvennye-osobennosti-sovremennoy-vysotnoy-architektury-blizhnego-vostoka-obedinennye-arabskie-emiraty-dubay/viewer> (дата обращения 02.03.2022).
8. Климова А. А, Агеева Е. Ю. Особенности строительства небоскреба Бурдж-Халифа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017036330> (дата обращения 03.03.2022).
9. Уникальные здания и сооружения. Идеи, которые перевернули мир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://isi.sfu-kras.ru/sites/is.institute.sfu-kras.ru/files/Unikalnye_zdaniya_i_sooruzheniya.pdf. (дата обращения 03.03.2022).
10. Дубай опередил другие города мира по количеству построенных в 2020 году небоскребов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://emirates.estate/ru/news/dubai-completes-more-skyscrapers-than-any-other-city-in-the-world-in-2020/> (дата обращения 04.03.2022).
11. Экологически рациональное строительство в Дубае: Преимущества и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thefirstgroup.com/ru/news> (дата обращения 04.03.2022).

КУПРИЯШКИНА Л. И., МУХАНОВ М. А., РОДЬКИНА Д. А., АХМЕТЖАНОВ Р. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ВАКУУМНЫХ
ПАНЕЛЕЙ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Аннотация. Представлен анализ теплоизоляционных материалов с учетом коэффициентов теплопроводности и прочности при сжатии. Рассмотрена возможность использования вакуумных теплоизоляционных панелей в стеновых ограждающих конструкциях. Приведен теплотехнический расчет внешних стен жилого здания.

Ключевые слова: теплоизоляция, вакуум, изоляционная панель, коэффициент теплопроводности, конструктивное решение, стеновая панель.

KUPRIYASHKINA L. I., MUKHANOV M. A., RODKINA D. A., AKHMETZHANOV R. A.

USE OF THERMAL INSULATION VACUUM SYSTEMS

PANELS IN ENCLOSING STRUCTURES

Abstract. The analysis of thermal insulation materials is carried out, taking into account the coefficients of thermal conductivity and compressive strength. The possibility of using vacuum insulation panels in wall enclosing structures is considered. The thermal engineering calculation of the external walls of a residential building is provided.

Keywords: thermal insulation, vacuum, insulation panel, thermal conductivity coefficient, design solution, wall panel.

Теплоизоляция является одним из приоритетных направлений при строительстве, поскольку ее применение позволяет многократно повысить эксплуатационные характеристики зданий. Постройка с достаточным количеством утеплителя гораздо меньше промерзает зимой, что снижает затраты на его отопление. Также она менее склонна к перегреву летом, сохраняя внутри помещений комфортную температуру, что экономит ресурс кондиционерного оборудования.

Наличие теплоизоляции дает возможность избежать резких скачков температуры в помещении. Это очень важно, особенно если внутри помещений применяется чувствительный к этому параметру отделочный материал, к примеру, древесина или отдельные виды пластика, в том числе ПВХ, используемый для производства натяжных потолков. Отсутствие существенных колебаний температуры дает возможность исключить условия для образования конденсата. Именно применение теплоизоляции исключает появление сырости и развития плесени. Известно, что повышенная влажность стен приводит к отслаиванию отделочных материалов. Как следствие, наблюдается отклеивание обоев, а также тяжелой керамической плитки. Переизбыток влаги от отсутствия достаточной

теплоизоляции также приводит к расширению изделий из дерева. Как следствие, наблюдается коробление напольного покрытия, деформация дверей и др.

Стоит также отметить, что теплоизоляционные материалы помимо своего прямого предназначения обладают звукоизоляционными свойствами. Конечно, их эффективность не столь высока как у специализированных для этой цели покрытий, но вполне достаточная, чтобы уменьшить передачу громких звуков.

Теплоизоляционные материалы используются для обеспечения утепления различных поверхностей: стен, потолков, подвала и кровли. Существует множество теплоизоляционных материалов с различными коэффициентами теплопроводности; некоторые из них представлены в таблице 1.

Таблица 1
**Разновидности теплоизоляционных материалов с учетом
коэффициентов теплопроводности и прочности при сжатии**

Наименование	Прочность при сжатии при 10%-ной относительной деформации, КПа	Коэффициент теплопровод- ности Вт/(м·К)
Экструзионный пенополистирол carbon eco	250	0,029
Rockwool фасад батсс	45	0,046
Rockwool венти батсс	15	0,037
Пенополистирол ПСБ-С 15	50	0,043
Пенополистирол ПСБ-С 25	100	0,042
Пенополистирол ПСБ-С 35	160	0,038
Вакуумная теплоизоляционная панель на основе белой сажи (плотность 270 кг/м ³)	240-260	0,01-0,02
Вакуумная теплоизоляционная панель на основе пирогенного микрокремнезема (плотность 170 кг/м ³)	190-220	0,004-0,007

Вакуумные теплоизоляционные панели (VIP) в общем случае представляют собой плоские элементы, наполнителем в которых является пористый материал, обеспечивающий формуустойчивость под внешней нагрузкой и атмосферным давлением. Наполнитель помещается в практически газонепроницаемую оболочку, чтобы сохранять заданное качество вакуума. Сопротивление теплопередаче вакуумной теплоизоляции в пять-десять раз лучше, чем у традиционных утеплителей, таких как пенополистирол и минеральная вата. Благодаря высоким характеристикам вакуумная теплоизоляция может обеспечить

непривыденный уровень тепловой защиты при незначительной толщине теплоизоляционных изделий.

На кафедре строительных конструкций МГУ им. Н. П. Огарёва была предложена вакуумная теплоизоляционная панель, состоящая из вакуумированного наноструктурированного порошка частиц диатомита, упакованного в термостойкую полимерную пленку, которая заключена в жесткую пенополиуретановую оболочку-форму, выполненную из двух частей, входящих друг в друга и соединенных между собой полиуретановым клеем (патент РФ №150467, опубл. 20.02.2015).

Наиболее часто вакуумные панели используются в составе многослойных конструкций. Авторы [1] разработали стеновую пятислойную панель, включающую два поверхностных слоя, выполненных из металлических листов, между которыми размещены внутренние теплоизоляционные слои из вакуумной порошковой теплоизоляции, уложенные послойно в ряды с перевязкой швов предпочтительно в соседних слоях таким образом, что один теплоизоляционный слой смешен относительно другого на расстояние не менее толщины слоя, но не более $\frac{1}{2}$ горизонтального размера одного слоя. С обеих сторон вакуумной теплоизоляции расположены защитные слои из пенополиуретана. Все слои скреплены между собой kleящей композицией.

Также известно о конструкции трехслойной стеновой панели, включающей в себя наружный бетонный слой, выполненный из высокопрочного бетона, внутренний бетонный слой из керамзитобетона, промежуточный теплоизоляционный слой из вакуумной теплоизоляции в термостойкой оболочке и каркас в виде замкнутой прямоугольной рамы из композитного швеллера с перемычками, противоположные концы которых продлены до боковых поверхностей панели, выполненными открытыми в виде монтажных проемов. Армирующая сетка, расположенная в наружном бетонном слое, соединена с каркасом по его контуру гибкими связями [2].

Сопротивление теплопередачеограждающих конструкций стены согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» вычисляется по следующим формулам:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{tp}} \cdot m_p, \quad (1)$$

где R_0 – нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; R_0^{tp} – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства.

Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, определяют по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, $\text{сут}/\text{год}$,

отопительного периода; t_b – расчетная температура внутреннего воздуха в здании, $^{\circ}\text{C}$.

Сравнение ограждающих конструкций жилых зданий без утеплителя и с вакуумным утеплителем представлено на рисунках 1 и 2.

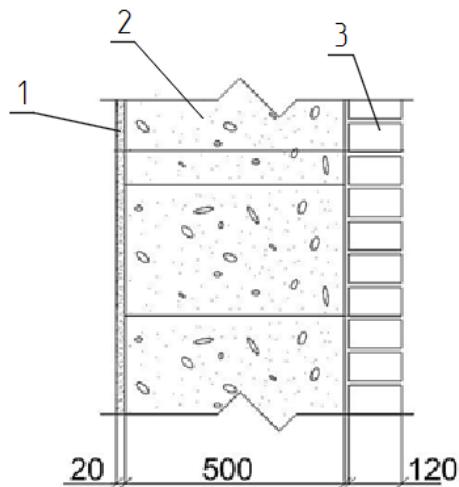


Рис. 1. Ограждающая конструкция стены без утеплителя: 1) известково-песчаная штукатурка; 2) блоки из ячеистого бетона D400, тип IV; 3) лицевой кирпич.

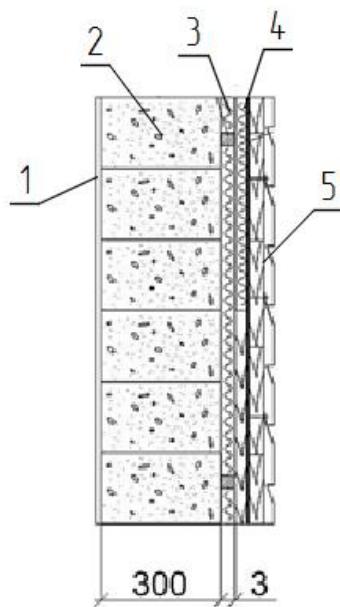


Рис. 2. Ограждающая конструкция стены с вакуумным утеплителем:
1) известково-песчаная штукатурка; 2) блоки из ячеистого бетона D400, тип IV;
3) вакуумная панель; 4) пленка гидро-ветрозащитной для скатной
кровли и фасадов ТехноНИКОЛЬ; 5) виниловый сайдинг Sayga.

С учетом определенного экспериментально коэффициента теплопроводности был проведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилых домов с использованием в качестве теплоизоляционного материала разработанных вакуумных панелей. Требуемое сопротивление теплопередаче для наружных стен должно быть не менее $3,2 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, для кровли – не менее $4,8 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Сопротивление теплопередаче

разработанных теплоизоляционных панелей для наружных стен и кровли [3], согласно выполненным расчетам, удовлетворяют предъявляемым нормам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 99041 Российская Федерация, МПК E04F 13/077 (2006.01) Стеновая многослойная панель / В. П. Селяев, В. И. Травуш, А. К. Осипов, О. Г. Маштаев; заявитель Мордов. гос. ун-т им. Н.П. Огарёва. №2010120159/03; заявл. 19.05.2010, опубл.10.11.2010; Бюл. № 31.
2. Пат. 152710 Российская Федерация, МПК Е 04 С 2/00 Трехслойная стеновая панель / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, П. В. Селяев, Е. И. Куприяшкина, И. П. Долгов; заявитель Мордов. гос. ун-т им. Н.П. Огарёва. № 2014144642; заявл. 05.11.14; опубл. 22.05.14, Бюл. №21.
3. Куприяшкина Л. И., Долгов И. П., Куприяшкина Е. И., Нурлыбаев Р. Е. Новые стеновые теплоизоляционные конструкции [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2016. – № 5. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/novye-stenovye-teploizolyacionnye-konstrukcii> (дата обращения 01.03.2022).

ЗОТОВА К. А., ЛАНКИНА Ю. А., МЕЛЬНИКОВА Н. С.
ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Аннотация. В статье рассмотрены основные мировые тенденции в области внедрения технологий информационного моделирования в зарубежных странах. Обозначены основные меры поддержки со стороны государства для наиболее быстрого и рационального перехода строительной отрасли на BIM технологии. Также рассмотрена модель, описывающая уровни зрелости BIM-технологии.

Ключевые слова: архитектурно-строительное проектирование, BIM-технологии, информационная модель, BIM, страны мира, мировые тенденции, внедрение, стандарты, строительство, эксплуатация, анализ, диаграмма.

ZOTOVA K. A., LANKINA YU. A., MELNIKOVA N. S.
INTRODUCTION OF INFORMATION MODELING METHODS
IN FOREIGN COUNTRIES

Abstract. The article considers the main global trends in implementation of information modeling technologies in foreign countries. The authors outline the main support measures from the state for the most rapid and rational transition of the construction industry to BIM technologies. A model describing the maturity levels of BIM technology is also considered.

Keywords: architectural and construction design, BIM-technologies, information model, BIM, countries of the world, world trends, implementation, standards, construction, operation, analysis, diagram.

Несмотря на то, что понятие технологии информационного моделирования зданий и сооружений в России серьезно рассматривается с 2014 года, сама технология гораздо старше. Сам принцип, лежащий в основе BIM (Building Information Modeling), заимствован из машиностроения и насчитывает более 50 лет. Первая цифровая модель самолёта была создана в начале 70-х годов XX века, что послужило толчком развития цифровых технологий в машиностроении, а затем и в строительстве.

На данный момент в мировой практике серьезно разнятся уровень использования 3D моделирования и BIM-технологий. В большинстве стран мира на уровне государства предприняты те или иные шаги по внедрению этих технологий. По мнению экспертов, BIM-технологии только начинают набирать свою эффективность от применения и только сейчас технологическое оснащение и вычислительные возможности позволяют в полной мере получить преимущества BIM.

Внедрение цифровых технологий отражает мировые тенденции. Можно сделать общее деление направлений:

- развитие современных цифровых инструментов труда работников организаций инвестиционно-строительной сферы;
- развитие государственных информационных систем в целях повышения эффективности государственных услуг и сервисов.

Необходимость развития цифровых технологий в строительстве напрямую связана с конкурентоспособностью российских компаний на мировом рынке [1]. Проанализируем внедрение технологий информационного моделирования в странах, где это происходит наиболее успешно.

В 2012 году в Белоруссии была утверждена «Отраслевая программа по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации и проектирования и поддержки жизненного цикла здания, сооружения», основанная на следующих принципах построения комплексных систем автоматизированного проектирования:

- информационное моделирование зданий и объектов градостроительной деятельности;
- сквозная технология автоматизированного проектирования;
- единое информационное пространство для коллективной работы проектировщиков;
- автоматизация управления проектными работами;
- электронный архив инженерной документации [2].

Реализация BIM-технологий в Казахстане началась в 2016 году с государственной программы «Концепция внедрения технологии информационного моделирования в промышленное и гражданское строительство Республики Казахстан». Информационное моделирование получило аббревиатуру ТИМСО–технология информационного моделирования строительных объектов.

Основные мероприятия в рамках концепции включают: адаптацию мировых стандартов ISO, разработку нормативной документации обязательного и рекомендательного применения, внесение изменений в действующую нормативную документацию, создание базы данных с удаленным доступом к хранящимся проектам, применение классификатора для всех разрабатываемых элементов, обеспечение роли заказчика как ведущей в управлении процессом информационного моделирования, реализация образовательных программ высшего и дополнительного образования [3].

Информационное моделирование в странах Бенилюкса осуществляется через общую экспертную организацию, но и государственные структуры активно участвуют в поддержке этой организации, в том числе через требование использования BIM с форматом IFC. В

Нидерландах государственные заказы выполняются только с применением BIM. Частные предприятия так же активно стараются активно применять данные технологии [4].

В Голландии и еще 23 странах мира, начиная с 2003 года, работают над совершенствованием BIM-технологий с единым обменным стандартом элементов здания в формате IFC. Голландское правительство следует основной идеи:

- поиск способа снижения стоимости и ускорения строительства;
- поддержание высокого уровня эксплуатации, уменьшение потребления ресурсов.

В Великобритании внедрение технологий курировала специально созданная в мае 2011 года на государственном уровне «Британская рабочая группа по внедрению BIM и цифрового строительства». Соединенное Королевство является мировым лидером по внедрению BIM-технологий в проектах, финансируемых из государственного бюджета. С 2016 года в стране введён BIM мандат, обязывающий все государственные проекты реализовывать с применением информационных технологий. Главной стратегией правительства по внедрению BIM является:

- снижение капитальных затрат;
- снижение выбросов CO₂ при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Большой толчок в развитии BIM стандартов дало проведение в июле 2012 года летних Олимпийских игр в Лондоне, подготовка к проведению которых началась в 2005 году. Разработка детальных BIM моделей Олимпийских объектов и строительство с применением цифровых технологий позволило применить передовые дизайнерские решения, выдержать жесткие сроки и ввести объекты в эксплуатацию. Например, Лондонский стадион удалось построить за 1000 дней и ввести в эксплуатацию на 3 месяца раньше запланированного срока, сэкономив при этом финансовые средства по сравнению с первоначальным объектом в размере 10 миллионов фунтов стерлингов [5].

Внедрение BIM в Дании началось давно – эта страна является одной из первых, внедрившей технологии информационного моделирования. При этом переход на информационные технологии имеет не только внутригосударственные интересы, но и помогает датским компаниям оставаться конкурентоспособными на международном рынке. Процесс перехода Дании на BIM имеет ряд особенностей:

- внедрение в Дании технологий информационного моделирования на государственном уровне всегда исходило инициативой от частных компаний;
- государство требует использования в государственных бюджетных строительных проектах применение «информационно-коммуникационных технологий» (ICT – Information and Communication Technology).

Основные требования по использованию BIM относятся к инвесторам и заказчикам зданий и включают: координацию ICT, управление цифровыми объектами, координацию цифровую и сетевую, использование информационной модели, цифровое участие в тендерных процедурах, предоставление в цифровом виде строительной документации, а также цифровую инспекцию проектов [6].

Финляндия, близкая к России по ряду условий, стала участником проекта BIM Exchange по разработке единого классификатора строительных элементов на основе опыта Дании, в котором так же участвуют Норвегия, Швеция, Литва, Латвия и Эстония. В Финляндии процесс внедрения BIM (в основном, моделирование) в сфере строительства начался в 1990-х годах. В ходе развития, начиная с 2007 года, ввелось требование государственных служб, отвечающих за строительство, в виде применения информационных технологий для проектов. В начале оно представляло собой соблюдение национальных стандартов и соответствие стандарту IFC, но со временем сформировался документ COBIM (Common BIM Requirements). В ходе использования и переосмыслиния 27 марта 2012 года внедрена новая редакция данного документа – COBIM 2012, актуальная и по сей день. В нем были переработаны разделы, а также добавлены совершенно новые. Для недопущения путаницы в дальнейшем была введена версионность документа, на текущий момент – v1.0. Целью COBIM является систематизация и разработка в Финляндии общих требований по использованию информационных технологий на стадиях жизненного цикла объекта, что позволило повысить рентабельность и доходность BIM в строительстве [7].

В Норвегии с 2010 года на законодательном уровне закрепили использование технологий информационного моделирования в соответствии со стандартами IFC/IFD для проектов с участием государства. Некоммерческие организации являются основными элементами по внедрению BIM-технологий в Норвегии и странах Северной Европы.

Деятельность некоммерческих организаций придерживается тех же целей, что и большинство стран Северной Европы, а именно: разработка и совершенствование национальных и международных стандартов для BIM, обмен опытом в использовании Open BIM, координация внедрения технологий информационного моделирования на международном уровне и повышение конкурентоспособности [8].

В Германии цифровое проектирование и строительство достаточно давно стало стандартом на всей территории. Основной принцип внедрения BIM технологий в Германии: «строительство сначала цифровое, а потом реальное». В 2015 году в Германии был разработан стратегический план развития, создан региональный центр компетенции, а также выделены первые 50 миллионов евро на поддержку 30 pilotных проектов различного назначения. Немецкое отделение экспертного сообщества запустило в Германии программу

поддержки внедрения BIM, которая позволила реализовать ряд пилотных проектов. Целью этого было выявить и оптимизировать использование BIM, демонстрируя при этом преимущества работы. Среди реализованных в рамках данной программы – крупнейшие проекты по строительству туннелей, мостов, дорог. Так же было приложено много усилий для разработки стандартов BIM. В 2005 году в Германии был создан «Объединенный комитет электроники в строительстве», призванный автоматизировать процесс обмена строительными данными. Данный стандарт содержит информацию о порядке и составе передаваемой информации на разных этапах выполнения проекта. Стандарт содержит подразделы, описывающие объем передаваемой информации. Они носят названия X51 и X52 [9].

Одним из примеров внедрения BIM-технологий в строительный сектор Канады является реконструкция стадиона Park Olympic de Montre и его последующая эксплуатация. В процессе реконструкции была произведена перепланировка стадиона с добавлением дополнительных офисов, что потребовало внесения изменений в конструкции окон, а также повлекло последующие изменения в его эксплуатации. За счёт воссозданной модели стадиона, легкого доступа к необходимой документации и возможности добавлять и убирать элементы, стоимость строительных работ снизилась по отношению к планируемой. При этом эксплуатация стадиона как спортивного объекта в процессе реконструкции не прекращалась, а была изменена в связи с проводимой перестройкой. В Канаде создан специальный правительственный орган Canadian BIM Council, который занимается управлением внедрения технологий информационного моделирования в строительную отрасль Канады [10].

Активное развитие технологий информационного моделирования в США началось после 2003 года, когда управление службы общего назначения (GCA), служба общественных зданий (PBS), а также управление главного архитектора (ОСА) учредили национальную программу «3D-4D-BIM». Применение технологии BIM стало обязательным для всех крупных проектов, получающих государственное финансирование с 2007 года. Широкое использование технологий информационного моделирования в Северной Америке увеличилось с 28% в 2007 году до 71% в 2012 году. Исследование, проведенное компанией McGrawHill в 2014 году, показало, что BIM в США активно применяется для взаимодействия между подрядчиками. McGrawHill разработал индекс вовлеченности BIM для измерения уровня участия подрядных организаций, определивший, что в США имеется 21% пользователей с низким уровнем, а также 22% с высоким и очень высоким уровнем вовлеченности в BIM [10].

Сингапур с 2007 года начал активно внедрять BIM технологии при строительстве и эксплуатации. В 2011 году появились первые обязательные требования по использованию данных технологий. С 2013 года все строительные объекты площадью более 20 тыс. кв. м должны реализовываться с помощью BIM-технологий, а с 2015 года – все строительные объекты площадью более 5 тыс. кв. м. Согласно дорожной карте, предоставленной правительством Сингапура, основной задачей BIM является выполнение следующих пунктов:

- полное 3D-моделирование строительства, в том числе наличие 3D-моделей всех включенных элементов на протяжении всей «жизни» объекта;
- сокращение времени для обнаружения и решения любых возникающих проблем;
- возможность координировать, планировать и контролировать сроки выполнения задач;
- упрощение доступа и хранения любой документации, связанной со строительством;
- возможность точечного подсчёта необходимых деталей, персонала, инструментов;
- полный контроль над всеми «бытовыми» процессами (вода, электричество и т.д.).

В начале 90-х годов в Сингапуре стартовала ИТ инициатива CORENET (Construction and Real Estate Network) с целью пересмотреть концепцию бизнес-процессов в строительной отрасли для повышения качества и производительности труда. Реализация такого проекта предполагала одновременное выполнение в Сингапуре и других странах отработанной технологии моделирования зданий, наличие эффективных программ, адаптация проектных требований, разработка алгоритмов требований к проектам [11].

Для оценки степени внедрения BIM технологии Марком Бью и Мервином Ричардсом была разработана модель уровней зрелости BIM (диаграмма Бью-Ричардса) (рис. 1) [12]. Данная модель описывает уровни зрелости BIM-технологии, уровни внедрения в организации или стране в целом. Данная диаграмма наглядно демонстрирует степень полноты внедрения технологии информационного моделирования, показывает переход от классических чертежей САПР к комплексному BIM-решению. Мервин Ричардс и Марк Бью выделили 4 основных уровня зрелости BIM, которые показывают степень внедрения и использования BIM технологии: уровень 0 соответствует традиционному CAD в 2D-формате, уровень 1 предполагает частичное использование 3D моделирования (модель используется, в основном, для визуализации будущего проекта); на уровне 2 разрозненные модели собираются в сводную модель, при этом предполагается добавление календарных графиков реализации проекта и стоимостные показатели; уровень 3 предполагает создание интегрированной модели, которая создается и используется всеми участниками процесса реализации на протяжении всего жизненного цикла.

На сегодняшний день реализация BIM технологии в разных странах находится на разных уровнях зрелости, так, например, в США и Великобритании достигнут «уровень 2» по диаграмме Бью-Ричардса. Достижение данного уровня означает полный переход взаимодействия участников в единую информационную среду, использующую трехмерные модели объектов капитального строительства на всех этапах жизненного цикла. Для таких стран как Беларусь и Казахстан характерен «уровень 1» зрелости BIM.

ДИАГРАММА БЬЮ-РИЧАРДСА

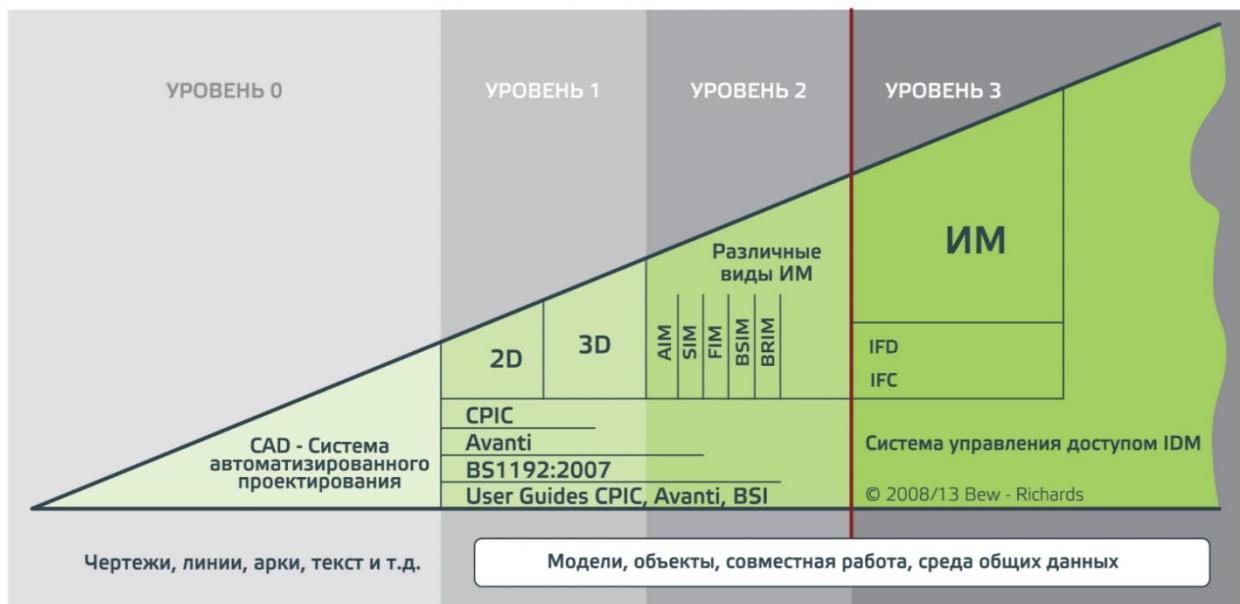


Рис. 1. Диаграмма Бью-Ричардса [12].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в рассмотренных странах с разной интенсивностью идут процессы внедрения BIM-технологий на стадии проектирования и эксплуатации объектов капитального строительства. В развитых странах Западной Европы, Северной Америки и Азии принятые государственные программы, регламентирующие обязательное применение BIM-технологий при реализации строительных проектов, финансируемых за счёт государственного бюджета. Развивающиеся государства не разрабатывают свои нормативные документы и программное обеспечение для выполнения проектов с использованием BIM, а используют заимствованные из США и Великобритании с адаптацией их к своим условиям.

Проведенный анализ показал, что основными проблемами и препятствиями для внедрения BIM для архитектурно-строительного проектирования в зарубежных странах являются:

- отсутствие однозначных требований со стороны государств к применению BIM при реализации строительных проектов, финансируемых за счёт государственного бюджета;
- отсутствие компетенций в области BIM у всех участников процесса строительства, работающих с проектной документацией;
- недостаточное развитие информационной инфраструктуры в масштабах государства;
- неразвитость национальных производителей программного обеспечения;
- особенности национальной нормативной базы в области проектирования и строительства;
- государственные языки, отличные от английского, на котором разрабатываются передовые документы и интерфейсы программного обеспечения в области BIM.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талапов В. В. Основы BIM: Введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Талапов В. В. Внедрение BIM в Республике Беларусь: краткая история и взгляд со стороны [Электронный ресурс] // Строительный эксперт. – 2015. – Статья от 7 декабря 2015. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/5071> (дата обращения 02.03.2022).
3. Талапов В. В. Концепция внедрения BIM в Казахстане: основные факты [Электронный ресурс] // САПР и Графика. – 2018. – №6. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25657> (дата обращения 7.02.2022).
4. Талапов В. В. Развитие BIM в странах Бенилюкса [Электронный ресурс] // Строительный эксперт. – 2016. – Статья от 2.02.2016. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/5408> (дата обращения 3.02.2022).
5. Внедрение BIM: впечатляющий опыт Великобритании [Электронный ресурс] // Сметчик.рф. – 2019. – Статья от 03.02.2019. – Режим доступа: <https://www.xn--e1aggfyi9a.xn--p1ai/articles/interesnye-1/vnedrenie-bim-vpechatlyayuschiy-opyt-velikobritanii> (дата обращения 5.02.2022).
6. Талапов В. В. BIM в Дании – средство продвижения национальных интересов [Электронный ресурс] // Строительный эксперт. – 2015. – Статья от 29 декабря 2015. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/5217> (дата обращения 6.02.2022).
7. Талапов В. В. Финляндия – еще один мировой BIM-лидер [Электронный ресурс] // САПР и Графика. – 2016. – №2. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25125> (дата обращения 10.02.2022).

8. Талапов В. В. Использование BIM в Дании, Норвегии и Швеции [Электронный ресурс] // САПР и Графика. – 2016. – №6. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25230> (дата обращения 11.02.2022).
9. План внедрения BIM в Германии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allbau-software.de/index.php/prochie-novosti/319-bim-v-germanii.html> (дата обращения 28.01.2022).
10. Талапов В. В. Внедрение BIM в США и Канаде. Что происходит с внедрением BIM в Северной Америке – статистический анализ McGraw-HillConstruction [Электронный ресурс] // ISICAD. – 2013. – Статья от 9 января 2013. – Режим доступа: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15844 (дата обращения 27.01.2022).
11. Талапов В. В. Внедрение BIM в Сингапуре: впечатляющий опыт [Электронный ресурс] // САПР и Графика. – 2016. – №1. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25120> (дата обращения 6.02.2022).
- 12 Диаграмма Бью-Ричардса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://domrf-academy.ispringlearn.ru/content/info/1558> (дата обращения 8.02.2022).

КУПРИЯШКИНА Л. И., УСАНОВА Е. Ю., ЕРМОЛАЕВ Д. Н.

ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние микрокремнезема, полученного на основе модифицированного природного диатомита, на основные характеристики строительного раствора. Приведено изменение элементного состава диатомита при его модификации. Показано воздействие модификации диатомита на изменение порового пространства цементного камня.

Ключевые слова: морозостойкость, строительный раствор, пористость, прочность, водопоглощение, микрокремнезем, диатомит.

KUPRYASHKINA L. I., USANOVA E. YU., ERMOLAEV D. N.

THE EFFECT OF MICROSILICA

ON FROST RESISTANCE OF MASONRY MORTAR

Abstract. This article examines the effect of microsilica obtained on the basis of modified natural diatomite on the basic characteristics of the mortar. The change in the elemental composition of diatomite during its modification is provided. The effect of diatomite modification on the change in the pore space of cement stone is shown.

Keywords: frost resistance, mortar, porosity, strength, water absorption, microsilica, diatomite.

По требованиям СП 15.13330.2020, п. 4.1, «При проектировании каменных и армокаменных конструкций следует применять конструктивные решения, изделия и материалы, обеспечивающие требуемую несущую способность, долговечность... и температурно-влажностный режим...». Если говорить об эксплуатации конструкций на территории России, где основная часть территории относится к областям с длительным периодом отрицательных температур и большим количеством переходов через точку в 0°C в течении всего года, то одним из основных агрессивных факторов внешней среды, влияющим на долговечность конструкций, является циклическое замораживание-оттаивание, в связи с чем морозостойкость можно считать одним из основных показателей качества цементного раствора.

Цементный камень является капиллярно-пористым материалом, поэтому одними из важнейших характеристик его структуры являются параметры его порового пространства. Результаты экспериментальных исследований, проведенных Ахвердовым И. Н. [1], Горчаковым Г. И. [2], Шейкиным А. Е. и другими учеными, показывают, что все важные для

практики свойства цементного камня находятся в прямой зависимости с характером его порового пространства, которое представляет собой все пространство цементного камня, не занятое твердой фазой исходных материалов и новообразований [3].

В матрице цементных силикатных новообразований в процессе твердения цементных композитов формируются поры различных видов: поры CSH-геля, капиллярные и контракционные поры.

Капиллярные поры, образуемые «капиллярной» испаряющейся водой, имеющей с материалом физико-механическую связь, расположены между агрегатами частиц цементного геля. Капиллярные поры являются путями фильтрации воды через бетон, и вода в них начинает замерзать при $-1 \div -2$ °С. Контракционные поры образуются вследствие уменьшения абсолютного объема системы «цемент–вода». При замерзании бетона контракционные поры играют роль своеобразных запасных резервуаров, в которые может отжиматься часть воды из капиллярных пор, что способствует уменьшению давления замерзающей воды на стенки капиллярных пор и повышает морозостойкость бетона [4].

Поры CSH-геля представляют собой промежуточное пространство между частицами гидратированного цемента, образовавшееся испаряющейся водой, адсорбционно связанной в гидратных оболочках частиц геля. Пауэрс Т. и др. предполагают, что данный вид пористости занимает 28% объема образованного цементного геля [5]. В структуре цементного камня имеются также поры с воздухом, вовлеченным в раствор при его перемешивании.

При замерзании вода, проникшая в тело цементного камня через открытые капиллярные поры, увеличивается в объеме примерно на 9%. В результате в материале возникают критические напряжения и механические деформации, что вызывает разрушение его структуры. Поэтому для повышения морозостойкости цементного камня необходимо формирование структуры с минимальным количеством открытых пор, заполняемых водой, и максимальным количеством «резервных» закрытых пор, куда может отжиматься вода при замерзании. Чем выше относительный объем «резервных» пор по сравнению с общим объемом пор, заполненных водой, тем выше морозостойкость раствора. Резервными являются условно-замкнутые поры [3].

Известны работы [6], где с целью повышения морозостойкости на основании гипотезы Т. Пауэрса «об интервале пор» [5] в бетоне создают искусственную замкнутую пористость (воздухововлекающими и пенообразующими добавками). На роль такой добавки можно рассматривать микрокремнезем, полученный модификацией природного диатомита, обработанного 2М раствором соляной кислоты. Это позволяет уменьшить содержание примесей в породе и увеличить содержание чистого оксида кремния. Анализ изменения элементного состава приведен в таблице 1.

Таблица 1
Элементный состав природного и модифицированного диатомита

Диатомит	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
природный	86,9	1,33	1,47	2,84	4,59	0,37	0,15	2,18
модифицированный	92,1	-	0,32	0,44	3,06	0,35	0,19	0,44

Известно, что введение в состав цементных растворов минеральных наполнителей приводит к изменению прочностных показателей и плотности. Было проведено исследование по изучению влияния модифицированного диатомита на основные свойства растворных смесей. Исследуемые составы приведены в таблице 2.

Таблица 2
Составы модифицированных цементных растворов

№ состава	Цемент, гр	Известь, гр	Диатомит модифици- рованный, гр	Песок, гр	В/Ц	R _{сж} , кг/см ²	Плотность, г/см ³
1	30	0	10	60	2,67	79,2	1,735
2	25	5	10	60	3,2	66,7	1,653
3	20	10	10	60	4,0	42,9	1,667
4	30	0	20	50	2,67	78,6	1,513
5	25	5	20	50	3,2	67,4	1,469
6	20	10	20	50	4,0	60,1	1,507
7	30	0	25	45	2,67	72,8	1,512
8	25	5	25	45	3,2	83,3	1,452
9	20	10	25	45	4,0	48,8	1,308

Анализ полученных экспериментальных данных изменения прочности и плотности цементных композитов от количества диатомита и извести показал, что наибольшей прочностью обладает состав №8 с содержанием диатомита 25% и извести до 5%. Экспериментальные данные по изменению плотности подтверждают, что оптимально подобранный (по прочности) состав обладает практически наименьшей плотностью – 1,45 г/см³.

При содержании диатомита 25% и дальнейшем увеличении количества извести можно добиться уменьшения плотности до 1,3 г/см³, но это приводит к потерям по прочности. Для дополнительного снижения плотности осуществили повышение концентрации диатомита до 30% (при 5% содержании извести), что привело к снижению прочности до 70,4 кг/см²

(допустимо согласно ГОСТ Р 58766-2019) и плотность до 1,18 г/см³, что соответствует легким растворам (ГОСТ Р 58766-2019). Показатели плотности и порового пространства составов с содержанием модифицированного диатомита 20 и 25% приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исследование порового пространства

№ состава	W _B , %	W _O , %	W _P , %	Π, %	ρ _o , г/см ³	K _M	λ ₂	α
4	27,85	36,21	24,05	38,17	1,23	0,864	4,075	0,623
5	37,18	43,09	37,18	44,32	1,11	1,000	1,873	1,305
6	27,91	34,88	24,42	39,71	1,22	0,875	12,220	0,292
7	32,93	41,15	29,27	42,73	1,15	0,889	7,538	0,474
8	33,33	41,15	29,63	41,50	1,18	0,889	5,716	0,549
9	23,86	32,00	20,45	38,10	1,23	0,857	9,195	0,186

где W_B – водопоглощение по массе; W_O – объемное водопоглощение; W_P – равновесное поглощение; Π – пористость; ρ_o – плотность; K_M – коэффициент микропористости; λ₂ – средний показатель пор; α – однородность пор по размеру.

Изменение характера пористости цементного камня со значительным увеличением объема пор, с уменьшением их размеров и изолированностью при одновременном «уплотнении» структуры не может не сказать положительно на повышении морозостойкости и других свойств, в том числе способствовать существенному увеличению их долговечности. Данное предположение подтверждается рядом работ, в которых введение микрокремнезема, благодаря его развитой внутренней пористости (поры преимущественно представлены микрополостями и микрокапиллярами), значительно уменьшает скорость морозной деструкции независимо от начального водоцементного отношения [7; 8].

Таким образом, введение микрокремнезема в состав кладочного раствора, благодаря его собственной повышенной дисперсности и высокой пущолановой активности, в результате которой происходит выделение дополнительных кристаллов CSH-геля, положительно влияет на структуру цементного камня. Уменьшение объема капиллярных пор снижает риски проникновения влаги в тело цементного камня, а увеличение количества закрытых и равномерно распределенных пор геля ведет к релаксации возникающих при замерзании воды напряжений, так как поры CSH-геля играют роль демпферов. Эти изменения, в свою очередь, приводят к повышению морозостойкости материала, а значит и его долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Горчаков Г. И., Орентлихер Л.П., Савин В. И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1976. – 145 с.
3. Шейкин А. Е. Чеховский Ю. В., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
4. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
5. Powers T. C. Working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete // Journal of American Concrete Institute. – 1945. – No. 4. – Vol. 16. – P. 3–32.
6. Корсун А. М., Батяновский Э. И. Морозостойкость цементного бетона во взаимосвязи с искусственно создаваемой пористостью // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 169–184.
7. Рахимбаев Ш. М. Процессы кольматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. – 2013. – № 4. – С. 30–32.
8. Оськин К. В. Долговечность бетонов в ограждающих конструкциях при совместном действии влаги и знакопеременных температур: дисс. ... канд. тех. наук: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». – Саранск, 2007. – 232 с.

АДЕКАЕВА Д. Р., АНТРОПКИНА А. О., УТКИНА В. Н.
СОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ
В СИСТЕМАХ AUTOCAD И ARCHICAD

Аннотация. Выполнено формирование архитектурной пространственной модели офисного здания в системах AutoCAD 2020 и ArchiCAD 25. Определена технологическая последовательность создания модели. Представлены результаты моделирования.

Ключевые слова: информационная модель здания, архитектурное моделирование, офисное здание, система автоматизированного проектирования, AutoCAD 2020, ArchiCAD 25, результаты.

ADEKAEVA D. R., ANTROPKINA A. O., UTKINA V. N.
ARCHITECTURAL MODELING OF OFFICE BUILDING
IN AUTOCAD AND ARCHICAD SYSTEMS

Abstract. The architectural spatial model of an office building was formed in the AutoCAD2020 and ArchiCAD25 systems. The technological sequence of model creation is determined. The modeling results are presented.

Keywords: building information model, architectural modeling, office building, computer-aided design system, AutoCAD 2020, ArchiCAD 25, results.

В современном строительстве практически в любом направлении есть место инновациям и новшествам. Технологии информационного моделирования все больше и больше захватывают различные области человеческой жизни. Появляются принципиально новые подходы в архитектурно-строительном проектировании, заключающиеся в создании компьютерной модели здания, которая несет в себе всю необходимую информацию об объекте для дальнейшего оснащения, эксплуатации, реконструкции, ремонта и управления.

Информационное моделирование зданий (от английского Building Informational Modeling, сокращенно BIM) – это процесс, в результате которого формируется информационная модель здания. Концепция информационного моделирования зданий служит для того, чтобы хранить огромный поток информации, уменьшить количество коллизий и предоставить ее в удобной форме для проектировщиков, а также сократить сроки строительства и затраты всего жизненного цикла объекта, повысить надежность зданий и сооружений [1].

В России долгое время не было четкого определения BIM-технологий. Актуальность использования информационного моделирования постоянно растет из-за разработки все более сложных и грандиозных объектов, которые невозможно спроектировать и построить при

помощи устаревших подходов [2]. Самым распространенным программным обеспечением в строительных организациях России являются системы автоматизированного проектирования AutoCAD компании Autodesk и ArchiCAD от Graphicsoft, которые непрерывно развиваются и совершенствуются.

Цель работы – изучение и сравнение функциональных возможностей современных версий программных комплексов AutoCAD 2020 и ArchiCAD 25 для создания архитектурной модели офисного здания.

Проектируемым объектом является трехэтажное офисное здание сложной формы. На первом и втором этажах располагаются офисные помещения, которые имеют типовую планировку и выполнены по технологии «Open Space». Третий этаж предназначен для конференц-зала. Входные группы включают тамбур и помещение для охраны. Для сообщения между этажами здания предусмотрены лестничные клетки. Высота здания до наивысшей отметки конструктивного элемента составляет +11,064 м. Высота этажей равна 3,000 м. В плане здание представляет собой квадрат. Размеры здания в осях А – Г и 1 – 4 составляют 20,000 м.

Конструктивная система здания – бескаркасная с несущими стенами. Вертикальные и горизонтальные несущие элементы обеспечивают прочность, жесткость и устойчивость здания. Конструкции перекрытия и покрытия воспринимают приходящиеся на них вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия, передавая их поэтажно на наружные и внутренние стены, которые, в свою очередь, передают эти нагрузки через фундаменты основанию. На рисунках 1 и 2 представлены план 1-го этажа и разрез офисного здания, выполненные в AutoCAD 2020.

Для 3D-моделирования объекта в AutoCAD 2020 удобнее всего вывести несколько видовых экранов. На них можно выстроить разные визуальные стили (реалистичный, концептуальный, каркас, скрытый, эскизный и др.) и виды для проектирования будущего здания (вид спереди, слева, справа, изометрическую поверхность и др.). Архитектурное моделирование офисного здания (от создания типового этажа до реалистичной модели объекта) выполняется согласно определенной технологической последовательности [3–5].

Для построения пространственной модели здания переходим в рабочее пространство 3D. AutoCAD 2020 предоставляет пользователю весь необходимый набор для создания и редактирования пространственных моделей. Команды, предназначенные для 3D-моделирования твердых тел, находятся на ленте «Тело». В AutoCAD 3D-модель создается с помощью примитивов: «Ящик», «Цилиндр», «Сфера». Построение проводят с помощью команд: «Выдавить», «Вытягивание», «Вращение», «Сдвиг» и «Лофт». Работа с многотельными моделями предполагает выполнение булевых операций над телами

«Объединение», «Вычитание», «Пересечение». Так, например, с помощью команд «Ящик» и «Вытянуть» идет построение стен, фундаментной плиты, перекрытий и покрытий офисного здания (рис. 3).

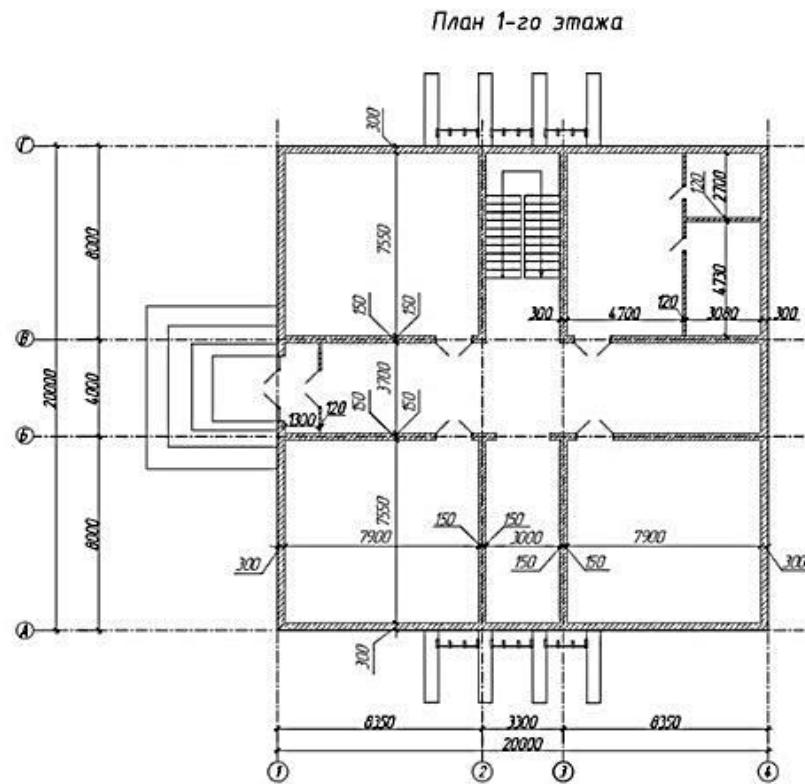


Рис. 1. План 1-го этажа в AutoCAD2020.

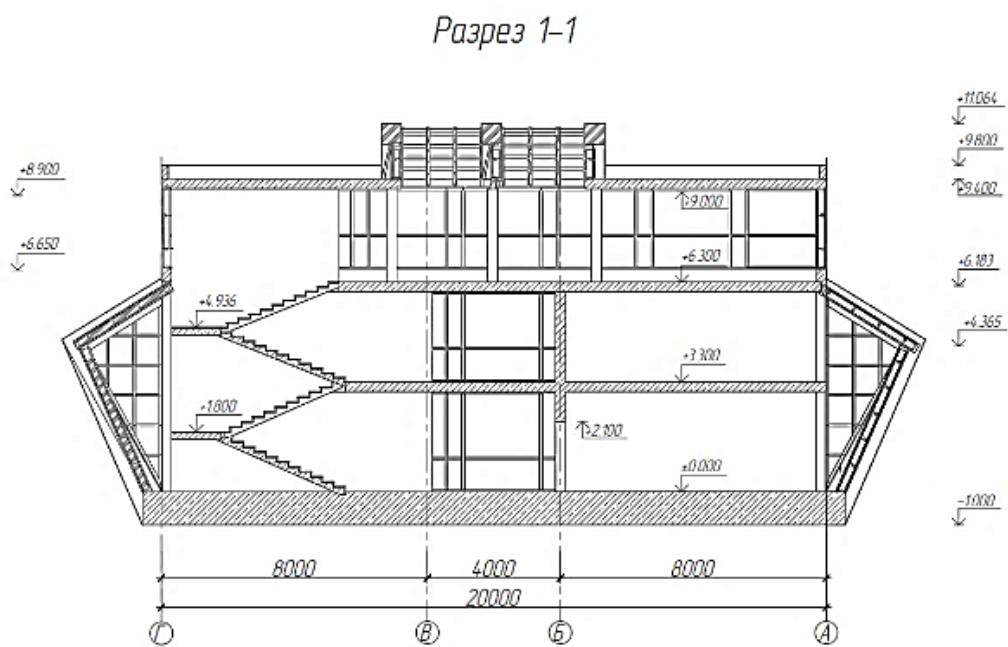


Рис. 2. Разрез 1–1, выполненный в AutoCAD 2020.

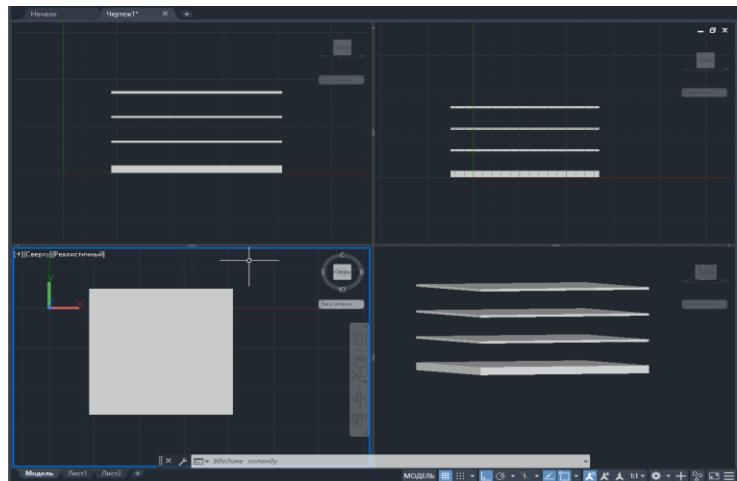


Рис. 3. Перекрытия этажей.

Затем вырезаются проемы в стенах под окна и двери. Итак, создаем для начала замкнутый контур произвольной конфигурации. В нашем случае это контур проема под витраж. Затем во вкладке «Главная» раздела «Моделирование» выбираем команду «Выдавить», выделяем наш контур и вытягиваем, получая 3D тело (рис. 4).

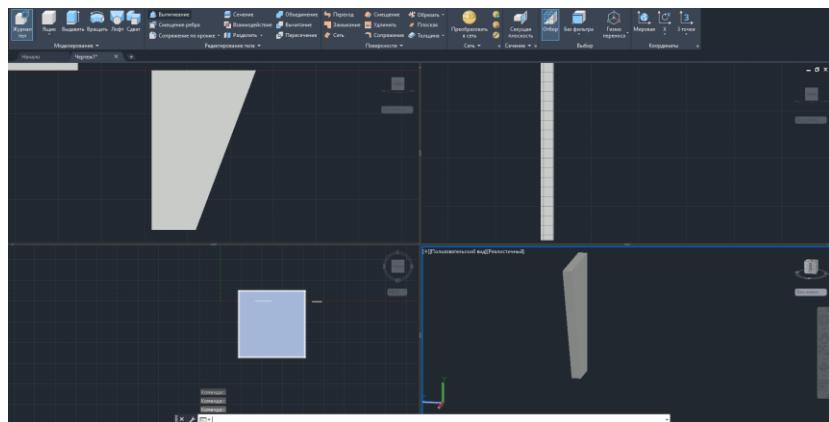


Рис. 4. 3D-тело по форме проема в стене.

Вырезаем из стены проемы при помощи 3D-тел. Необходимо расположить их точно по месту, чтобы они пересекали стену с помощью команды «Тело, вычитание». Модель здания с готовыми проемами показана на рисунке 5.

Модуль визуализации AutoCAD 2020 предназначен для простого получения фотorealистичных изображений. Возможно создание и настройка разных источников света и теней. Имеется обширная библиотека материалов и текстур.

Чтобы изменить геометрические параметры уже существующих элементов, выделяем те, которые нас интересуют, и в контекстном меню выбираем «Свойства». В появившемся окне можно изменять ряд параметров, в том числе и геометрические характеристики.

Изменить размеры можно и динамическим способом. Для этого просто тянем за характерные точки элементов (углы, центры ребер) и вписываем нужные нам значения.

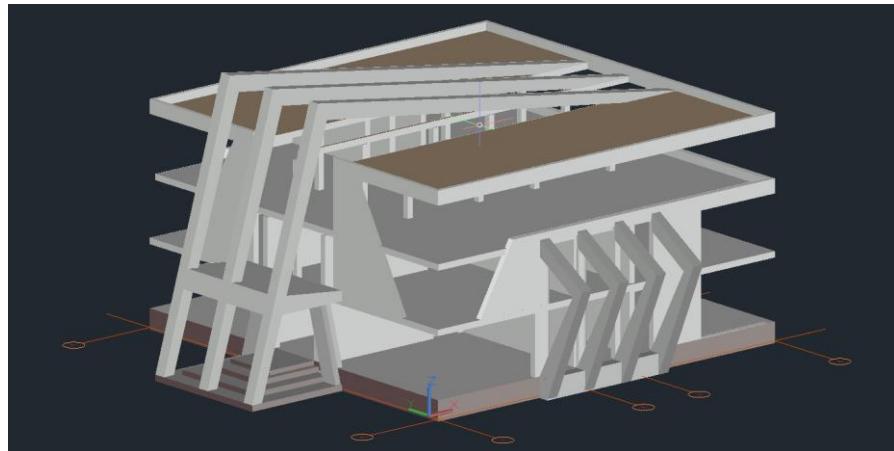


Рис. 5. Модель здания с готовыми вырезанными проемами.

Теперь, когда отдельные элементы представляют модель офисного здания, необходимо присвоить им соответствующие материалы. Готовая пространственная модель офисного здания представлена на рисунке 6.

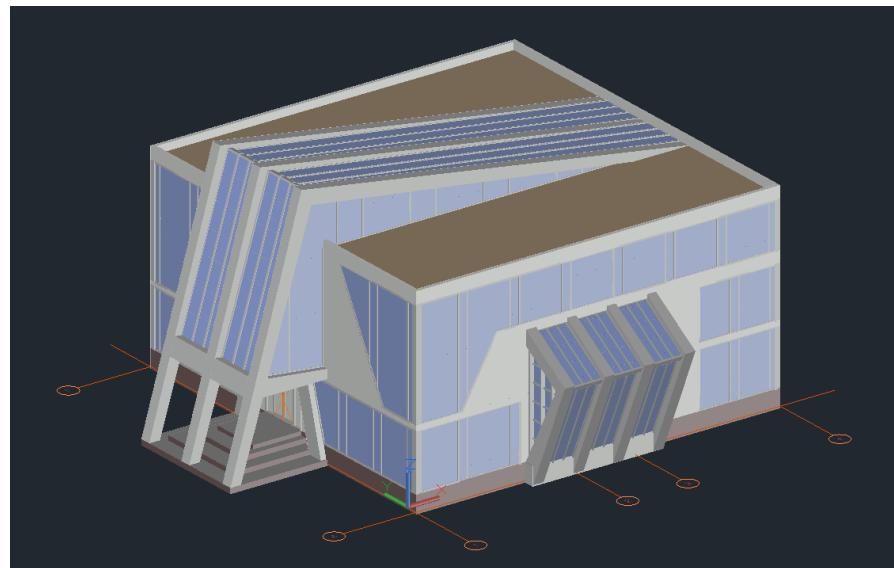


Рис. 6. 3D-модель офисного здания, выполненная в AutoCAD2020.

Рассмотрим основные функции и возможности системы ArchiCAD 25 в ходе разработки архитектурной модели офисного здания.

ArchiCAD – основной программный продукт компании Graphisoft, которая с 2007 г. входит в состав концерна Nemetschek Group. Это единая объектно-ориентированная трехмерная система автоматизированного проектирования, предназначенная для решения

архитектурно-строительных задач. Одним из направлений является OPEN BIM – подход, направленный на открытое межплатформенное взаимодействие при обмене данными на уровне информационного моделирования зданий [5].

Моделирование здания в ArchiCAD 25 ведется поэтажно. Модель и ее проекции можно редактировать по отдельности в разных окнах для гибкой настройки геометрии. Можно передвигать и изменять размеры стен, перекрытий, дверей, окон и других элементов. В различных проекциях можно отображать 3D-текстуры и тени, а также выполнять штриховку этих текстур [6].

На панели инструментов выбираем «Инструмент стена». В появившемся диалоговом окне задаем нужные нам параметры (высота, толщина, привязка, материал и т. д.), и затем расставляем стены по периметру здания и по осям внутри помещений. Перекрытие создается с помощью «Инструмент перекрытие». В этой же панели, во вкладке «Геометрический вариант» выбираем «Прямоугольное» [7].

Результат построения в 3D на данном этапе представлен на рисунке 7.

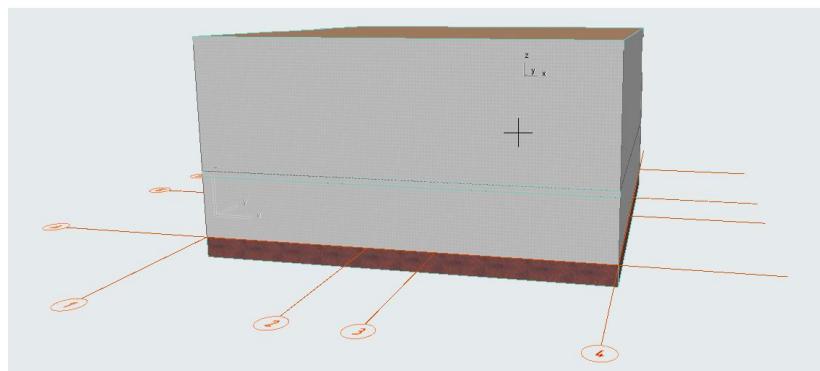


Рис. 7. Результат построения на данном этапе.

Далее нужно вырезать проемы для витражей и дверей. В здании проемы нестандартные, поэтому делаются вручную. Вычерчиваем полилинией контур будущего проема при помощи динамического ввода. Для работы со сложной формой здания в ArchiCAD 25 используется инструмент «Морф». С его помощью можно создавать криволинейные формы, поверхности вращения и контуры. Переходим в режим 3D, вытягиваем наш морф через команду «Выдавливание по пути», задаем значение (больше толщины стен) и получаем объемный морф (рис. 8).

Наклонные элементы создаются так же с помощью полилинии и инструмента «Морф». Модель здания после создания наклонных элементов и основной входной группы представлена на рисунок 9.

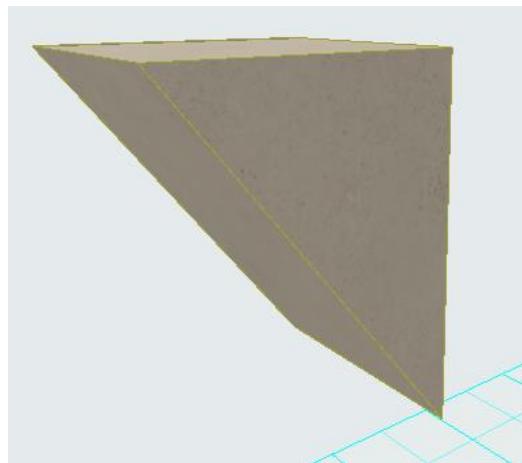


Рис. 8. Выдавливание морфа.

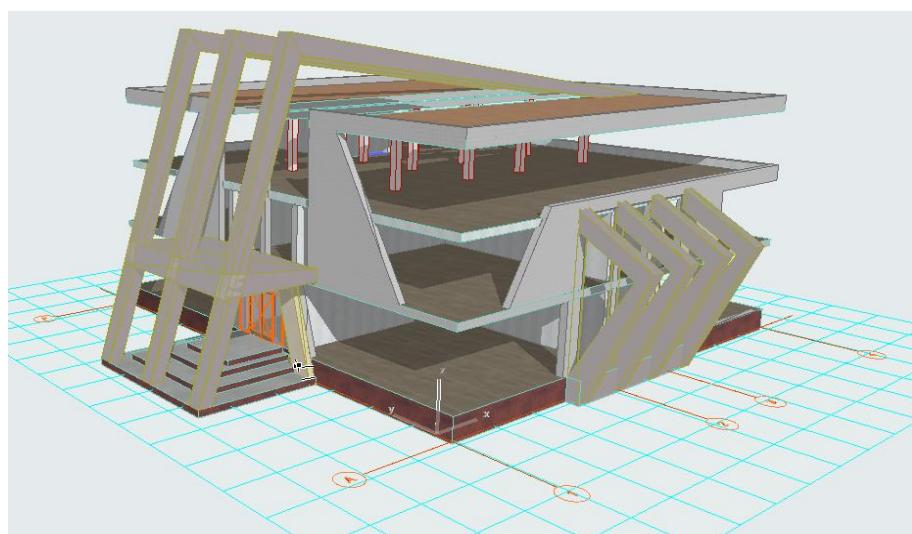


Рис. 9. Модель здания на данном этапе.

Проемы под витражи выполняем с помощью инструмента «Навесная стена». Геометрический вариант выбираем «Прямолинейная (многосекционная)». Создаем навесную стену по контуру проема и переходим в параметры навесной стены. Здесь можно задать ряд ключевых параметров, таких как схема навесной стены, сечение профилей, материал, угол наклона и тип панелей.

В системе ArchiCAD 25 есть мощный движок визуализации со сложной настройкой текстур, материалов, естественного и искусственного света. В нем удобно создавать быстрые рендеры, чтобы получить визуализацию. На рисунке 10 представлена 3D-модель здания после назначения элементам соответствующих материалов.

Выполнив создание пространственной модели в двух разных программах, проведем анализ различий и преимуществ при использовании.

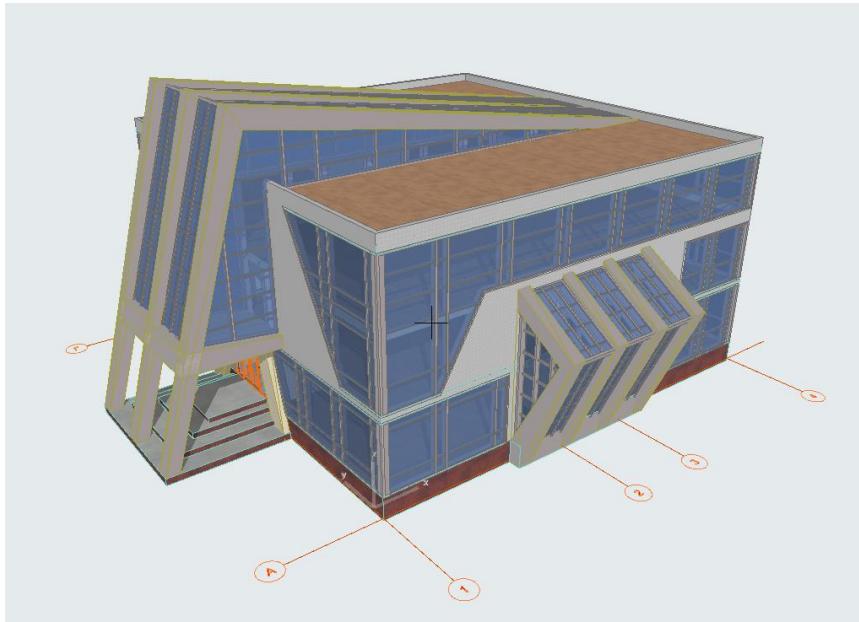


Рис. 10. 3D-модель офисного здания, выполненная в ArchiCAD 25.

Стены в программе ArchiCAD 25 создаются с помощью инструмента «Стена», выбираемого в панели инструментов. Она является одним из самых развитых конструкционных элементов. Уникальным свойством стены является возможность автоматически встраивать в нее окна и двери. Реализация построения стены в AutoCAD намного сложнее, так как необходимо использовать множество объемных тел и команд над ними. Это значительно увеличивает время, затраченное на построение такого простого элемента.

ArchiCAD 25 позволяет сгенерировать аналитическую модель здания (рис. 11), основанную на физической модели объекта. Аналитическая модель создается в фоновом режиме одновременно с физической моделью. Все изменения физической модели автоматически отражаются и в аналитической модели. AutoCAD 2020 не позволяет реализовать данную возможность.

Система ArchiCAD направлена непосредственно на архитектуру и дизайн. Она предусматривает наличие обширной библиотеки. Кроме того, можно создавать и добавлять в библиотеку свои элементы. В AutoCAD же, напротив, представлена библиотека, но в упрощенном варианте. Для получения расширенной версии ее нужно скачать с внешних ресурсов.

Основной принцип работы в рассмотренных системах значительно отличается. ArchiCAD работает по принципу BIM-моделирования, любое редактирование элемента ведет к изменению 3D-модели всего здания. Разрезы и фасады получаются уже из готовой пространственной модели здания, в то время как в AutoCAD приходится все чертить заново.

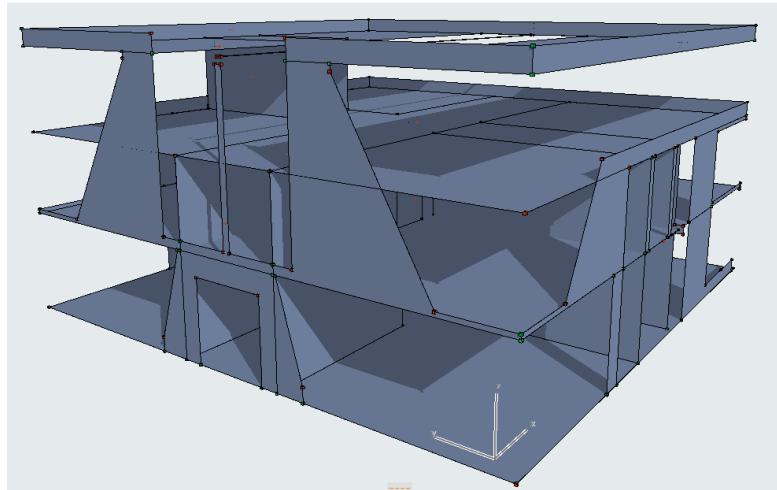


Рис. 11. Аналитическая модель офисного здания, выполненная в ArchiCAD25.

Стоит напомнить о такой отличительной особенности этих двух программ, как создание проектной документации. В ArchiCAD каждому элементу модели можно присваивать параметры, а затем отображать их в виде таблиц с данными, классифицировать и подсчитывать суммарные значения. Соответствующая расчетная документация формируется в процессе моделирования объекта автоматически. В AutoCAD для этого нужно скачивать дополнительные модули.

Выводы. В результате поэтапной работы сформирована архитектурная модель офисного здания в двух системах, выполнено сравнение их функциональных возможностей, преимуществ и недостатков. Полученные наглядные изображения пространственных моделей проектируемого здания мало отличаются, но при этом скорость выполнения моделирования значительно выше в ArchiCAD. Для создания информационных моделей и рабочих чертежей сложных строительных объектов эта система автоматизированного проектирования обладает неоспоримыми преимуществами, такими как повышение качества, сокращение сроков и снижение стоимости проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манин П. А. Искусственный интеллект (AI) для решения задач строительной индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://youtu.be/C7dB PvcebqE> (дата обращения 22.01.2022).
2. Якубов С. А. BIM технологии в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/articles/2020-02-21_bim_v_rossiiichto_ego_stimuliruet (дата обращения 22.02.2022).
3. Новые функции AutoCAD2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/autocad/features> (дата обращения 22.01.2022).

4. Ошкина Л. М. AutoCAD для архитекторов и дизайнеров. Часть 2. Моделирование пространственных объектов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 92 с.
5. Ошкина Л. М. Жилой дом малой этажности: Метод. указания к проектированию в граф. среде ArchiCAD / Сост. Л. М. Ошкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 48 с.
6. Бэнкс Дж. Сколько я должен моделировать в ArchiCAD [Электронный ресурс] // САПР и графика. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/24779> (дата обращения 22.01.2022).
7. Талапов В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.

БРУСНИЦИНА А. В., ТОШИН Д. С.
ОБ ИННОВАЦИЯХ НА ОБЪЕКТАХ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. В работе рассмотрено положительное влияние инновационных разработок на каждом этапе жизненного цикла капитального строительства. Проводится исследование возможного влияния инновационных предложений.

Ключевые слова: жизненный цикл, инновация, технология, этап, строительство, объекты капитального строительства.

BRUSNITSINA A. V., TOSHIN D. S.
ON INNOVATIONS AT CAPITAL CONSTRUCTION PROJECTS

Abstract. The article considers the positive impact of innovative developments at each stage of the life cycle of capital construction. A study of the possible impact of innovative developments is carried out.

Keywords: life cycle, innovation, technology, stage, construction, capital construction objects.

Развитие строительной отрасли не стоит на месте. Постоянно предлагаются инновационные технические решения, улучшающие строительный процесс. Строительные инновации должны отвечать таким требованиям, как целесообразность, экономичность, экологичность, соответствие стандартам, сокращение сроков выполнения работ. Востребованные рынком инновационные предложения стимулируют интерес участников проекта для их практического применения и реализации в строительной отрасли. Успешный опыт практического внедрения, реализации в реальный сектор экономики результатов инновационных исследований изложены в работах [1–4].

Цель статьи – проанализировать наличие новых технологий на каждом жизненном этапе объектов капитального строительства.

ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [5] определяет, что у каждого объекта капитального строительства есть этапы жизненного цикла, такие, как период, в который осуществляются инженерные изыскания; проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения. На первом этапе изучаются инвестиционные возможности проекта, проводится оценка целесообразности реализации проекта, предпроектные исследования. Этап подходит к концу при появлении технического заказчика, который осуществляет организацию строительного объекта.

Первый этап в различных проектах проходит по-разному. Как правило, это подготовка бизнес-плана проекта, аргументирование инвестиций, покупка и оформление прав на землю, выполнение регламентных процедур по техническим условиям для подключения к коммуникациям, формирование технического задания на проектирование, проведение конкурса. Данный этап начинается при выборе технического заказчика (инвестора/застройщика) и заканчивается при подписании договора на проектирование.

Из имеющихся прав на землю для застройщика приоритетнее интерес аренды земельных участков. Аренда является более гибкой формой, которая удобна для оформления прав на строительство. При аренде земли под строительство нужно получить разрешение собственника на застройку земельного участка.

Из Приказа Минстроя России от 01.03.2018 №125/пр «Об утверждении типовой формы задания на проектирование объекта капитального строительства и требований к его подготовке» [6] следует, что подготовка задание на проектирование объекта капитального строительства осуществляется застройщиком (техническим заказчиком) в соответствии с типовой формой задания на проектирование. Далее происходит разработка проектной и рабочей документации. Уже с этого этапа начинается внедрение инновационных разработок, в частности, геоинформационных систем обследования участков и территорий, систем космического позиционирования, CAD систем, использование дронов для картографирования, существенно упрощающих работу геодезиста. Системы CAD помогают синхронизировать инженерам данные и совместно работать над междисциплинарными вопросами, в связи с чем сокращаются сроки проектирования, что уже удовлетворяет требованиям, предъявляемым к инновационным разработкам.

Согласно градостроительному кодексу РФ [7], «архитектурно-строительное проектирование осуществляется путем подготовки проектной и рабочей документации применительно к объектам капитального строительства и их частям». Проектная документация состоит из графической и текстовой части, которая содержит сведения о строящемся объекте, его архитектурных, функционально-технологических и конструктивных характеристиках. Рабочая документация состоит из утвержденной проектной. Договором может быть предусмотрено, что инженерные изыскания проводятся совместно с подготовкой проектной документации. Также градостроительным кодексом предусматривается разработка типовой проектной документации. Отрицательное заключение экспертизы может быть оспорено застройщиком или техническим заказчиком в судебном порядке.

На этапе проектной документации, а также при строительстве и эксплуатации объекта важнейшей инновационной разработкой является BIM-проектирование. Данный вид

проектирования позволяет на ранних этапах просчитать стоимость, сроки выполнения работ, необходимое количество материалов и строительной техники, предугадать риски и т.д. Е. С. Рахматулина подчеркивает [8], что «данная технология в идеале позволяет нам достичь полного контроля и правильного осуществления строительного процесса».

Этот этап заканчивается тем, что утверждают проектную документацию и передают рабочую документацию «в работу».

Этап строительства подразделяется на подготовительный период, период строительных работ, монтаж технологического оборудования и пусконаладочные работы. Разрешение на строительство, выдаваемое на весь срок, предусмотренный проектом организации строительства объекта капитального строительства, подтверждает соответствие проектной документации установленным градостроительным регламентам. До выдачи разрешения на строительство могут выполняться подготовительные работы, которые не причиняют существенного вреда окружающей среде и ее компонентам.

В процессе проведения строительных работ, реконструкции и капитального ремонта обязательно проводится строительный контроль лицом, осуществляющим строительство. «В отношении отдельных объектов федерального значения, либо иных объектов, которые предусматривается строить за счет средств федерального бюджета, Правительство Российской Федерации может принять решение о проведении строительного контроля федеральным органом исполнительной власти» [7]. После завершения строительства или реконструкции подписывается акт, подтверждающий соответствие параметров построенного или реконструированного объекта требованиям проектной документации.

На данном этапе жизненного цикла предусмотрены такие инновационные разработки, как использование новых видов строительных материалов. К примеру, такие материалы, как лёгкие стальные тонкостенные конструкции [4], электропроводный бетон, «лего-кирпич», самовосстанавливающийся бетон, стеклянная черепица, аэрогель, жидкий гранит и так далее. Также появляются совершенно новые методы работы. Например, возведение кирпичной кладки с помощью дронов, печать домов на 3D-принтерах и т.д.

По завершению строительного этапа необходимо получить разрешение на ввод объекта в эксплуатацию. «Разрешение на ввод объекта в эксплуатацию представляет собой документ, который удостоверяет выполнение строительства, реконструкции объекта капитального строительства в полном объеме в соответствии с разрешением на строительство. Для ввода объекта в эксплуатацию застройщику необходимо обратиться в федеральный орган исполнительной власти/орган местного самоуправления. Разрешение на ввод объекта в эксплуатацию является основанием для постановки на государственный учет построенного объекта капитального строительства. Обязательным приложением к

разрешению на ввод объекта в эксплуатацию является представленный технический план объекта» [7].

«Эксплуатация зданий, сооружений должна осуществляться в соответствии с их разрешенным использованием (назначением). Эксплуатация построенного, реконструированного зданий, сооружения допускается после получения застройщиком разрешения на ввод объекта в эксплуатацию. В целях обеспечения безопасности зданий, сооружений во время их эксплуатации должен обеспечиваться текущий ремонт, эксплуатационный контроль, техническое обслуживание» [7].

На этапе эксплуатации также может быть использована ранее созданная BIM-модель, которая проводит процесс контроля над состоянием здания и оценкой его характеристик и непрерывно передает данные о состоянии здания. Под контролем должны находиться также коммуникации и инженерные сети эксплуатируемых зданий. Это совершенно новый виток в развитии проектирования и контроля за объектом.

В ходе эксплуатации также может потребоваться усиление некоторых конструкций, проведение реконструкции объекта капитального строительства. Вопросам реконструкции в Градостроительном кодексе Российской Федерации [7] посвящен отдельный раздел. Реконструкция, капитальный ремонт, а также архитектурно-строительное проектирование осуществляются в соответствии с договором. Перечень видов затрат, которые возникают в связи с реконструкцией или капитальным ремонтом существующих объектов включаются в сметную стоимость строительства и реконструкции. Сроки выполнения работ устанавливаются в соответствии с проектной документацией, предусматривающей выполнение указанных работ.

Приведем пример возможного усиления конструкций строительных объектов, в частности действующего железнодорожного вокзала в г. Саратове. В связи с установкой нового технологического оборудования с грузоподъемностью 10 тонн (взамен 5 тонн) существенно увеличилась нагрузка на колонны первого этажа. По результатам обследования принято решение об усилении железобетонных колонн первого этажа стальной обоймой.

Расчет металлической обоймы выполняем как самостоятельной системы. Колонна сечением 400×400 мм. Величина продольной расчетной силы в колонне от полной нагрузки $N_1=3000$ кН, несущая способность колонны $N=1640,34$ кН.

Определяем расчетное продольное усилие, передаваемое на конструкцию усиления:

$$N' = N_1 - N = 3000 - 1640,34 = 1359,66 \text{ кН.}$$

Вычислим требуемую площадь сечения вертикальных уголков:

$$A_{s1} = \frac{N'}{\varphi \cdot R_y \cdot m} = \frac{1359,66}{1,0 \cdot 240 \cdot 10^3 \cdot 0,8} \cdot 10^4 = 70,82 \text{ см}^2.$$

Принимаем уголок 4Л 100×10 ($A_{s1,f} = 19,24 \times 4 = 76,96 \text{ см}^2$).

Эксплуатация зданий и сооружений прекращается после их вывода из эксплуатации в случае, если это предусмотрено федеральными законами, а также в случае случайной гибели, сноса зданий и сооружений. Снос объекта капитального строительства осуществляется на основании решения собственника объекта капитального строительства или застройщика, либо в случаях, предусмотренных федеральными законами. Для сноса объекта застройщик или технический заказчик обеспечивает подготовку проекта организации работ по сносу объекта капитального строительства.

Снос объекта проводится в соответствии с проектом организации работ по сносу объекта после отключения объекта от сетей инженерно-технического обеспечения. В процессе сноса объекта принимаются меры, направленные на предупреждение причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу, подъездных путей, осуществляются мероприятия по утилизации строительного мусора. Осуществлять снос может сам застройщик, либо индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, заключившее договор подряда на осуществление сноса.

На данном этапе также предусмотрены инновационные разработки. На данный момент проводится крупнейшая реновация в г. Москва. Подлежит сносу огромное количество зданий, в связи с чем требуются совершенно новые методы и разработки. Один из таких методов – технология «умного сноса» зданий. Такая технология подразумевает разбор дома по частям, переработка строительных отходов и вторичное использование материалов при строительстве дорог и жилья. Минприроды России инициируют подготовку предложений по законодательному симулированию работы по организации переработки промышленных отходов и оздоровлению экологической обстановки в местах их хранения, что создает возможности для организации производства композитных вяжущих на базе продуктов переработки техногенных отходов [9].

Российская строительная отрасль в настоящее время испытывает острую нехватку квалифицированных ученых, инженеров-практиков, руководителей и специалистов по организации строительного производства, особенно молодых. С выходом нашей страны и мировой экономики на инновационный путь развития, включая и строительную отрасль, появляется необходимость внесения изменений в существующие СП, ГОСТ, ТУ. Повышается востребованность квалифицированных кадров и внимание к подготовке высококвалифицированных специалистов строительных специальностей на современном этапе развития России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Римшин В. И., Варламов А. А., Курбатов В. Л., Анпилов С. М. Развитие теории деградации бетонного композита // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 12-17.
2. Ерышев В. А., Анпилов С. М., Мурашкин Г. В., Тошин Д. С. Комплексная оценка прочностных свойств бетона монолитного безбалочного каркаса // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 5 (8). – С. 24-29.
3. Анпилов С. М. Основные недостатки применения монолитного безбалочного каркаса при возведении объектов и варианты их решения // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 1 (4). – С. 15-21.
4. Анпилов С. М., Ерышев В. А., Мурашкин Г. В., Сорочайкин А. Н. Применение нормативно-технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений с использованием ЛСТК и настила армирующего «БИЗОН». – Тольятти: ИССТЭ, 2021. – 82 с.
5. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/(дата обращения 10.02.2022).
6. Приказ Минстроя России от 01.03.2018 №125/пр «Об утверждении типовой формы задания на проектирование объекта капитального строительства и требований к его подготовке» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/542620215> (дата обращения 10.02.2022).
7. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/(дата обращения 10.02.2022).
8. Рахматуллина Е. С. BIM-моделирование как элемент современного строительства // Креативная экономика. – 2017. – № 19. – С. 2849-2866.
9. Сазонова А. Е. Инновации в строительстве // ACADEMY. – 2017. – №6(21). – С. 43-46.

БЕРЕЗЕНЦЕВА А. А., ОШКИНА Л. М., НИЗИНА Т. А.
ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТОРГОВОГО
ЦЕНТРА В СИСТЕМАХ AUTODESK AUTOCAD И ARCHICAD

Аннотация. Выполнено формирование информационной модели торгового центра в системах AutoCAD 2018 и ArchiCAD 24. Определена технологическая последовательность создания модели. Представлены результаты моделирования, проведено сравнение полученных моделей.

Ключевые слова: информационная модель здания, архитектурное моделирование, торговый центр, система автоматизированного проектирования, AutoCAD 2018, ArchiCAD 24, результаты.

BEREZENTSEVA A. A., OSHKINA L. M., NIZINA T. A.
TECHNOLOGY OF SHOPPING CENTER MODELING
IN AUTODESK AUTOCAD AND ARCHICAD SYSTEMS

Abstract. The formation of an information model of the shopping center in AutoCAD 2018 and ArchiCAD 24 systems is completed. The technological sequence for creating the model is determined. The simulation results are presented. A comparative analysis of the models is carried out.

Keywords: building information model, architectural modeling, shopping center, computer-aided design system, AutoCAD 2018, ArchiCAD 24, results.

Компьютерные технологии с каждым годом занимают все более высокие позиции, как в производственной сфере, так и в повседневной жизни современного человека. Необходимость внедрения информационной технологии для развития строительства объясняется требованиями к сокращению сроков проектирования и подготовки производства для выпуска новых и модернизируемых изделий, затрат на проектирование и производство [1–3]. Высокие темпы развития современного общества предполагают повышение качества и производительности инженерно-технических работ.

Вне всяких сомнений, для обеспечения должного уровня процесса проектирования возникает необходимость в использовании средств автоматизации проектных работ. С применением средств автоматизации снижается трудоемкость работ проектировщика и повышается его результативность. Кроме того, с помощью компьютерных технологий облегчается оформление конструкторских документов, насыщенных изображениями стандартных, типовых, унифицированных составных частей, упрощается модернизация существующих конструкций и другие виды работ [1].

В настоящее время вопросы изучения компьютерных технологий и средств автоматизированного проектирования (САПР) являются наиболее актуальными. Владение пакетами САПР наделяет специалистов неоспоримыми преимуществами в сложившихся условиях на рынке труда. Многие начинающие архитекторы, дизайнеры и проектировщики задаются вопросом использования наиболее предпочтительной программы САПР (CAD) для построения виртуальных проектов зданий с проектной документацией. В основном, выбор осуществляется между двумя популярными на российском рынке пакетами программ – ArchiCAD от компании Graphisoft и AutoCAD от компании Autodesk. В данной работе представлены результаты моделирования и сравнительный анализ информационной модели торгового центра в каждой из систем. Цель работы – изучение и сравнение функциональных возможностей популярных программных комплексов AutoCAD 2018 и ArchiCAD 24 при создании трехмерной модели торгового центра.

Проектируемым объектом является двухэтажный торговый центр сложной формы. На первом этаже расположен просторный торговый зал, подсобное помещение для персонала и склад. Второй этаж предназначен для кафе. Для сообщения между этажами здания предусмотрены лестничные клетки. Высота здания до наивысшей отметки конструктивного элемента составляет +7,900 м. Высота первого этажа равна 3,000 м, второго – 3,700 м. В плане здание представляет собой прямоугольник. Размеры здания в осях А – Д составляют 14,100 м. Здание имеет разную ширину в горизонтальных осях для первого и второго этажей и составляет 10,800 м и 12,600 м соответственно.

Конструктивная система здания – каркасная. Вертикальные и горизонтальные несущие элементы обеспечивают прочность, жесткость и устойчивость здания. Конструкции перекрытия и покрытия воспринимают приходящиеся на них вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия, передавая их поэтажно на наружные и внутренние стены, которые, в свою очередь, передают эти нагрузки через фундаменты основанию. На рисунках 1 и 2 представлены планы 1-го и 2-го этажей и разрезы здания, выполненные в AutoCAD 2018.

Для удобства работы при 3D-моделировании в Autodesk AutoCAD необходимо настроить рабочее пространство 3D и вывести несколько видовых экранов. Это осуществляется при помощи вкладки «Визуализация». Кроме того, в этой вкладке можно настроить разные визуальные стили (реалистичный, концептуальный, каркас, скрытый, эскизный и др.) и виды для проектирования будущего здания (вид спереди, слева, справа, изометрическую поверхность и др.) (рис. 3). Важно следить за тем, какой видовой экран активен и в каком видовом экране происходит создание фигуры, во избежание дальнейшей путаницы. Моделирование здания выполнялось согласно определенной технологической последовательности [4; 5].

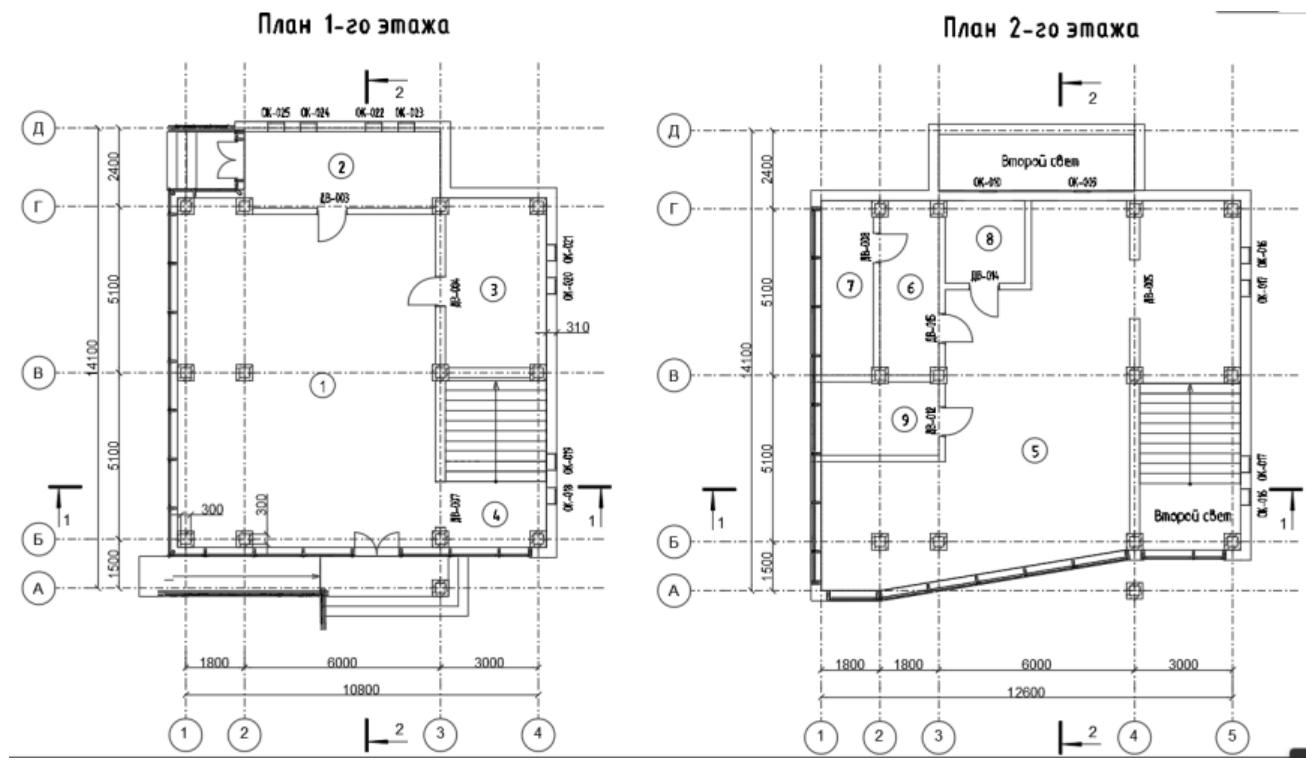


Рис. 1. Планы 1-го и 2-го этажей торгового центра, выполненные в AutoCAD.

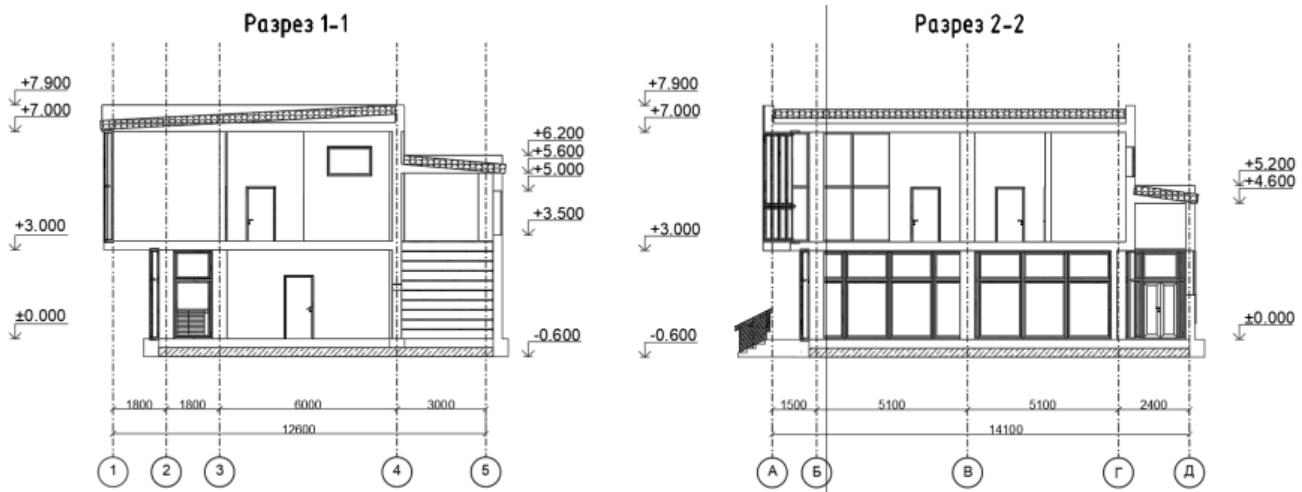


Рис. 2. Разрезы этажей торгового центра, выполненные в AutoCAD.

Программа AutoCAD 2018 предоставляет пользователю весь необходимый набор для создания и редактирования пространственных моделей. Команды, предназначенные для 3D-моделирования твердых тел, находятся на ленте «Тело». В AutoCAD трехмерная модель создается при помощи примитивов: «Ящик», «Цилиндр», «Сфера». Построения осуществляются с использованием команд: «Выдавить», «Вытягивание», «Вращение», «Сдвиг» и «Лофт». Работу с многотельными моделями производят при помощи операций над телами: «Объединение», «Вычитание», «Пересечение». Таким образом, при помощи команд

«Ящик» и «Вытянуть» идет построение стен, фундаментной плиты, перекрытий и покрытий торгового центра (рис. 4).

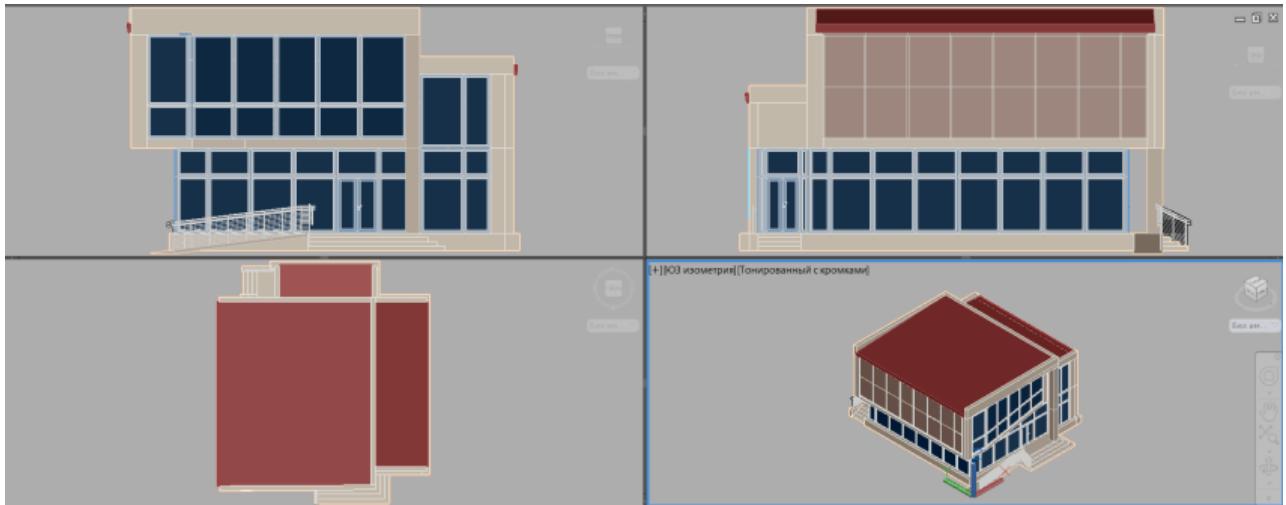


Рис. 3. Контекстное меню выбора вида модели.

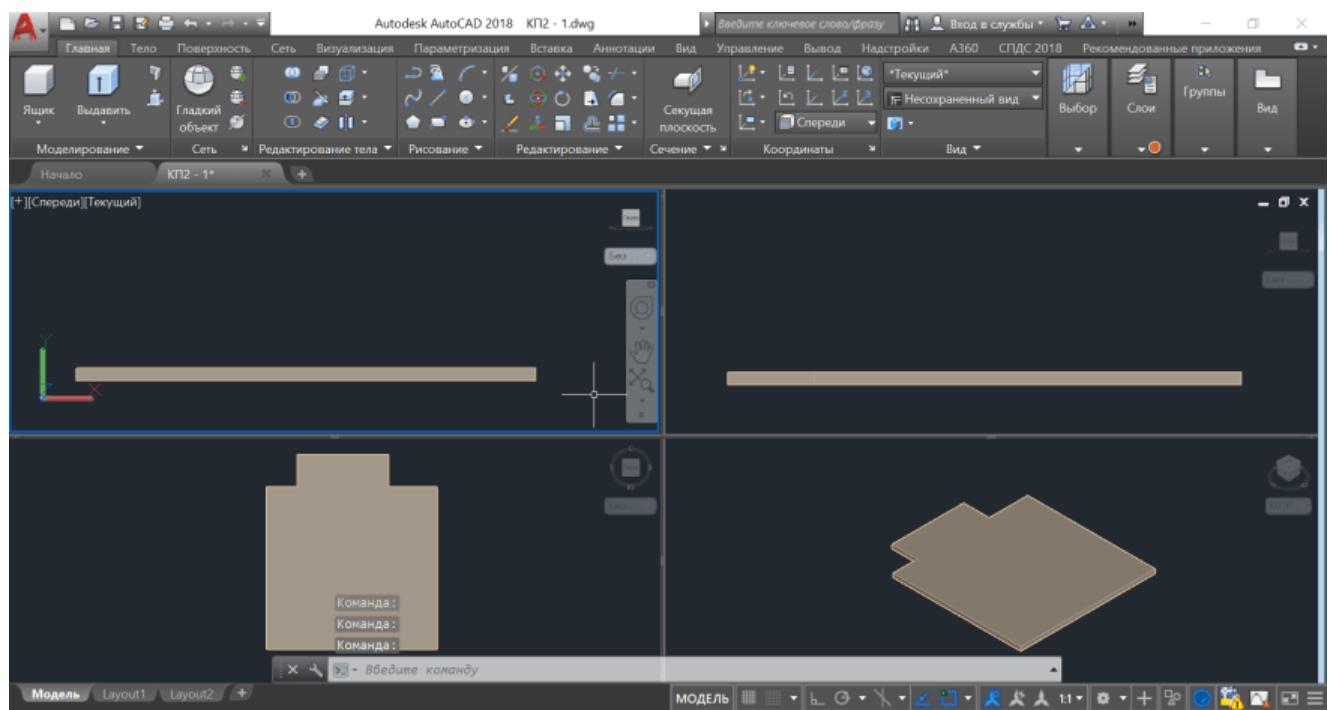


Рис. 4. Построение перекрытия первого этажа.

Стены и колонны возводим также с помощью команды «ящик». Затем объединяем при помощи команды «Тело, объединение». Построение оконных и дверных проемов выполняется с использованием кнопки «Тело, вычитание».

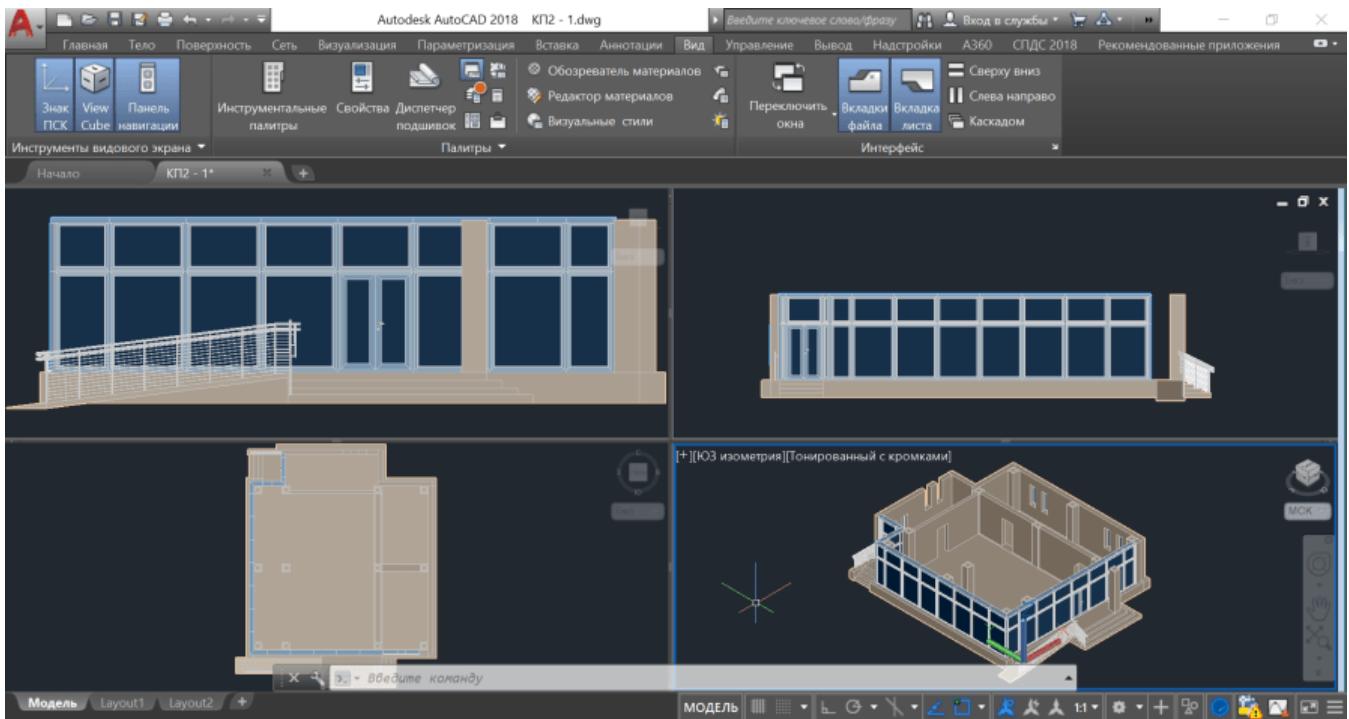


Рис. 5. Модель первого этажа здания, выполненная в AutoCAD.

При выполнении витражей и ограждения, некоторые мелкие элементы каркаса были разработаны отдельно и объединены в блоки для упрощения копирования элементов. Создание блоков осуществлялось с помощью кнопки «Создать блок», находящейся во вкладке «Вставка», раздел «Определение блока» (рис. 6).

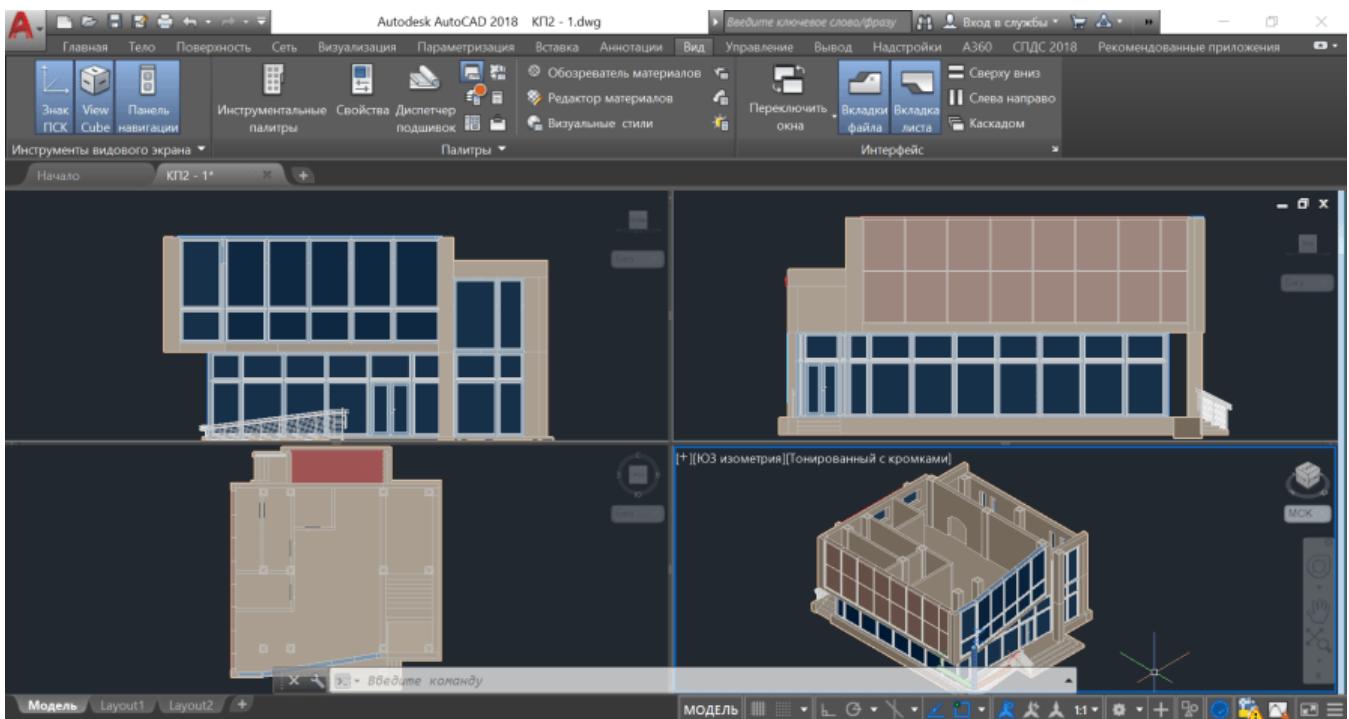


Рис. 6. Модель второго этажа здания, выполненная в AutoCAD.

Создание кровли производилось с помощью стандартных примитивов создания и редактирования, используемых в системе AutoCAD (рис. 7).

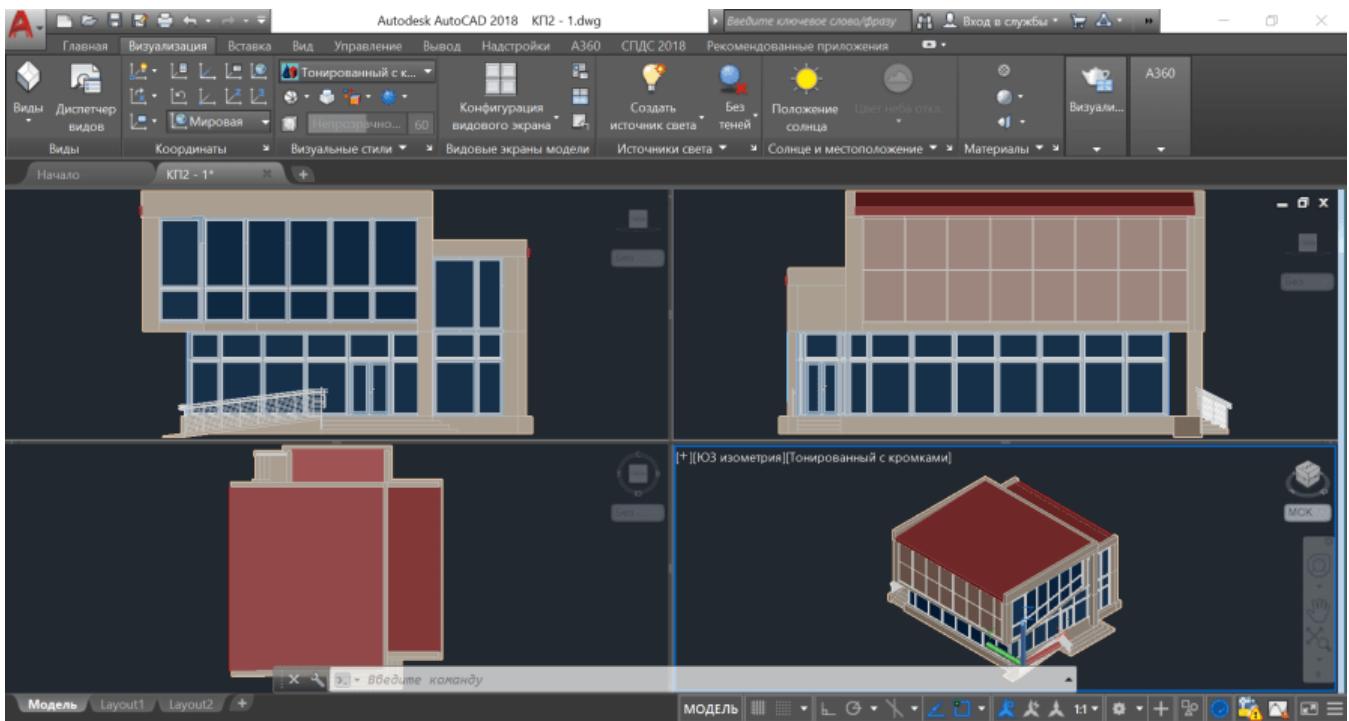


Рис. 7. Модель здания, выполненная в AutoCAD.

После того, как была собрана модель торгового центра, производилось присвоение элементам конструкций соответствующих материалов. Это позволяет получить более реалистичное изображение объектов при визуализации. AutoCAD позволяет моделировать практически любые свойства материалов. При этом в стандартной версии программы имеется большая библиотека предварительно созданных материалов. Кроме того, материалы из библиотеки можно редактировать, изменяя любые их свойства в соответствии с требованиями, необходимыми для достоверного отображения изделия в процессе визуализации [4]. Итоговая трехмерная модель здания представлена на рисунке 8.

Рассмотрим функции и возможности программы ArchiCAD в ходе разработки модели проектируемого здания [5]. ArchiCAD – это программный пакет для архитекторов, основанный на технологии информационного моделирования (Building Information Modeling – BIM), созданный фирмой Graphisoft. Этот продукт предназначен, в основном, для проектирования архитектурно-строительных конструкций и решений, а также элементов ландшафта, мебели и многого другого [4].



Рис. 8. 3D-модель торгового центра, выполненная в Autodesk AutoCAD 2018.

При работе в ArchiCAD используется концепция Виртуального Здания. Суть её состоит в том, что проект представляет виртуальную модель реального здания, существующую в памяти компьютера. Для её создания проектировщик на начальных этапах работы с проектом возводит здание, используя при этом инструменты, имеющие свои полные аналоги в реальности: стены, перекрытия, окна, лестницы, разнообразные объекты и т. д. Завершив этап моделирования, можно извлечь из «виртуального здания» все необходимые данные для создания проектной документации: планы этажей, фасады, разрезы, экспликации, спецификации, визуализации и пр.

Проектирование здания в ArchiCAD ведется поэтажно и начинается с назначения сетки разбивочных осей. Для этого необходимо ввести нужные параметры в окне «Параметры сетки осей». Далее велась расстановка колонн каркаса здания, создание перекрытия и назначение элементам конструкций необходимых параметров (рис. 9, 10). После создания каркаса первого этажа возводим стены. Для этого в панели инструментов выбираем «Инструмент стена» (по умолчанию геометрический вариант «Прямолинейная») и начинаем обводить колонны, поочередно кликая на угловые. Перегородки создаются по такому же принципу, как и стены, задавая необходимые размеры в «Параметрах стены» (рис. 10).

Витражи задаем через инструмент «Навесная стена». Геометрический вариант выбираем «Прямолинейная (многосекционная)». Для настройки параметров навесной стены, необходимо кликнуть на нее два раза и в появившемся диалоговом окне (рис. 11) задать необходимые параметры. Здесь можно задать ряд ключевых параметров, таких как схема навесной стены, сечение профилей, материал и тип панелей. Высоту и длину навесных стен можно редактировать в рабочем пространстве.

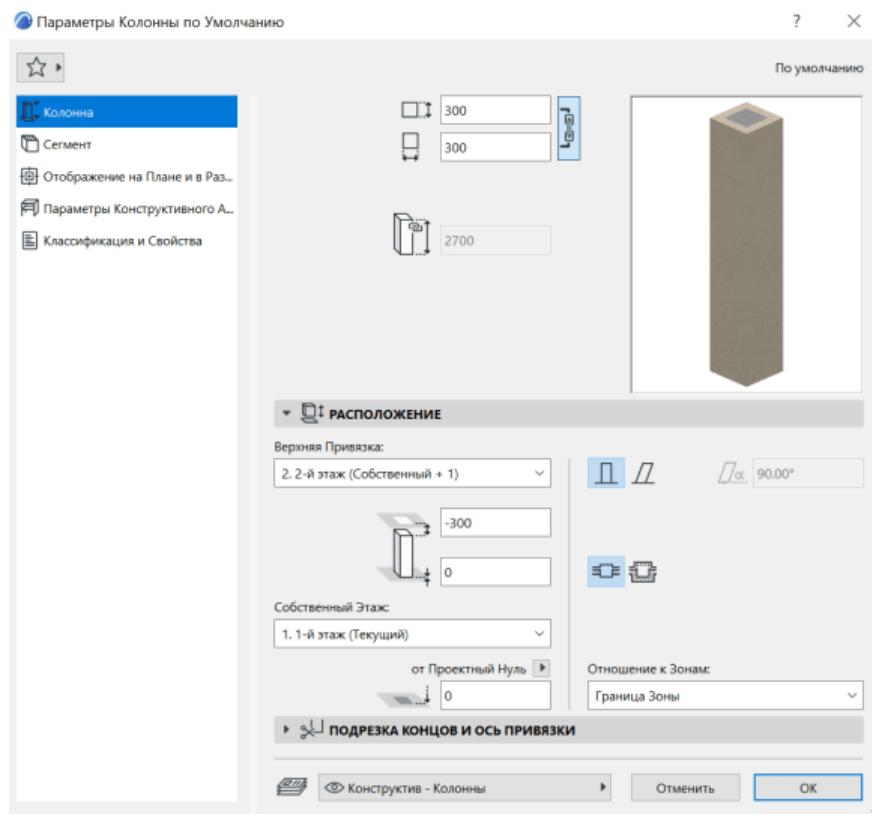


Рис. 9. Окно «Параметры колонны».

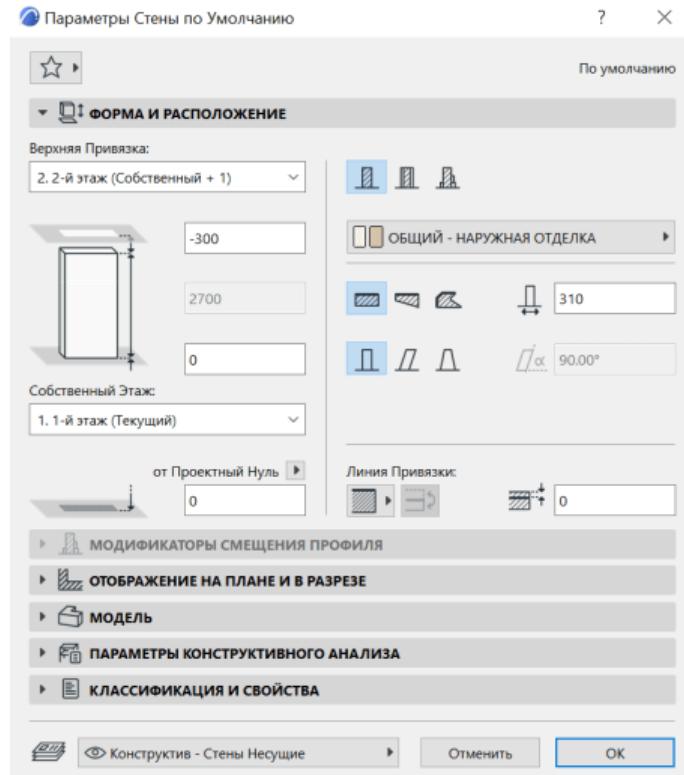


Рис. 10. Окно «Параметры стены».

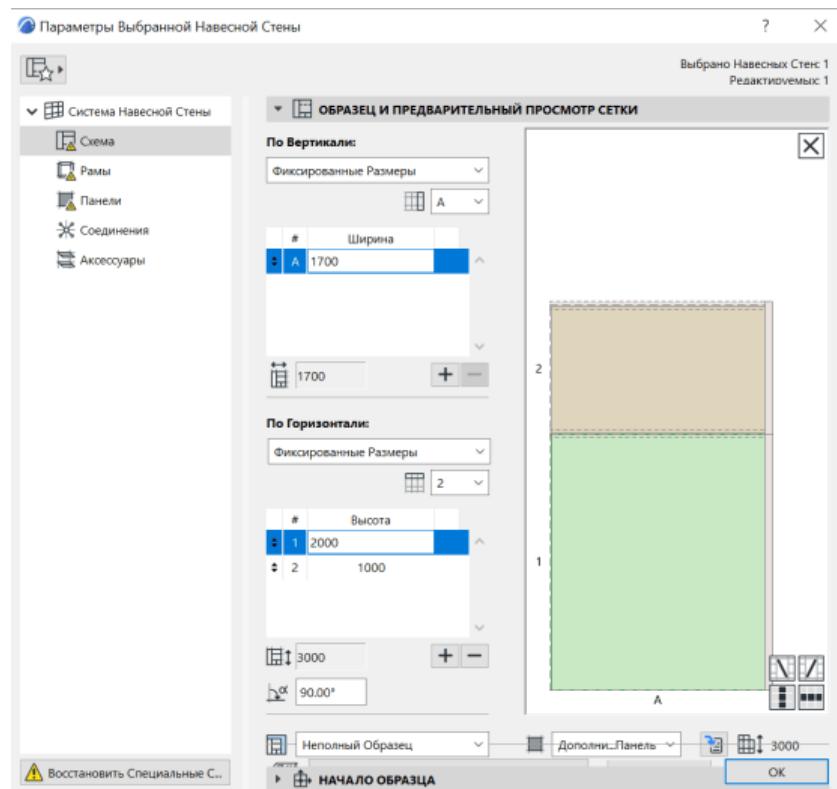


Рис. 11. Окно «Параметры навесной стены».

Визуализацию навесной стены можно посмотреть в «Выпадающая Навигация» в разделе «Общая перспектива» и отредактировать по необходимости (рис. 12).

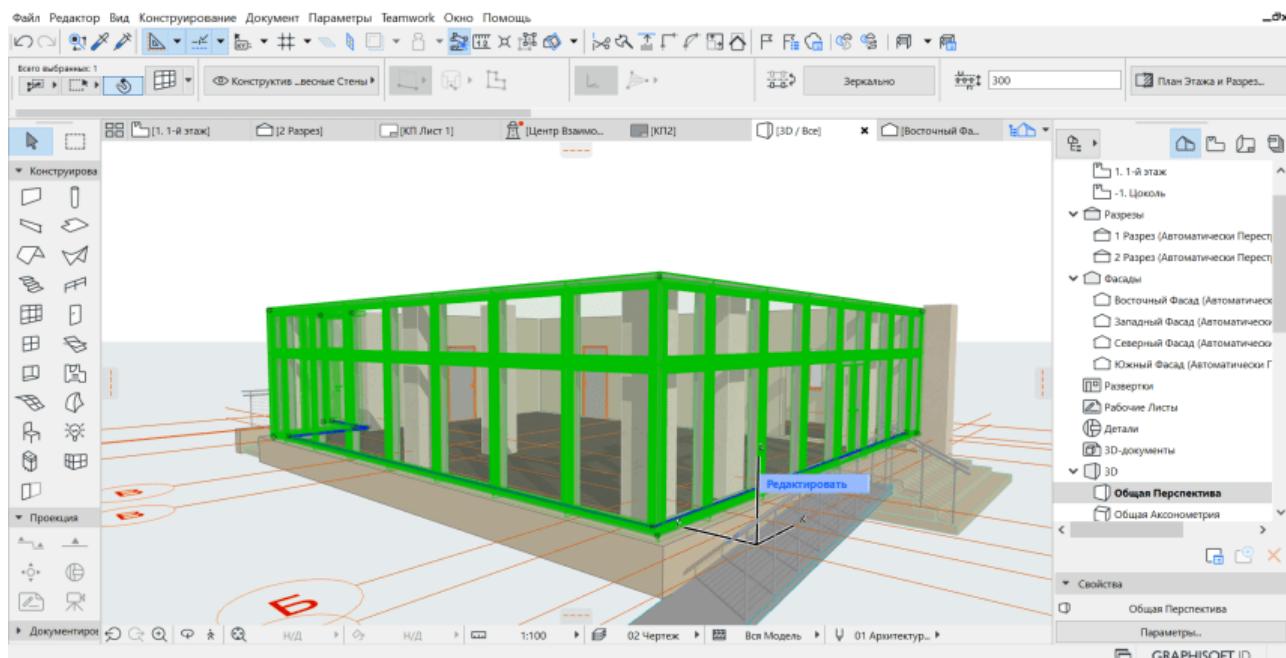


Рис. 12. Редактирование навесной стены.

Двери и дверные проемы создаем через панель «Параметры двери». В данном окне можно задать необходимые параметры двери, выбрать стиль, ручку двери и т.д. Кроме этого, можно также поставить пустой дверной проем, выбрав в библиотеке вкладку «Пустые дверные проемы».

Окна задаем через «Параметры окна». Стандартная библиотека содержит огромное количество разнообразных окон и включает в себя прямоугольные, треугольные, многоугольные, арочные окна.

Лестницы вставляются в проекты как библиотечные элементы с помощью инструмента Лестница. Параметры лестниц задаются в соответствующем диалоговом окне (рис. 13).

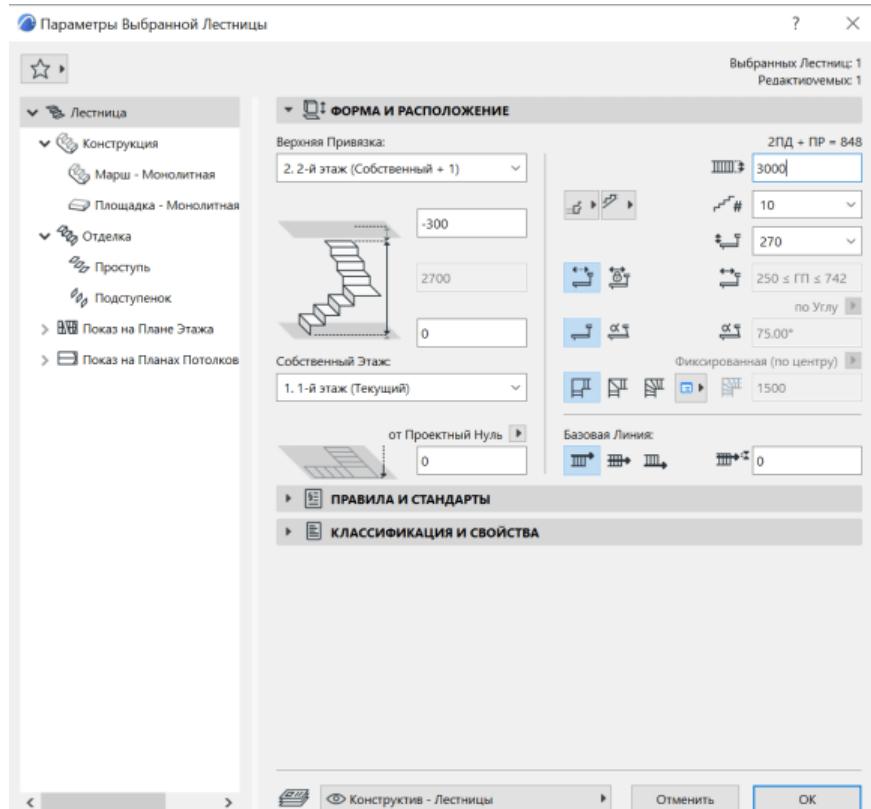


Рис. 13. Окно «Параметры лестницы».

Второй этаж здания несколько отличается от первого, поэтому копированию подлежат только колонны. Для этого курсором выделяем колонны, копируем их и через «Выпадающий навигатор» переходим на второй этаж. Вставляем скопированные элементы. По умолчанию программа расположит их «по месту». Не забываем создать пол второго этажа, также при помощи «Инструмента перекрытие». Построение всех остальных элементов второго этажа осуществляется описанными выше действиями и возможностями (рис. 14).

На последнем этапе создаем кровлю. Для данного здания выбираем односкатную кровлю и вариант построения по двум точкам. Дальнейшие параметры и уклон задаем через окно «Параметры выбранной крыши».



Рис. 14. Модель двух этажей торгового центра, выполненных в ArhiCAD.

Теперь осталось присвоить элементам нужные материалы через окно параметров элементов и 3D-модель торгового центра готова (рис. 15).



Рис. 15. 3D-модель торгового центра, выполненная в ArchiCAD.

Рабочее пространство в ArhiCAD позволяет сгенерировать конструктивную Аналитическую Модель, основанную на физической (архитектурной) модели. Аналитическая Модель создается в фоновом режиме одновременно с Физической Моделью. Все изменения Физической Модели автоматически отражаются в Аналитической Модели. Аналитическая

Модель не является отдельной моделью, но представляет собой упрощенное отображение Физической Модели (рис. 16, 17).

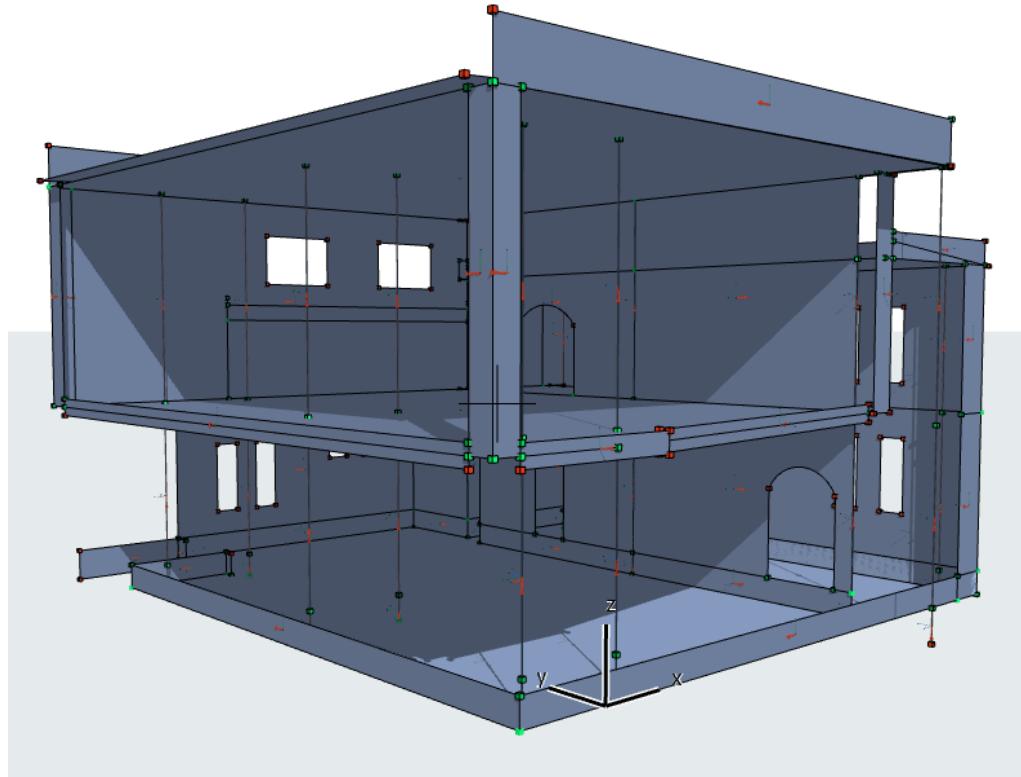


Рис. 16. Аналитическая Модель торгового центра, выполненная в ArchiCAD.



Рис. 17. Аналитическая Модель торгового центра, выполненная в ArchiCAD, с наложением прозрачной Физической Модели.

Выводы. В результате поэтапной работы над моделированием торгового центра был выполнен сравнительный анализ функциональных возможностей, преимуществ и недостатков двух систем. Полученные изображения пространственных моделей наглядно показывают различия при проектировании здания. Основной подход к работе в AutoCAD сводится к отрисовке графическими примитивами любых элементов чертежа. Набор инструментов черчения и рисования, настройка их свойств и параметров позволяет полностью соблюдать требования стандартов в отношении правил выполнения изображений и аннотаций – толщин и типов линий, текстовых стилей, простановки размеров и т.д.

Основной подход к работе в ArchiCAD сводится к созданию виртуальной модели здания, которая строится с использованием интеллектуальных объектов (стен, перекрытий, балок, окон и дверей и т.д.). Из получившейся трехмерной модели здания автоматически извлекается необходимая информация в форме чертежей (разрезов, фасадов, планов), спецификаций и другие документы. Имеющиеся в системе двумерные инструменты черчения используются только как вспомогательные средства для оформления документации проекта.

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

По результатам выполнения сравнительного анализа можно сделать вывод о том, что каждая из рассмотренных систем (AutoCAD и ArchiCAD) обладает своей спецификой, имеет выраженные преимущества в определенных областях и видах работ, а их функциональные характеристики позволяют решать различные типы задач с разной степенью эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талапов В. В. Основы BIM: Введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Паршина С. В., Козлятников И. С. Новая версия программного BIM обеспечения ALLPLAN 2020 [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2020. – №3. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/novaya-versiya-programmnogo-bim-obespecheniya-allplan-2020> (дата обращения 21.01.2022).
3. Паршина С. В., Низина Т. А. Российский программный BIM-комплекс RENGA // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф, посвящ. 75-летию засл. деятеля науки РФ, акад. РААСН, д-ра техн.

наук, проф. Селяева В.П. (3-5 дек. 2019 г.). – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – С. 245-250.

4. Ошкина Л. М. AutoCAD для архитекторов и дизайнеров. Часть 2. Моделирование пространственных объектов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 92 с.

5. Ошкина Л. М. Жилой дом малой этажности: Метод. указания к проектированию в граф. среде ArchiCAD. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 48 с.

БАЛЫКОВ А. С., ВОЛОДИН С. В., КОРОВКИН Д. И., ВОЛОДИН В. В., НИЗИНА Т. А.

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНОГО СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА
И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ¹**

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния минеральных добавок различного состава (кремнеземистая, алюмосиликатная, сульфоалюминатная, карбонатная) и поликарбоксилатного суперпластификатора на подвижность, плотность и предел прочности при сжатии цементных систем. Выявлены оптимальные концентрации добавок, позволяющие получать модифицированные цементные композиты с повышенными прочностными показателями.

Ключевые слова: цементные композиты, минеральные добавки, пластификатор, микрокремнезем, метакаолин, расширяющий сульфоалюминатный модификатор, микрокальцит, расплыв, плотность, предел прочности при сжатии.

**BALYKOV A.S., VOLODIN S.V., KOROVKIN D. I., VOLODIN V.V., NIZINA T.A.
EFFECTS OF POLYCARBOXYLATE FLEXibilizer AND MINERAL ADDITIVES
ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT COMPOSITES**

Abstract. The paper presents the results of a study of the effects of mineral additives of various compositions (silica, aluminosilicate, sulfoaluminate, carbonate) and polycarboxylate flexibilizer on the mobility, density, and compressive strength of cement systems. Optimal concentrations of additives, which make it possible to obtain modified cement composites with increased strength indicators, have been found.

Keywords: cement composites, mineral additives, flexibilizer, microsilica, metacaolin, expanding sulfoaluminate modifier, microcalcite, flow, density, compressive strength.

Разработка эффективных составов цементных бетонов с улучшенными физико-механическими свойствами является одним из ключевых направлений в развитии современного строительства. Получение бетонов с заданными показателями свойств при сокращении энергетических и материальных затрат является характерной особенностью современной строительной технологии.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-29-12036 «Разработка принципов управления фазовым составом и минерало-морфологическим состоянием структуры модифицированного цементного камня для повышения сопротивления высокопрочных мелкозернистых и легких бетонов и фибробетонов климатическим и эксплуатационным воздействиям».

Наиболее эффективным способом улучшения эксплуатационных качеств бетона является введение в его состав модифицирующих добавок и частичной замены ими клинкера. Из всего их многообразия на сегодняшний день наибольшую эффективность показали [1]:

- суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов, позволяющие снизить водоцементное отношение (до 35÷40% и более) [2; 3]. Они обладают высокой разжижающей способностью по сравнению с традиционными добавками данного типа;
- сульфоалюминатные добавки, введение которых в состав композита позволяет регулировать линейные и объемные деформации в процессе твердения [4; 5];
- карбонатные добавки (известняки, доломиты), применение которых приводит к повышению прочностных показателей за счет способности кальцита, являющегося составной частью добавок данного типа, выступать в качестве центра кристаллизации новообразований, что приводит к формированию кристаллизационных оболочек и срастанию частиц [6–8];
- высокодисперсные пущолановые добавки (микрокремнезем и метакаолин), обладающие высокой реакционной активностью [9].

Целью исследования является установление закономерностей влияния поликарбоксилатного суперпластификатора и минеральных добавок (МД) различного состава (кремнеземистая, алюмосиликатная, сульфоалюминатная, карбонатная) на физико-механические свойства цементных систем с выявлением наиболее эффективных модификаторов и их комплексов. Исследования проводились на цементных системах с суммарной дозировкой минеральных добавок 20% от массы вяжущего ($\mathcal{C}+\text{МД}$) при фиксированном водовяжущем отношении $\mathcal{V}/(\mathcal{C}+\text{МД}) = 0,24$. Основным компонентом вяжущего являлся портландцемент 500-Д0-Н (\mathcal{C}) производства ПАО «Мордовцемент». В качестве контрольного принят состав без минеральных добавок с равным водосодержанием и дозировкой пластификатора 1% от массы портландцемента.

Планирование экспериментального исследования осуществлялось на основе специально синтезированного плана (табл. 1), содержащего 18 опытных точек [9]. При этом варьировалось две группы факторов (табл. 2, 3):

- содержание пластифицирующей добавки и карбонатного наполнителя: x_1 (поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 1641 F (СП)); x_2 (микрокальцит (МКМ));
- тип и дозировка активных минеральных добавок (АМД): v_1 (кремнеземистая АМД – микрокремнезем конденсированный неуплотненный производства АО «Кузнецкие ферросплавы» (МК)); v_2 (алюмосиликатная АМД – высокоактивный метакаолин производства ООО «Пласт-Рифей» (ВМК)); v_3 (расширяющий сульфоалюминатный модификатор производства ООО «Парад Русь» (РСАМ)).

Таблица 1

План экспериментального исследования в кодированных величинах

№ состава	Варьируемые факторы в кодированных величинах				
	Первая группа факторов		Вторая группа факторов		
	Вид и содержание наполнителя и суперпластификатора		Вид и содержание АМД		
	x_1 (СП Melflux)	x_2 (МКМ)	v_1 (МК)	v_2 (ВМК)	v_3 (РСАМ)
1	-1	-1	1	0	0
2	-1	-1	0	1	0
3	-1	-1	0	0	1
4	-1	0	0,5	0	0,5
5	-1	1	0	0	1
6	-1	1	0,5	0,5	0
7	0	1	0	1	0
8	0	-1	0	0,5	0,5
9	1	0	0,5	0,5	0
10	0	0	0,333	0,333	0,333
11	1	-1	1	0	0
12	1	-1	0	0	1
13	1	0	0,5	0	0,5
14	1	1	0	0,5	0,5
15	1	1	1	0	0
16	1	-1	0	1	0
17	0	1	0,5	0	0,5
18	0	-1	0,5	0,5	0
Контроль	0	-1	0	0	0

Таблица 2

Уровни варьирования первой группы исследуемых факторов в кодированных величинах и их численные значения

Вид компонента	x_1	Факторы	Уровни варьирования		
			-1	0	+1
	x_1	СП, % от массы вяжущего (Ц + МД)	0,5	1,0	1,5
	x_2	МКМ, % от массы МД (МК+ВМК+РСАМ+МКМ)	0	25	50

Таблица 3

Уровни варьирования второй группы исследуемых факторов в кодированных величинах и их численные значения

Вид добавки	v_1	Факторы	Уровни варьирования			
			0	0,333	0,5	1,0
	v_1	МК, % от массы вяжущего (Ц + МД)	0	6,67/5/3,33*	10/7,5/5*	20/15/10*
	v_2	ВМК, % от массы вяжущего (Ц + МД)	0	6,67/5/3,33*	10/7,5/5*	20/15/10*
	v_3	РСАМ, % от массы вяжущего (Ц + МД)	0	6,67/5/3,33*	10/7,5/5*	20/15/10*

Примечание. *Количество АМД при содержании карбонатного наполнителя МКМ соответственно 0/25/50% от массы МД (МК+ВМК+РСАМ+МКМ).

Для обработки результатов экспериментальных исследований применялись методы математической статистики, а для их графической интерпретации – треугольные диаграммы Гиббса-Розебома, построенные с применением программы Statistica 10.0.1011.6.

В качестве основных исследуемых факторов были выбраны: подвижность, предел прочности при сжатии и плотность в нормальных влажностных условиях (28 суток). За показатель подвижности цементной системы принимался диаметр расплыва после 15-ти секундного истечения теста из усеченного мини-конуса (кольцо к прибору Вика по ГОСТ 310.3).

В качестве контрольного в данном исследовании был принят состав без минеральных добавок с содержанием 1% пластификатора Melflux 1641 F от массы вяжущего. Расплыв данного состава из мини-конуса составил 275 мм, предел прочности при сжатии – 98,3 МПа; плотность в равновесном состоянии – 2150 кг/м³.

Для комплексной оценки эффективности влияния минеральных добавок различного вида, а также концентрации суперпластификатора проведем анализ полученных результатов в относительных величинах (рис. 1–3). Судя по полученным данным, ряд модифицированных цементных систем превосходят контрольный состав как по отдельным показателям, так и по их комплексам, что свидетельствует о возможности разработки эффективных цементных вяжущих на их основе.

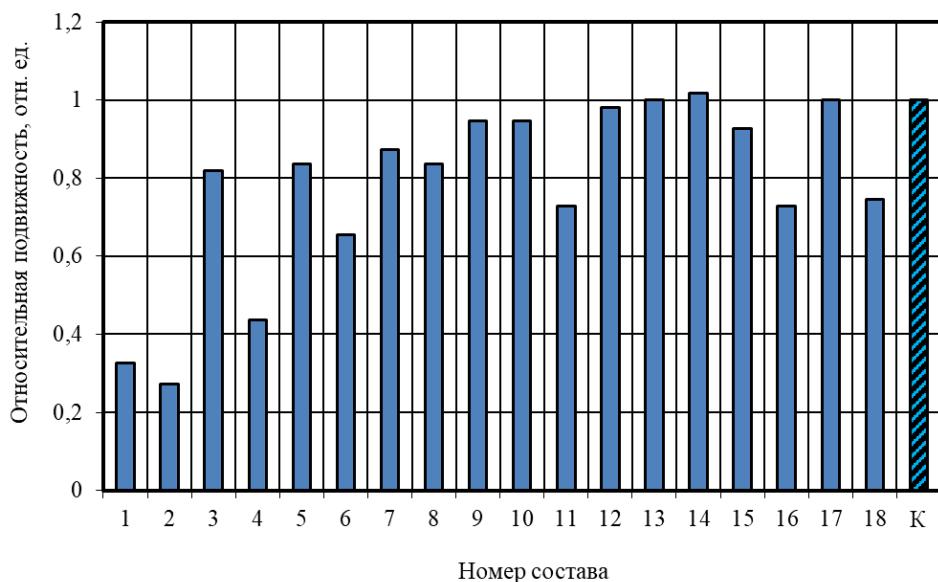


Рис. 1. Изменение относительной подвижности цементного теста (диаметр расплыва из мини-конуса) в зависимости от состава (табл. 1).

Установлено, что варьирование относительного предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток для 18 исследуемых составов по сравнению с контрольным происходит в интервале от 0,9 до 1,2 отн. ед. (рис. 3), изменение относительной плотности в нормальном

влажностном состоянии – от 0,96 до 1,02 отн. ед. (рис. 2). При этом введение в состав цементного теста минеральных добавок различного вида приводит к снижению подвижности смесей с учетом концентрации пластифицирующей добавки 0,5, 1,0 и 1,5% от массы вяжущего, соответственно, на 16-73%, до 25 и 27%.

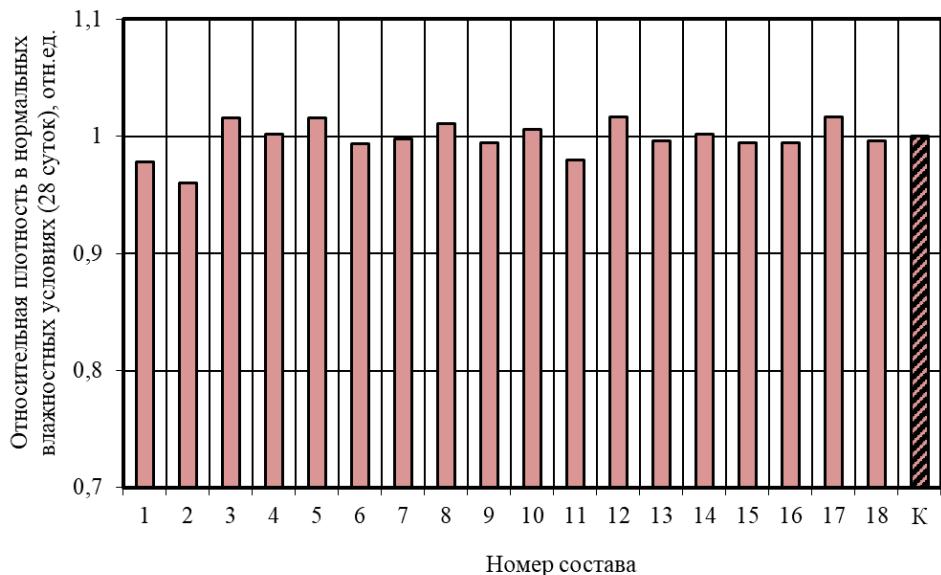


Рис. 2. Изменение относительной плотности модифицированного цементного камня в нормальных влажностных условиях (28 суток) в зависимости от состава (табл. 1).

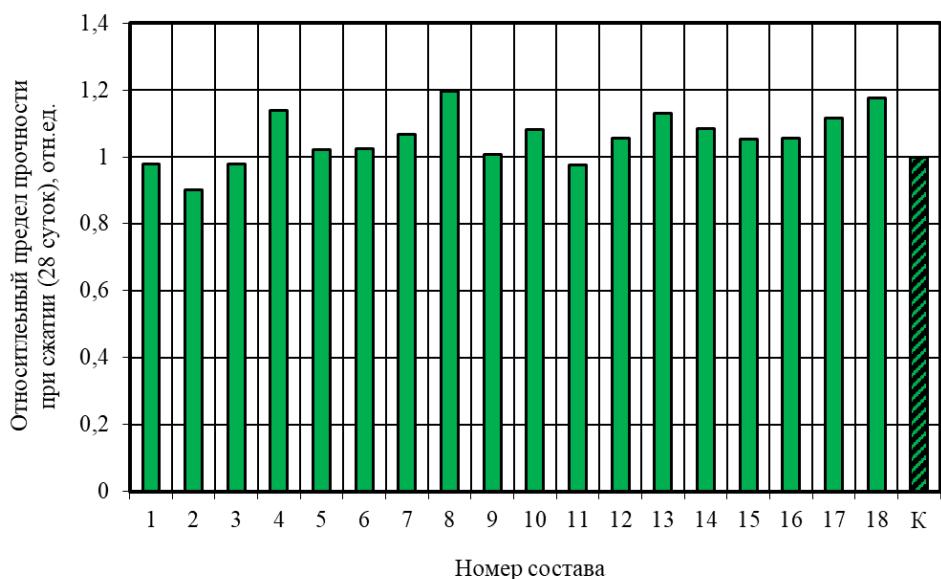


Рис. 3. Изменение относительного предела прочности при сжатии модифицированного цементного камня (28 суток) в зависимости от состава (табл. 1).

Проведем анализ треугольных диаграмм Гиббса-Розебома, описывающих изменение относительного предела прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в зависимости от варьируемых параметров (рис. 4). Установлено, что увеличение содержания в составах пластифицирующей добавки приводит к повышению прочностных показателей модифицированного цементного камня в возрасте 28 суток. Наибольший потенциальный

прирост прочностных показателей, достигающий согласно модельным значениям 45% по сравнению с контрольным составом, может быть получен при максимальной концентрации суперпластификатора Melflux 1641 F (1,5% от массы вяжущего) и замене 20% портландцемента на минеральные добавки BMK и PCAM, вводимые в равном соотношении.

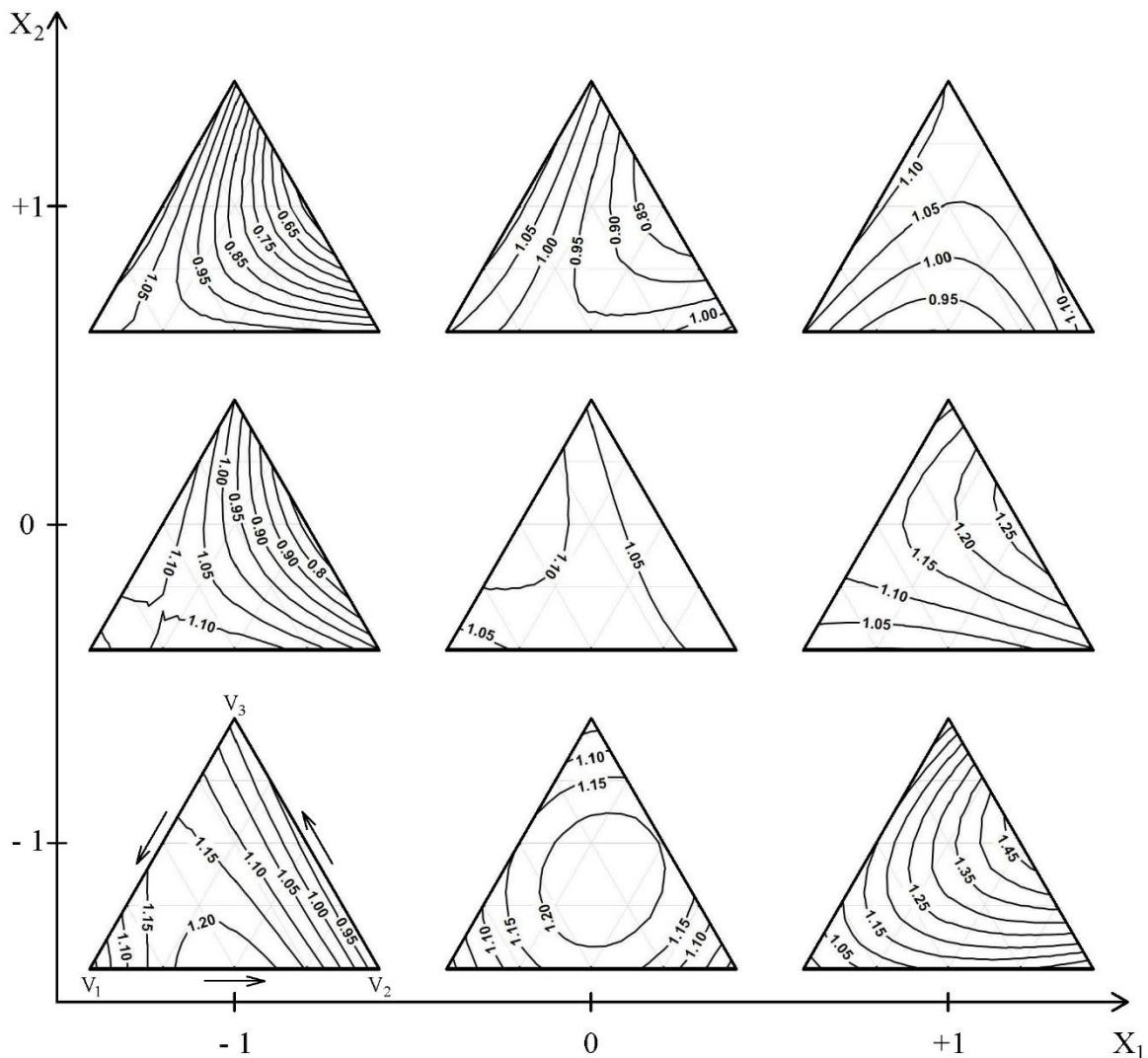


Рис. 4. Треугольные диаграммы Гиббса-Розебома изменения относительного предела прочности при сжатии (отн. ед.) модифицированного цементного камня (28 суток) в зависимости от варьируемых факторов: x_1 – Melflux 1641 F; x_2 – МКМ; v_1 – МК; v_2 – BMK; v_3 – PCAM.

Увеличение доли карбонатного наполнителя при всех концентрациях пластификатора приводит к снижению предела прочности при сжатии (рисунок 4), способствуя при этом повышению подвижности смесей. В целом, для всех комбинаций варьируемых факторов x_1 (суперпластификатор Melflux 1641 F) и x_2 (МКМ) могут быть получены составы, не уступающие контрольному пластифицированному (1% от массы вяжущего) композиту без МД. При этом следует выделить следующие комбинации варьируемых факторов, использование которых способствует достижению высоких прочностных показателей (более

20% по сравнению с контрольным составом) при различных концентрациях суперпластификатора Melflux 1641 F от массы вяжущего (Ц + МД):

- 1,5% СП; 25% МКМ, 37,5% ВМК и 37,5% РСАМ от общей массы минеральных добавок;
- 1,0% СП; МК, ВМК и РСАМ в равном соотношении;
- 0,5% СП; 50% МК и 50% ВМК от общей массы минеральных добавок.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования комплексной модификации при разработке эффективных составов цементных вяжущих с повышенными прочностными показателями. Дальнейшее направление исследований будет связано с проведением многокритериальной оптимизации как экспериментальных, так и модельных составов с использованием метода экспериментально-статистического моделирования [10], что позволит выявить составы с комплексом повышенных показателей (подвижность, плотность, предел прочности при сжатии, скорость набора прочности и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Низина Т. А., Балыков А. С., Коровкин Д. И., Володин С. В., Володин В. В. Влияние комплексных модификаторов на основе поликарбоксилатного суперпластификатора и минеральных добавок различного состава на технологические и физико-механические свойства цементных систем // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – №1. – С. 28-36.
2. Smirnova O. M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions // Magazine of Civil Engineering. – 2016. – Vol. 66(6). – P. 12-22.
3. Huang H. Improvement on microstructure of concrete by polycarboxylate superplasticizer (PCE) and its influence on durability of concrete // Construction and Building Materials. – 2016. – Vol. 110. – P. 293-299.
4. Carballosa P. Influence of cement and expansive additive types in the performance of self-stressing and self-compacting concretes for structural elements // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 93. – P. 223-229.
5. Le Saoût G. Hydration of Portland cement with additions of calcium sulfoaluminates // Cement and Concrete Research. – 2013. – Vol. 43. – P. 81-94.
6. Lollini F. Effects of portland cement replacement with limestone on the properties of hardened concrete // Cement and Concrete Research. – 2014. – Vol. 46. – P. 32-40.
7. Tang J. Synergistic effect of metakaolin and limestone on the hydration properties of Portland cement // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 223. – P. 177-184.

8. Низина Т. А., Балыков А. С., Коровкин Д. И., Володин В. В., Володин С. В. Оценка физико-химической эффективности минеральных добавок различного состава в цементных системах // Эксперт: теория и практика. – 2021. – №5. – С. 41-47.
9. Балыков А. С., Низина Т. А., Сарайкин А. С., Володин В. В., Потекаев А. В. Исследование водопотребности модифицированной фибробетонной смеси и ее влияния физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов [Электронный ресурс] // Огарёв-online. – Раздел «Технические науки». – 2016. – Выпуск 5. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-vodopotrebnosti-modificirovannoj-fibrobetonnoj-smesi-i-eyo-vliyaniya-na-fiziko-mekhanicheskie-xarakteristiki-melkozernistykh-betonov> (дата обращения 23.03.2022).
10. Ляшенко Т. В., Вознесенский В. А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2017. – 168 с.

КАНАЕВА Н. С., НИЗИН Д. Р., ПОРВАТОВА А. А.
ЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ¹

Аннотация. Проведена оценка характера кривой деформирования образцов эпоксидных полимеров при мягком циклическом ассиметричном нагружении до уровня напряжений, составляющих 80% от разрушающей нагрузки. Проанализировано изменение потерь энергии на гистерезис с ростом числа циклов для полимера на основе эпоксидной смолы Этал-247, отверждаемой смолой Этал-1472.

Ключевые слова: полимерные материалы, циклические испытания, гистерезис, петли гистерезиса, потери гистерезиса.

KANAEVA N. S., NIZIN D. R., PORVATOVA A. A.

CYCLIC TESTS OF EPOXY POLYMERS

Abstract. The character of the deformation curve of epoxy polymer samples under soft cyclic asymmetric loading to the stress level of 80% of the breaking load is estimated. The change in energy losses due to hysteresis with an increase in the number of cycles is analyzed for the composition of an epoxy polymer based on Etal-247 epoxy resin cured by Etal-1472.

Keywords: polymer materials, cyclic tests, hysteresis, hysteresis loops, hysteresis losses.

В последнее время в качестве конструкционных и защитных материалов все чаще применяются полимеры. Их серьезным преимуществом является то, что за счет изменения состава и совершенствования процесса производства полимерные материалы приобретают новые эксплуатационные качества. Обеспечение надежности и долговечности конструктивных элементов является важнейшим направлением при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений. Одним из наиболее значимых критериев обеспечения долговечной работы полимерных материалов является их устойчивость к действию циклических механических нагрузок [1; 2].

Сопротивление материалов действию циклических нагрузок существенно отличается от сопротивления тех же материалов статическому и ударному воздействию. В работах [3–7] показано, что в условиях действия переменных нагрузок могут протекать процессы как упрочнения, так и разупрочнения, связанные с исходным структурным состоянием материалов, его изменением под действием циклических деформаций, образованием и

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-38-90287 «Количественная оценка влияния натурных климатических факторов на динамическую усталость и долговечность полимерных композитов».

перераспределением остаточных микронапряжений, а также возникновением и развитием микроповреждений.

Согласно ГОСТ 57143-2016, сущность метода циклических испытаний полимерного композита состоит в повреждении образца под действием переменных растягивающих напряжений с постоянной частотой, формой цикла и коэффициентом асимметрии до полной потери его прочности или динамической жесткости. Испытания могут проводиться по двум методикам, каждая из которых определяет различные контрольные параметры испытаний. Мягкое нагружение характеризуется постоянной амплитудой напряжений, контрольным параметром испытаний является нагрузка (напряжение). Жесткое нагружение осуществляется при постоянной амплитуде деформаций, контрольным параметром испытания является деформация в направлении нагружения [8].

При циклическом приложении нагрузки диаграмма зависимости деформации от напряжений представляет собой петли гистерезиса. Площадь петли пропорциональна доле энергии упругости, перешедшей в тепло за один цикл нагружения. Гистерезис (от греч. *hysteresis* – отставание, запаздывание) свойствен нелинейным процессам, состоянию которых определяется не только внешними условиями в данный момент времени, но и предысторией [9].

В качестве объекта исследования был выбран полимер, получаемый на основе модифицированной эпоксидной смолы Этал-247 (ТУ 2257-247-18826195-07), отверждаемой отвердителем Этал-1472 (ТУ 2257-3570-18826195-03). Данный отвердитель позволяет повысить подвижность и жизнеспособность полимерных смесей на его основе по сравнению с композициями на основе полиэтиленполиамина; является нетоксичным веществом, не вызывает аллергических реакций, не имеет неприятного запаха.

Для проведения циклических испытаний составов полимерных композитов на растяжение использовалась разрывная машина серии AGS-X с программным обеспечением TRAPEZIUM X. Частота фиксации значений напряжений и деформаций составляла 0,01 сек. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р 57143-2016 «Композиты полимерные. Метод испытания на усталость при циклическом растяжении» при температуре 23 ± 2 °C и относительной влажности воздуха $50\pm5\%$ на образцах, имеющих форму «восьмерок» (тип 2 согласно ГОСТ 11262-2017). Скорость перемещения зажимов испытательной разрывной машины составляла 2 мм/мин. Испытания проводились при мягком циклическом ассиметричном нагружении до уровня напряжений, составляющих 80% от разрушающей нагрузки.

Анализ полученных результатов показал, что при циклических испытаниях на растяжение, кривая деформирования образцов эпоксидных полимеров имеет чередующиеся

восходящие (нагрузка) и нисходящие (разгрузка) ветви (рис. 1). Восходящие кривые имеют выгнутую форму, а нисходящие – практически прямолинейную, что свидетельствует о разном характере процессов, происходящих в структуре полимеров при нагрузке и разгрузке. При нагружении всегда присутствует пластическая составляющая деформации, возрастающая при увеличении нагрузки. Процесс разгрузки представляет собой упругую релаксацию напряжений.

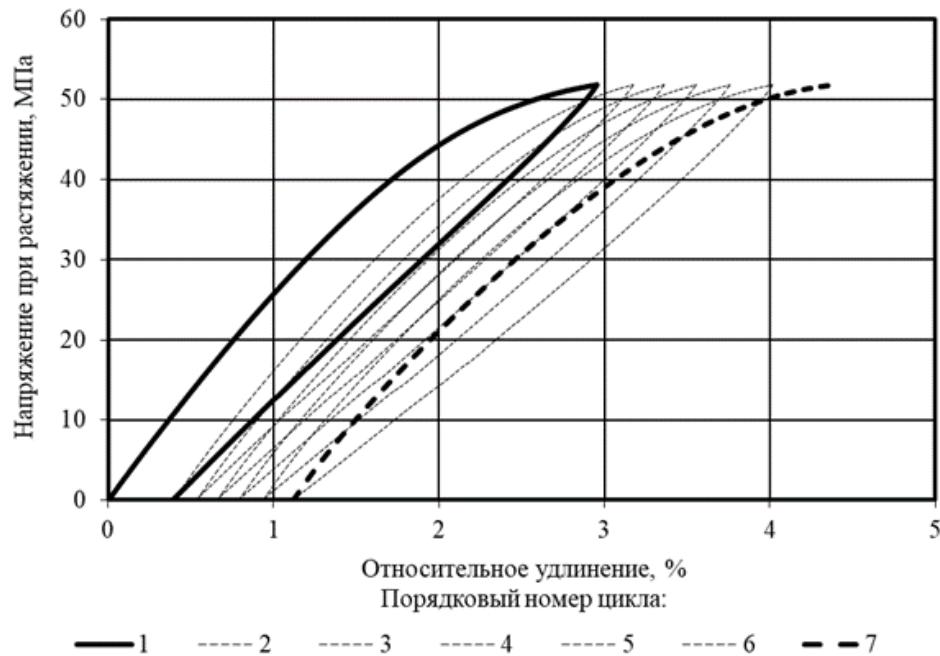


Рис. 1. Кривая деформирования образца эпоксидного полимера (Этал-247/Этал-1472) при циклическом воздействии растягивающих нагрузок (80% от разрушающей нагрузки).

По результатам проведенных исследований установлено, что разрушение образца произошло на седьмом цикле воздействия растягивающей нагрузки, равной 80% от разрушающей. Нагрузка при разрыве образца достигла уровня 99,8% от заданного уровня нагружения. Изменение модуля упругости эпоксидного полимера состава Этал-247/Этал-1472 при растяжении в зависимости от номера циклического нагружения представлено на рисунке 2. Установлено повышение данного показателя для второго цикла нагружения по сравнению с этапом №1 на 2,7% с последующим практически линейным снижением для циклов №№ 3-6. В целом, снижение модуля упругости полимера в процессе циклического нагружения не превышает 1,2% по сравнению с аналогичным показателем, определенным для этапа №1.

На основе анализа экспериментальных данных, а именно петель циклического гистерезиса (циклической диаграммы), вычислены потери на гистерезис для каждого цикла деформирования (см. таблицу 1). Изменение потерь энергии на гистерезис с ростом числа циклов представлено на рисунке 3. При первом цикле растяжения потери на гистерезис

максимальны, из чего можно заключить, что уже при первом нагружении в образцах полимеров происходят существенные необратимые изменения. Далее потери на гистерезис уменьшаются, а затем постепенно нарастают до цикла разрушения. Можно полагать, что на начальном этапе деформирования эпоксидных полимеров происходит массовое разрушение «слабых» структур, после чего нагрузка перераспределяется на элементы, находящиеся в «работоспособном» состоянии. Дальнейшее воздействие циклических растягивающих нагрузок приводит к формированию в структуре полимерного композита микроповреждений, развитию процесса разуплотнения структуры, зарождению очагов локального разрушения, приводящих впоследствии к его разрушению.

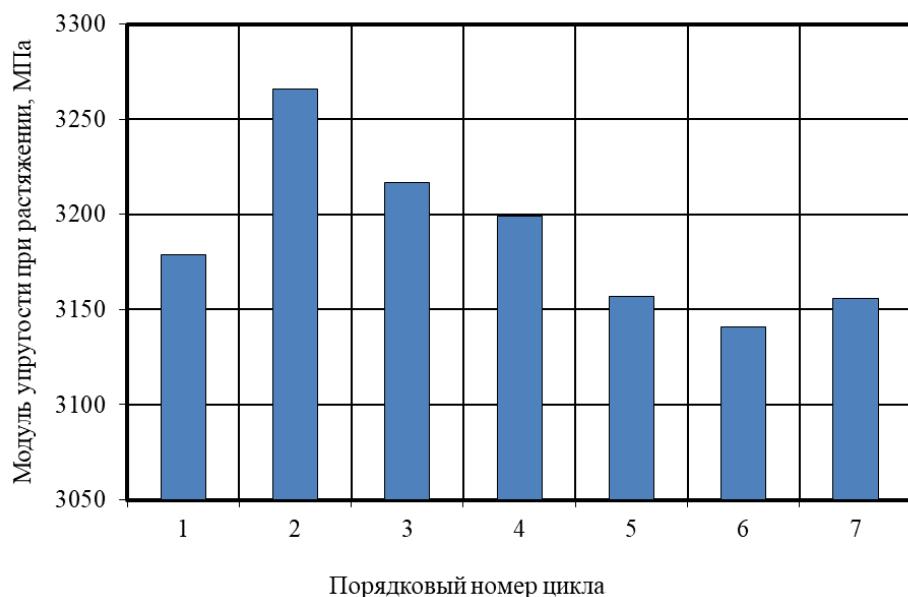


Рис. 2. Изменение модуля упругости при растяжении эпоксидного полимера состава Этал-247/Этал-1472 в зависимости от порядкового номера циклического воздействия (80% от разрушающей нагрузки).

Таблица 1

Изменение энергии при циклическом растяжении с ростом числа циклов

Номер цикла	Относительное удлинение при максимальной нагрузке цикла*, %	Необратимая деформация цикла, %	Энергия нагружения, Дж	Энергия разгружения, Дж	Гистерезис, Дж
1	2,95	0,40	4,40	3,02	1,38
2	3,17	0,14	3,97	3,09	0,88
3	3,36	0,13	4,02	3,14	0,88
4	3,55	0,13	4,12	3,18	0,95
5	3,76	0,15	4,25	3,21	1,04
6	4,02	0,18	4,47	3,26	1,21
7	4,37	-	4,80	-	-

* 80% от разрушающей нагрузки при растяжении (51,8 МПа).

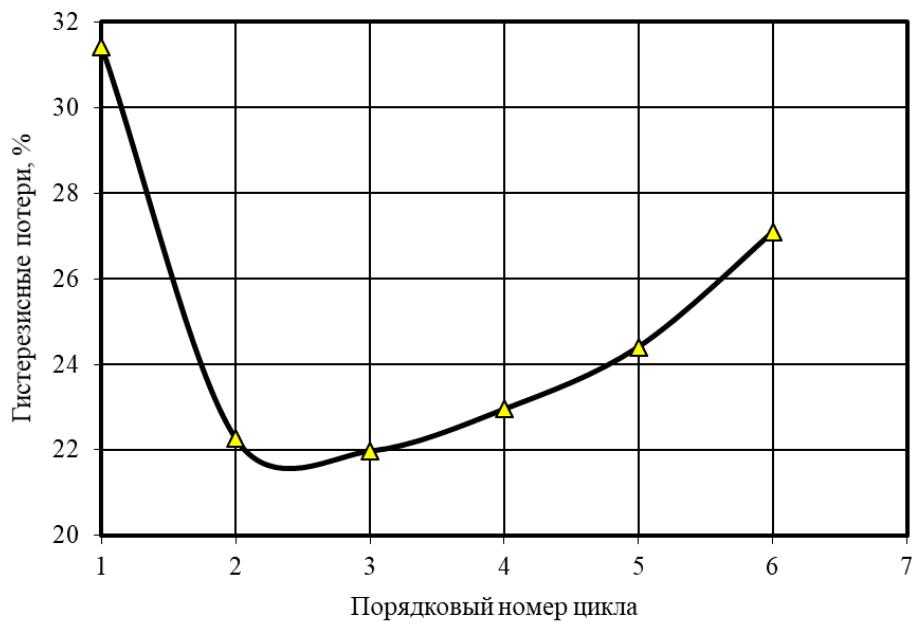


Рис. 3. Изменение величины гистерезисных потерь эпоксидного полимера состава Этал-247/Этал-1472 в зависимости от порядкового номера циклического воздействия (80% от разрушающей нагрузки).

В результате проведенных циклических испытаний эпоксидного полимера установлено, что на этапах нагружения пластическая составляющая деформации возрастает, а процесс разгрузки представляет собой упругую релаксацию напряжений. При анализе петель гистерезиса выявлено, что на начальном этапе деформирования после существенных внутренних повреждений происходит перераспределение нагрузки. Последующее деформирование приводит к формированию в структуре полимерного композита необратимых изменений, которые со временем прогрессивно возрастают и приводят к разрушению материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарев Б. А., Борков П. В., Комаров П. В., Бондарев А. Б. Экспериментальные исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 136-143.
- Pruitt L. A. Fatigue of Polymers // Comprehensive Structural Integrity. – 2003. – Vol. 4. – P. 89-103.
- Гоц А. Н., Глинкин С. А. Обзор моделей усталостного разрушения при циклическом нагружении // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9 (часть 3). – С. 478-482.
- Borkov P. V., Komarov P. V., Bondarev A. B., Bondarev B. A. Accelerated method of predicting cyclic durability of polymer composite materials // Scientific Herald of the

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2014. – №2(22). – С. 27-33.

5. Startsev O. V., Blaznov A. N., Petrov M. G., Atyasova E. V. A study of the durability of polymer composites under static loads // Polymer Science Series D. – 2019. – Vol. 12. – P. 440-448.
6. Jain V. K. Fatigue Effects in the Wear of Polymers: PhD Thesis. – USA: Iowa State University, 1980. – 190 p.
7. Ярцев В. П. Старение и разрушение стабилизированных термопластов в напряженном состоянии // Вестник ТГТУ. – 2005. – Т. 11. – №2. – С. 470–474.
8. ГОСТ Р 57143-2016. Композиты полимерные. Метод испытания на усталость при циклическом растяжении. – М.: Стандартинформ, 2016.
9. Данилин А.Н., Кузнецова Е.Л., Рабинский Л.Н. Модель гистерезиса энергорассеяния при колебаниях механических систем // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2014. – №4. – С. 45-67.

НИЗИНА Т. А., НИЗИН Д. Р., МИРОНОВ Е. Б., МАРТЬЯНОВА А. В.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ FDM-ПЕЧАТНЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. Изучено влияние технологических режимов (температура, скорость и ориентация печати) на изменение упруго-прочностных показателей FDM-печатных образцов. Фиксировались предел прочности и модуль упругости при растяжении, относительное удлинение при разрыве и максимальной растягивающей нагрузке. Выявлены оптимальные режимы печати с учетом ориентации FDM-печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, FDM-печать, упруго-прочностные характеристики, технологический режим, температура печати, скорость печати, ориентационный эффект.

NIZINA T. A., NIZIN D. R., MIRONOV E. B., MARTYANOVA A. V.
EFFECTS OF TECHNOLOGICAL MODES ON ELASTIC-STRENGTH
CHARACTERISTICS OF FDM-PRINTED SAMPLES

Abstract. The effects of technological modes, such as temperature, speed and orientation of printing on the change in the elastic-strength indicators of FDM-printed samples are studied. Tensile strength and modulus of tensile elasticity, elongation at break and maximum tensile load were recorded. The optimal printing modes are revealed, taking into account the orientation of FDM-printing.

Keywords: additive technologies, FDM-printing, elastic-strength characteristics, technological mode, printing temperature, printing speed, orientation effect.

Современное строительство развивается с высокой скоростью, внедряя новые технологии и материалы. Одним из перспективных направлений развития строительной отрасли является применение аддитивных технологий (3D-печати), основанной на создании объекта путем послойного наращивания материала. Модели, получаемые таким образом, могут применяться как для изготовления опытных образцов, так и готовых изделий [1]. Особенностью данной технологии является то, что она позволяет решить проблемы энергозатратности, низкой производственной эффективности, ресурсоемкости и безопасности на строительной площадке [2]. При этом большая часть потенциала аддитивных технологий заключается в достижении повышенных эксплуатационных характеристик готовой продукции, значительной экономии сырья, возможности изготовления конструкций сложной геометрии без усложнения производственного процесса, мобильности производства, а также в ускоренных темпах строительства [3–5].

Аддитивные технологии представлены несколькими способами печати, которые различаются исходным материалом и принципом его нанесения [3]. Среди основных методов печати выделяют следующие: технология послойного наплавления (FDM), стереолитография (SLA), цифровая обработка светом (DLP), выборочное спекание слоев (SLS), трехмерная печать (3DP), производство ламинированных объектов (LOM) и технология PolyJet [6; 7]. Каждый способ печати имеет свои особенности применения, достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при производстве изделий.

Наиболее популярным является FDM-метод, заключающийся в том, что термопластичная полимерная нить (филамент) подается в экструзионную головку 3D-принтера, в которой нагревается до вязкотекучего состояния и выдавливается через сопло диаметром 0,1–0,3 мм по заданной траектории на неподвижное основание. Последующие слои укладываются на предыдущие и затвердевают по мере охлаждения. При этом послойную ориентацию укладки расплавленной полимерной нити можно изменять в соответствии с выбранным алгоритмом, регулируя анизотропию свойств в образце [8; 9]. Качество изделия, получаемого таким образом будет зависеть от ориентации нити расплава (продольно и параллельно направлению нагружения образца, а также вдоль направления наращивания) и растра (0° , 90° , $0^\circ/90^\circ$, $45^\circ/-45^\circ$) [10]. Однако при использовании аддитивных технологий довольно сложно предсказать, как поведет себя изделие при действии нагрузок различного вида, что вызывает еще больший интерес со стороны исследователей и академических сообществ.

Цель исследования заключается в оценке влияния технологических режимов FDM-печати на физико-механические характеристики формируемых образцов. Печать осуществлялась с помощью 3D-принтера FlyingBear Ghost 5 при использовании филамента на основе пластика PETG (полиэтилентерефталат, модифицированный гликолем). Для печати использовались базовые настройки в программе (слайсере) Ultimaker Cura 4.10.0. Толщина филамента – 1,75 мм; толщина слоя (стенка, крышка, заполнение) – 0,2 мм; сопло – 0,4 мм. Формируемые в процессе печати элементы представляли собой образцы-восьмерки (тип 2) по ГОСТ 11262-2017.

Уровни первых двух варьируемых факторов (температура состава и скорость печати) приведены в таблице 1. Третий варьируемый параметр характеризовал собой ориентацию расположения образцов в процессе печати – горизонтальная, вертикальная или боковая (рисунок 1). План экспериментального исследования представлен в табл. 2.

В качестве контролируемых показателей в рамках исследования определяли предел прочности и модуль упругости при растяжении, относительное удлинение при разрыве и максимальной растягивающей нагрузки. Гистограммы изменения упруго-прочных

показателей 3D-печатных образцов представлены на рисунке 2, изолинии изменения вышеуказанных показателей в зависимости от варьируемых факторов – на рисунке 3.

Таблица 1

Уровни варьирования исследуемых факторов в кодированных величинах и их числовые значения

Варьируемые факторы		Уровни варьирования		
		-1	0	+1
x_1	Температура состава, °C	225	235	245
x_2	Скорость печати, мм/сек.	25	40	55

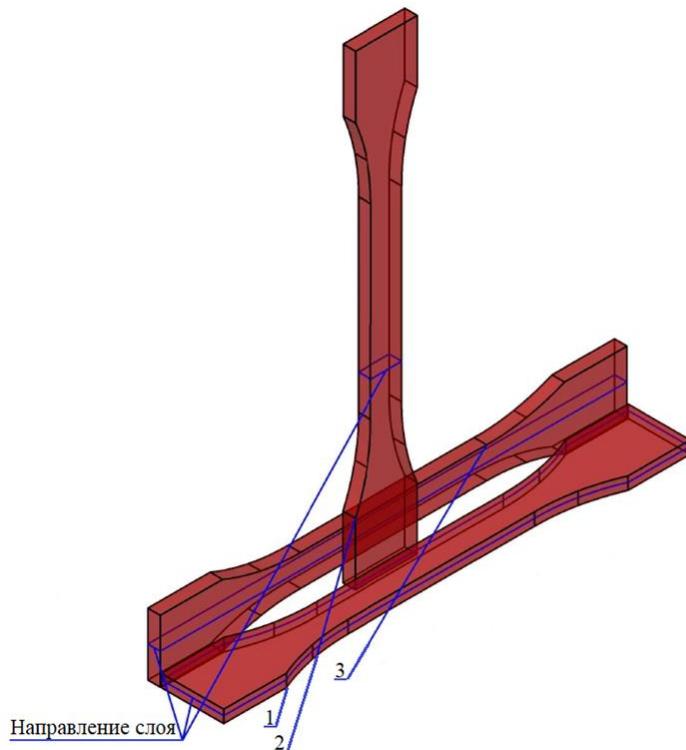


Рис. 1. Схема FDM-печати при изготовлении образцов с учетом их ориентации в процессе печати:
1 – горизонтальная; 2 – вертикальная; 3 – боковая.

По результатам проведенного анализа установлено, что наиболее высокие упругопрочностные показатели достигнуты при боковой ориентации печати (рисунок 2, а, б). Предел прочности при растяжении для экспериментальных образцов, изготовленных по данному режиму, превышает аналогичные показатели для горизонтальной печати на 14 – 59%; модуль упругости – на 14 – 26%.

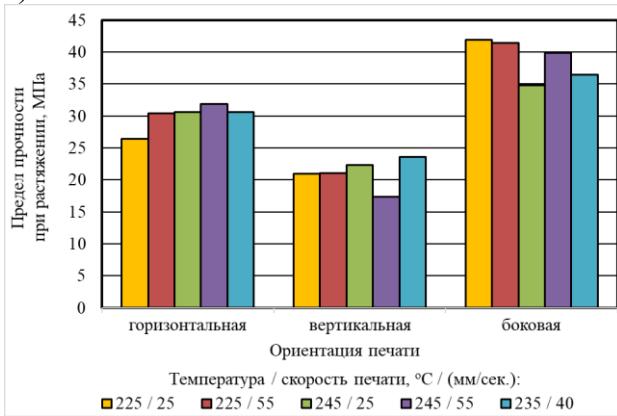
Формирование образцов в направлении «вертикальная печать» приводит к существенному снижению предела прочности при растяжении, достигающему 20 – 45% (рисунок 2, а). При этом изменение модуля упругости по сравнению с образцами, изготовленными при горизонтальной ориентации печати, не превышает 7% (рисунок 2, б).

Таблица 2

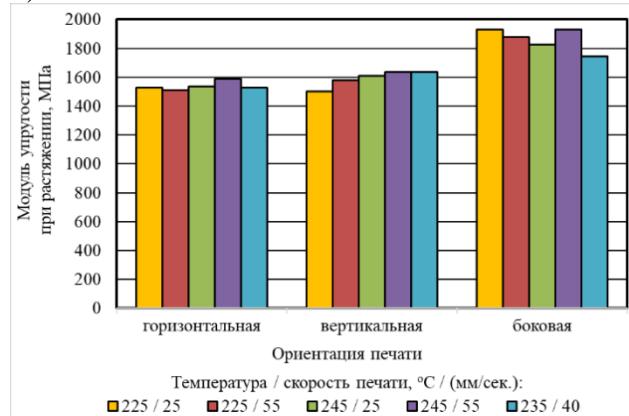
План экспериментального исследования

Номер серии образцов	Варьируемые факторы				
	в кодируемых величинах		в реальных величинах		
	x_1	x_2	Температура состава, °C	Скорость печати, мм/сек.	Ориентация печати
1	-1	-1	225	25	горизонтальная
2	-1	1	225	55	
3	1	-1	245	25	
4	1	1	245	55	
5	0	0	235	40	
6	-1	-1	225	25	вертикальная
7	-1	1	225	55	
8	1	-1	245	25	
9	1	1	245	55	
10	0	0	235	40	
11	-1	-1	225	25	боковая
12	-1	1	225	55	
13	1	-1	245	25	
14	1	1	245	55	
15	0	0	235	40	

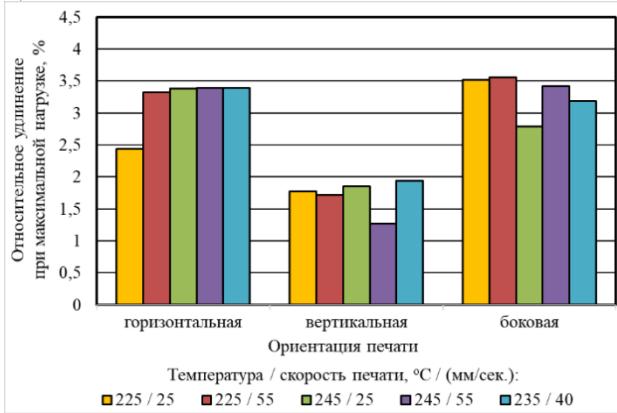
а)



б)



в)



г)

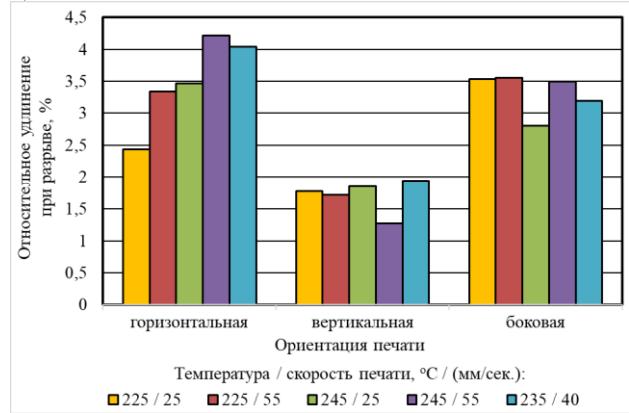


Рис. 2. Изменение предела прочности (а) и модуля упругости (б) при растяжении, относительного удлинения при разрыве (г) и достижении образцами максимальных растягивающих нагрузок (в) FDM-печатных материалов в зависимости от режимов печати.

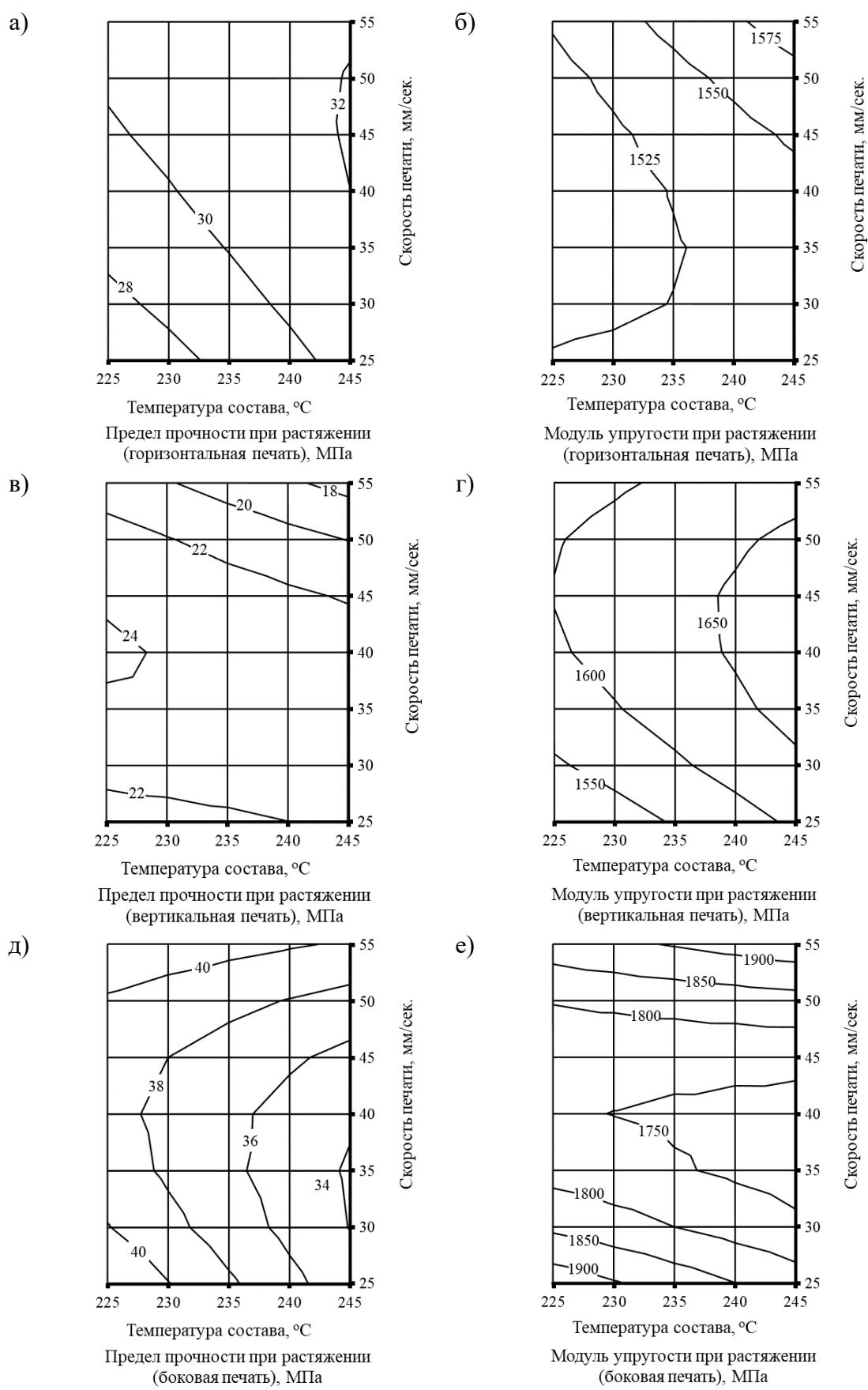


Рис. 3. Изолинии изменения предела прочности (а, в, д) и модуля упругости (б, г, е) при растяжении FMD-печатных материалов в зависимости от температуры состава и скорости печати для горизонтального (а, б), вертикального (в, г) и бокового (д, е) направлений печати.

Относительное удлинение образцов при максимальном уровне растягивающих нагрузок для горизонтальной и боковой ориентации печати варьируется в интервале от 2,4 до 3,6%, снижаясь для вертикальной печати до 1,2 – 1,9% (рисунок 2, в). Формирование исходящих ветвей кривых деформирования и, как следствие, увеличение относительного удлинения при разрыве по сравнению с относительным удлинением при достижении максимальных уровней растягивающих нагрузок, зафиксировано только для трех серий образцов (№ 3 – 5, таблица 2) из пятнадцати исследованных. Температура печати в вышеуказанных опытах составляет 235, 245 °С, ориентация печати – горизонтальная (рисунок 2, г).

Анализ изолиний изменения предела прочности и модуля упругости при растяжении в зависимости от температуры и скорости FDM-печати свидетельствует о существенных различиях в характере распределения свойств в зависимости ориентационного эффекта (рисунок 3). Так, в случае горизонтальной печати наиболее высокий комплекс прочностных показателей зафиксирован при температуре 245 °С и скорости печати 40 – 55 мм/сек (рисунок 3, а, б). Для боковой и вертикальной ориентаций печати, напротив, предел прочности при растяжении повышается при снижении температуры печати до 225 °С (рисунок 3, в, д).

Проведенный анализ результатов показал, что в зависимости от ориентации слоя, а также температуры и скорости FDM-печати наблюдается существенное варьирование свойств 3D-печатных образцов, достигающее для предела прочности, модуля упругости при растяжении, относительного удлинения при разрыве и максимальной растягивающей нагрузки (отношение максимального значения к минимальному), соответственно, 2,4, 1,3, 3,3 и 2,8 раз. Дальнейший этап развития данного направления будет связан с расширением числа варьируемых факторов, оказывающих влияние на свойства 3D-печатных образцов, а также оптимизацией технологических режимов, в том числе с учетом используемого филамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунева Д. А., Кожевникова Е. О., Калошина С. В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 90-101.
2. Денисова Ю. А. Аддитивные технологии в строительстве // Строительные материалы и изделия. – 2018. – № 3. – С. 33-42.
3. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

4. Kreiger M. A., MacAllister B. A., Wilhoit J. M., Case M. P. The current state of 3D printing for use in construction // The Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure. – Ames, 2015. – P. 149-158.
5. Григорьев С. Н., Смuroв И. Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом // Инновации. – 2013. – № 10 (180). – С. 76-82.
6. Lee J., An L., Chua C. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials // Applied materials today. – 2017. – Vol. 7. – P. 120-133.
7. Singh S., Ramakrishna S., Singh R. Material issues in additive manufacturing: a review // Journal of Manufacturing Processes. – 2017. – Vol. 25. – P. 185-200.
8. Vaezi M., Seitz H., Yang S. A review on 3D micro-additive manufacturing technologies // Int. J. Adv. Manuf. Tehnol. – 2013. – Vol. 67. – P. 1721-1754.
9. Кондрашов С.В., Пыхтин А.А., Ларионов С.А., Сорокин А.Е. Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей (обзор) // Труды ВИАМ. – 2019. – № 10. – С. 34-49.
10. Sood A., Ohdar R., Mahapatra S. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts // Materials & Design. – 2010. – Vol. 31. – Iss. 1. – P. 287-295.