

0+

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

АРХИТЕКТУРА, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И ДИЗАЙН



ARCHITECTURE, URBANISM AND DESIGN

INTERNATIONAL ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL



4(34) / 2022

ISSN 0000-0000



АРХИТЕКТУРА, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И ДИЗАЙН

№ 4(34)/2022 Международный электронный научный журнал

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Шабиев С. Г., председатель редакционной коллегии, доктор архитектуры, профессор, декан факультета «Архитектура» Южно-Уральского государственного университета

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Колясников В. А., доктор архитектуры, профессор кафедры «Градостроительство» Уральской государственной архитектурно-художественной академии (г. Екатеринбург, Россия);

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Зимич В. В., кандидат технических наук, доцент кафедры «Архитектура», заместитель декана по научной работе архитектурного факультета Южно-Уральского государственного университета

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

Согрин Е. К.

ВЁРСТКА

Шрайбер. А. Е.

КОРРЕКТОР

Фёдоров. В. С.

WEB-РЕДАКТОР

Шаров М.С.

0+

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

454080, г. Челябинск,
пр. им. В. И. Ленина, д. 76, оф. 518
E-mail: aud.susu@gmail.com
Тел./факс: +7 (351) 267-98-24; 8-950-733-35-45
www.aud.susu.ru

Журнал зарегистрирован Роскомнадзором
Свидетельство ЭЛ № ФС77-57927 от 28.04.2014

УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

ИЗДАТЕЛЬ

архитектурный факультет Южно-Уральского государственного университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Черкасов Г. Н., доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектура промышленных сооружений» Московского архитектурного института (г. Москва, Россия);

Муксинов Р. М., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура», декан факультета «Архитектура, дизайн и строительство» Кыргызско-Российского славянского университета, академик, вице-президент Академии архитектуры и строительства Республики Кыргызстан, член-корреспондент Международной академии архитектуры стран Востока (г. Бишкек, Республика Кыргызстан);

Куспангалиев Б. У., доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектура и дизайн» Казахского национального технического университета, директор-академик Казахского Академического центра международной академии архитектуры (г. Алматы, Республика Казахстан);

Сурина Л. Б., кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Дизайн и изобразительное искусство» Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск, Россия);

Ахмедова А. Т., доктор архитектуры, Почетный архитектор Казахстана. Декан факультета дизайна МОК КазГАСА (Международная образовательная корпорация Казахская головная архитектурно-строительная академия) (г. Алматы, Республика Казахстан);

Сабитов А. Р., доктор архитектуры, Почетный архитектор Казахстана. Заведующий кафедрой графического дизайна МОК КазГАСА (Международная образовательная корпорация Казахская головная архитектурно-строительная академия) (г. Алматы, Республика Казахстан);

XiaoJun Zhao, Director, Chief Architect, Design Director, Senior Architect of China Construction International (Shenzhen) Design Co., Ltd.

ДИЗАЙН АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ И ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА**БОКОВА О.Р., ШАБИЕВ С.Г., СОРОКИНА А.В.**

Научные основы проектирования световой архитектуры главного корпуса Южно-Уральского государственного университета 3

ДЕВЕСИЛОВА Е.А., БУРОВ А.Г.

Адаптация зеленых городских пространств к требованиям современной ландшафтной архитектуры 12

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**МЕРКУШЕВ К.А.**

Инновационные возможности имитационных алгоритмов моделирования архитектуры промышленных объектов 18

ОМЕЛЬЯНЕНКО В. Л.

Архитектурное проектирование при внедрении аддитивных технологий в строительстве 25

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**МЯСНИКОВА А.А.**

Влияние АМД на усадочные деформации бетона 34

ЗИМИЧ В. В.

Исследование фазового состава и свойств сульфомагнезиального камня 40

DESIGN OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT AND LANDSCAPE ARCHITECTURE**BOKOVA O.R., SHABIEV S.G., SOROKINA A.V.**

Scientific base of illumination architecture design for the main building of South Ural State University 3

DEVESILOVA E.A., BUROV A.G.

Adaptation of green city spaces to the requirements of modern landscape architecture 12

COMPUTER-AIDED DESIGN**MERKUSCHEV K.A.**

Innovative possibilities of simulation algorithms for modeling the architecture of industrial objects 18

OMELIANENKO V. L.

Architectural design during implementation additive technologies in construction 25

ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION TECHNOLOGIES AND MATERIALS**MYASNIKOVA A.A.**

Influence of AMA on concrete shrinkage 34

ZIMICH V.V.

Research of the phase composition and properties of sulfomagnesium stone 40

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕТОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ ГЛАВНОГО КОРПУСА ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Посвящена актуальной проблеме обеспечения художественной выразительности световой с учётом безопасности архитектуры в трех аспектах – архитектурно-технологической, светотехнической и визуальной на примере главного корпуса Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ).

Цель заключается в разработке научных основ проектирования световой архитектуры в аспекте безопасности.

В соответствии с поставленной целью основными задачами являются использование эффективных приемов световой архитектуры на базе реконструированного главного корпуса ЮУрГУ, рациональное устройство светотехнических средств для достижения максимального архитектурно-художественного эффекта, в том числе применение специальной оптики с углом половинной яркости не более 0-15 градусов и 0-7 градусов, утверждение проекта световой архитектуры главного корпуса главным архитектором города Челябинска и последующая реализация.

Для решения поставленных задач используются методы сравнительного анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования световой архитектуры, натурные обследования главного корпуса на уровне генплана и отдельного здания с подъемом на все его доступные этажи, включая башенные надстройки, изучение рабочей проектно-планировочной документации главного корпуса, в том числе, макеты в разномасштабном исполнении, многовариантное проектирование световой архитектуры главного корпуса с экспериментальным размещением светотехнических устройств на фасаде, на западных и восточных покрытиях крыльев, на имеющихся столбах освещения и на уровне земли.

Авторская методика научных основ проектирования световой архитектуры показала её высокую архитектурно-художественную эффективность даже на предварительном этапе монтажа осветительных устройств на главном корпусе, усилив его градостроительную значимость в вечерне-ночное время. В дальнейшем планируется вести авторский надзор за последующими этапами реализации световой архитектуры главного корпуса вплоть до полного завершения, что обеспечит его архитектурно-технологическую, светотехническую и визуальную безопасность. Это усилит социальную значимость здания главного корпуса ЮУрГУ, как произведения зодчества, повысит привлекательность его архитектурного облика в любое время суток.

Ключевые слова: световая архитектура, научные основы проектирования, главный корпус, Южно-Уральский государственный университет, город Челябинск.

SCIENTIFIC BASE OF ILLUMINATION ARCHITECTURE DESIGN FOR THE MAIN BUILDING OF SOUTH URAL STATE UNIVERSITY

The paper is devoted to the issue of artistic expressiveness for safe illumination architecture in three aspects: architectural and technological, illuminating and visual ones based on the example of the main building of the South Ural State University (SUSU).

The goal is to develop the scientific base for illumination architecture design in terms of safety.

Based on the goal, the main tasks of the paper are the use of effective methods of illumination architecture of the reconstructed main building of SUSU, the rational arrangement of illumination equipment to achieve the maximum architectural and aesthetic effect, including the use of special optics with an angle of half brightness not more than 0-15 grade and 0-7 grades as well as approval of the project by the chief architect of Chelyabinsk city and its subsequent realization.

To solve the tasks, we used the methods of comparative analysis of domestic and foreign experiences in the field of illumination architecture design, field surveys of the SUSU main building at the level of the general plan and a separate building with a equipment of all the accessible floors, including tower superstructures, study of its working design and planning documentation, the models in different scales, multi-variant design of illumination architecture with experimental placement of illumination devices on the facade, on the western and eastern coverings of the wings, on the existing illumination poles and at ground level.

The author's method of scientific base for illumination architecture design showed its high architectural and aesthetic efficiency even at the starting installing stage, enhancing its urban planning significance at evening and night time. In the future, it is planned to use architectural supervision of all the installation stages including the final one, which will ensure its architectural, technological, illumination and visual safety. This will enhance the social significance of the SUSU main building as a piece of architecture and increase the attractiveness of its architectural appearance at any time of the day.

Keywords: *illumination architecture, scientific base of design, main building, South Ural State University, Chelyabinsk city.*

В результате проведенных научных исследований разработана методика проектирования световой архитектуры в аспекте безопасности в трех её аспектах – архитектурно-технологической, светотехнической и визуальной. Данная методика включает приемы, апробированные авторами в реальных разработках по проектированию световой архитектуры реконструируемого здания главного корпуса Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) и окружающего его светопространства. Проблемам световой архитектуры в настоящее время уделяется особое внимание [4,5,6,10,11].

Объективная потребность реконструкции главного корпуса ЮУрГУ обусловлена социальной значимостью объекта, как крупнейшего вуза Южного Урала, размещенного на

завершении центрального проспекта Ленина в г. Челябинске [2,3,15]. Реконструированный в 2001-2003 гг. главный корпус ЮУрГУ, получивший широкое общественное признание, потребовал острую необходимость в архитектурном освещении с учётом мирового опыта [20,21,22]. Положительным примером является МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Москве (ЮУрГУ – второй вуз в России наряду с МГУ, имеющих активный силуэт и являющихся градостроительными доминантами).

В процессе анализа существующего положения и самого процесса проектирования, как основополагающий, использовался принцип безопасности [14,17,18,19,23]. До реконструкции главный корпус ЮУрГУ представлял собой семиэтажное здание высотой 27,90 м со скатным покрытием, на котором в

осенне-зимний и весенний периоды образовывались наледи по его периметру. Данный факт инициировал задачу обеспечить средствами архитектуры полную безопасность при непрерывном потоке студентов и преподавателей, входящих и выходящих из здания главного корпуса.

На основе использования метода многовариантного проектирования с применением современных программных средств был найден оптимальный вариант с учетом эффективного использования приемов световой

архитектуры [13,14,16]. Значительное увеличение высоты главного корпуса потребовало демонтажа скатного покрытия, что обеспечило безопасность эксплуатации здания и позволило существенно расширить эффект световой архитектуры и более рационально использовать технические средства монтажа светотехнических устройств на разных уровнях фасада главного корпуса без снижения их уровня архитектурного освещения по всей высоте здания (рис. 1-2).

Авторским коллективом разработан про-



Рис.1. Основной фасад главного корпуса университета до реконструкции при дневном восприятии



Рис 2. Основной фасад главного корпуса университета после реконструкции при дневном восприятии

ект световой архитектуры здания главного корпуса ЮУрГУ. Здание главного корпуса после реконструкции приобрело динамичное очертание, воспринимаемое с больших расстояний. Поэтому в темное время суток подсвеченный силуэт объекта может украсить городской пейзаж Челябинского мегаполиса и служить градостроительной доминантой, как в дневное, так и в ночное время (рис.2, 3). При проектировании световой архитектуры

учитывалось размещение главного корпуса на перекрестке улиц Тернопольской и пр. Ленина, разделенных зелёной полосой на две части.

Перекрёсток перед зданием университета – один из наиболее функционально и ментально значимых фрагментов городского каркаса [9]. Непрерывный поток преподавателей и студентов через пр. Ленина обусловил специфику использования приемов световой архитектуры главного корпуса, вос-



Рис 3. Проектное предложение освещения главного корпуса

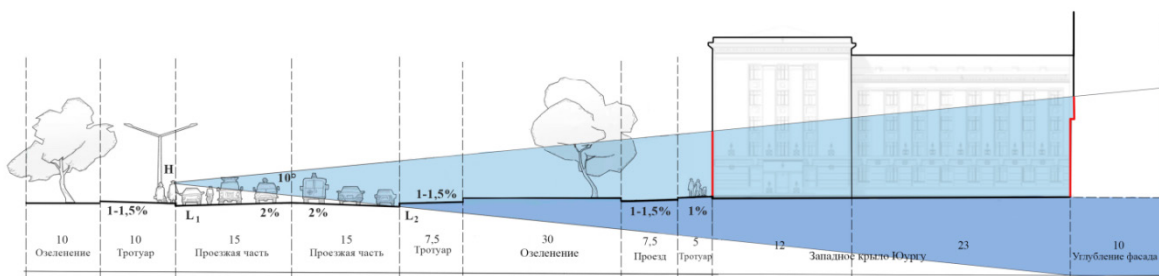
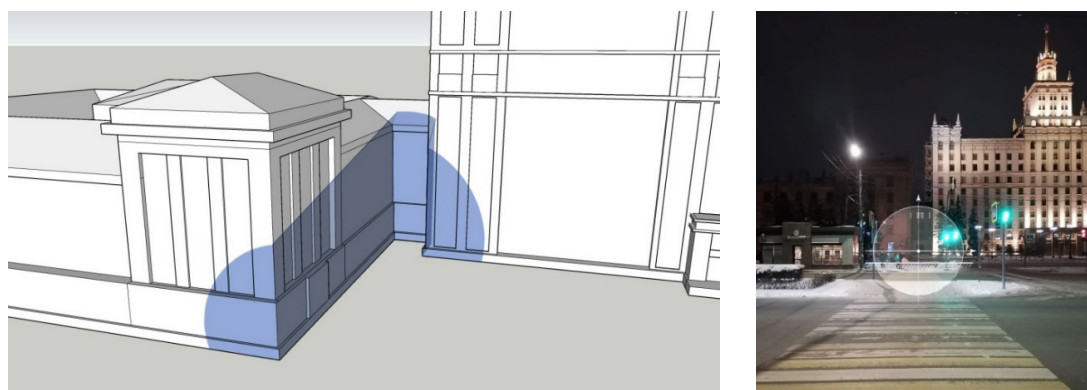


Рис 4. Расчёт зоны для выявления светокolorистической конкуренции:

а – проекция поля зрения человека на фасаде; б – проекция поля зрения человека на фасаде в существующем светопространстве; в – боковая проекция поля зрения

принимаемого большим количеством людей, движущихся к нему через переходы и проезды улично-дорожной сети. В частности, был использован приём выявления светокolorистической конкуренции [1], для чего был сделан расчёт поля восприятия пешеходов и водителей, находящихся на перекрёстке перед зданием главного корпуса (рис.4, а-в).

Данный расчёт позволяет уточнить безопасное с точки зрения визуального восприятия развитие светоцветового сценария привлекающего к главному корпусу пространства.

Световая архитектура здания главного

корпуса университета со шпилем осуществляется подсветкой каждого уровня башни по всему периметру с использованием приема «снизу-вверх», так как башня просматривается со всех сторон. Это решение является закономерным и логичным, поэтому в проекте использован именно такой прием световой архитектуры освещения башен. Более сложным оказалась разработка освещения основного фасада здания. При реконструкции для усиления пластики здания на фасаде, смонтированы пилястры, выступающие на 0,20 м. Пилястры создавались конструктив-

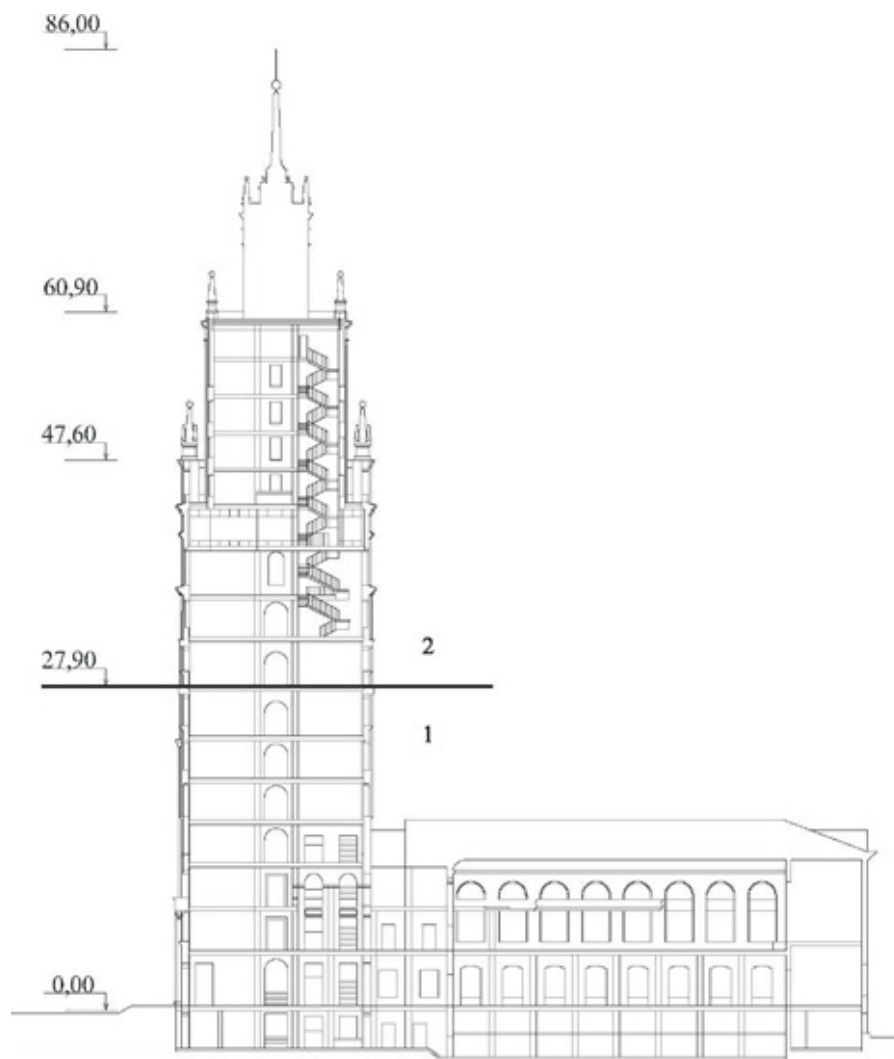


Рис. 5. Проект поперечного разреза центральной части главного корпуса ЮУрГУ: 1 – существующая часть; 2 – надстроенная часть с демонтируемым скатным покрытием

ной системой навесного фасада по аналогии с отделкой надстроенной части здания. Для составляющих металлических элементов пилластр использовано матовое порошковое напыление.

В процессе реконструкции необходимо было увеличить рабочие площади, что достигнуто надстройкой 8-10 этажей и технического – в уровне 11 этажа. Надстройка завершается двумя башнями и шпилем, достигающей общей высоты 86 м, ранее здание имело всего 7 этажей и скатное покрытие (рис.5). Монументальное здание решено с ярусным уменьшением объема по высоте, что обосновано градостроительным расположением университетского комплекса на завершении главной планировочной оси города Челябинска - проспекта Ленина. Замена скатной крыши главного корпуса на плоскую кровлю, с последующим устройством внутреннего водостока, обеспечил защиту от падения льда в осенне-зимний и весенний периоды.

В органической связи с существующими объемами здания главного корпуса запроектирована надстройка: центральной частью, западными и восточными крыльями – и основана на композиционных приемах, характерных для классической архитектуры с учетом использования идентичных по фактуре и цвету отделочных материалов.

Архитектурно-планировочная структура трех этажей, а также технического, повторяет конфигурацию нижних этажей. Существующие две парадные лестницы и лифты с холлами продолжены до 9 этажа. Согласно ступенчатому построению реконструируемой части формируются уменьшающиеся в плане размеры квадратной (нижней) и восьмигранной (верхней) башен. В уровне одиннадцатого этажа устроен рекреационный холл, расположенный по периметру квадратной в плане нижней башни (в уровне этой башни проектом предусмотрено кафе). Холл служит также обзорной площадкой, на кото-

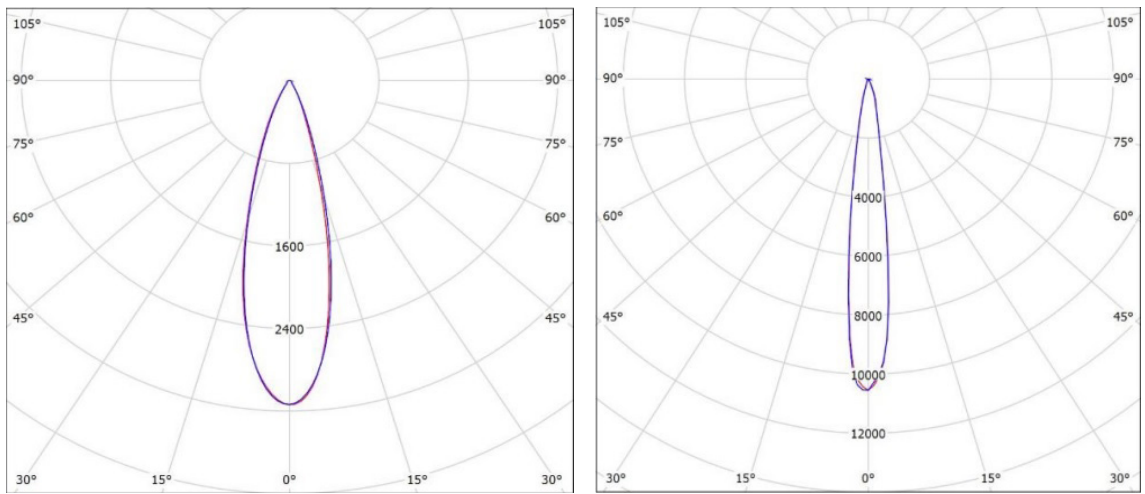


Рис. 6. Используемые лучи с углом половинной яркости 0-15 градусов (а) и 0-7 градусов соответственно (б)

рую предусмотрен выход из нижнего этажа башни и откуда открываются световая архитектура городской застройки. Зона холла акцентирована в объеме здания центральной части главного корпуса периметральной колоннадой с арочными элементами, декоративными архитектурными деталями и др.

При проектировании световой архитектуры использовался прием выделения пилястр за счет цвета и яркости осветительных приборов. Особая сложность устройства световой архитектуры в том, что система вентилируемого фасада не позволяет монтировать осветительную арматуру на её поверхность. Пилястры так же являются сложным объектом с точки зрения монтажа. Значительную часть фасадной фактуры в художественном облике здания занимают оконные проемы с различным очертанием и взаимным расположением [8], где монтаж осветительных элементов с технической и эксплуатационной точки зрения был бы возможен, но в этом случае создавалась недопустимая по нормативным показателям слепимость в интерьерном пространстве. Был предложен вариант приема с наземным размещением осветительных приборов, а также дополнительным расположением на крышах входной группы, крыльев главного корпуса и имеющих столбов освещения на площади перед зданием. Такое размещение позволило добиться минимальной видимости осветительных приборов для окружающих за счет их рассредоточенности в пространстве и максимального использования мест, не бросающихся в глаза. Там, где невозможна была скрытая установка без потерь в художественном замысле, приборы использовались минимального размера с максимально доступной мощностью и окрашивались в специально подобранный RAL.

С целью защиты глаз прохожих светильники были максимально развернуты на плоскость здания. В таких местах использовалась оптика с углом половинной яркости не более 0-15 градусов (рис. 6, а-б). В целях дополнительной защиты глаз в некоторых местах на приборы устанавливались дополнительные отражатели.

При выборе типов светильников приоритет был отдан новым видам, световой поток которых совпадает с доминирующим бежевым оттенком облицовки фасада. Таким требованиям отвечают современные светильники, различающиеся по конструкции, мощности и др.

За счет настроек яркости и направления светильников равномерно освещаются композиционно значимые плоскости фасада (проект утвержден главным архитектором города Челябинска и в данный момент реализуется).

В результате указанных выше мероприятий четко выявлена архитектура центральной части фасада главного корпуса [14], обращенного на проспект Ленина. Архитектурным освещением подчеркнут эффект устремленности вверх, который усилен вертикальной прожекторной подсветкой шпиля. Трехчастная вертикальная структура композиции фасада получила еще более ярко выраженный характер, чем при дневном освещении, способствуя созданию особого «мистического образа».

Следует отметить, что в настоящее время светопрозрачность сквера, откуда открываются одни из лучших точек восприятия главного фасада, имеет излишне яркую засветку визуальной картины в виде гирлянд с повышенным уровнем яркости (рис.7). Данный факт указывает на необходимость даль-

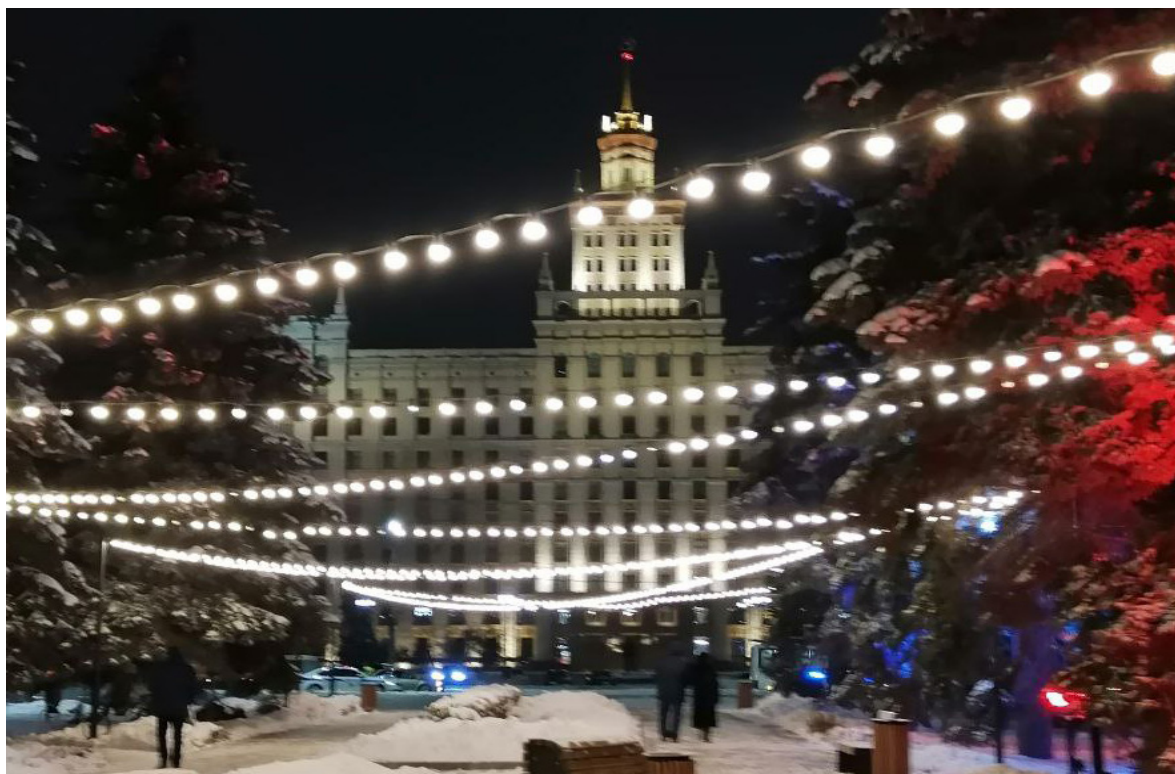


Рис. 7. Световая архитектура при визуальном восприятии с центральной аллеи сквера напротив главного корпуса ЮУрГУ

нейшего комплексного анализа территории, прилегающей к главному корпусу университета.

Таким образом, предложенная авторами методика научных основ проектирования световой архитектуры успешно внедряется

в процессе реконструкции одного из самых социально значимых объектов Челябинска. В дальнейшем планируется проводить более углублённое исследование городских светопространств, включающие другие элементы городской среды.

Литература

1. Бокова, О.Р. Расчёт площади зоны видимости в условиях светокolorистической конкуренции на перекрёстках / О.Р. Бокова // Вестник ВИЭСХ.–2018. –Том 4 (33). – С.120-125.
2. Бокова, О.Р. Особенности формирования архитектурно-световой среды Южного Урала / О.Р. Бокова, // НТЖ Вестник ТюмГАСУ. – Тюмень: РИО ТюмГАСУ, 2015. – №3. – С. 6-10.
3. Вяткин, Г.П. Реконструкция зданий и сооружений комплекса ЮУрГУ / Г.П.Вяткин, С.Г.Шабиев; под ред. Г.П.Вяткина. – 2 – е изд., доп. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. – 172 с.
4. Гибсон, Д. Д. Экологический подход к зрительному восприятию / Д. Д. Гибсон ; общ. ред. и вступ. ст. А. Д. Логвиненко. – Москва : Прогресс, 1988. – 464 с.
5. Гусев Н.М., Макаревич В.Г. Световая архитектура. М.: Стройиздат, 1973. – 248 с.
6. Келер, В. Свет в архитектуре [Текст] ; Свет и цвет, как средства архитектурной выразительности / В. Келер, В. Лукхардт ; Пер. с нем. архит. В. Г. Калиша. - Москва: Госстройиздат, 1961. – 182 с.
7. Колясников, В. А. Градостроительная экология Урала: [Монография] / В.А. Колясников. - Екатеринбург: Изд-во УралГАХА «Архитектон», 1999. – 531 с.
8. Коротич А.В. Фасадная фактура в художественном облике современной высотной архитектуры [Электронный ресурс] / А.В.Коротич // Архитектон: известия вузов. - 2018. - № 4(64). - URL: http://archvuz.ru/2018_4/2.
9. Линч, Кевин. Образ города / К. Линч. – М.: Стройиздат, 1982. – С.94 - 98.
10. Медико-биологические аспекты использования светодиодных источников ос-

вещения в архитектурно-световой среде / М.В. Осиков и др. – М.:ГЕОТАР-Медиа, 2016. – 112 с.

11. Огни большого города: инвестиционная привлекательность современного мегаполиса: сб. докладов международной научно-практической конференции \ под ред. Шабиева С.Г. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2012. – 146 с.
12. Червяков М. М. Тектонический образ архитектурного объекта в условиях искусственного освещения: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.20 / Червяков М. М. – Москва, 2012. – 180 с.
13. Шабиев С.Г., Дудышева С.О., Харитонов С.А. Проблемы архитектурного освещения высотных общественных зданий. Наука ЮУрГУ: материалы 66 научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Изд.центр ЮУрГУ, 2013. – С. 119-123.
14. Щепетков Н.И. Световой дизайн города. М.: Архитектура –С. 2006. – 320 с.
15. G.P. Vyatkin, S.G. Shabiev. Reconstruction of South Ural State University Buildings and Structures: monograph / G.P. Vyatkin, S.G. Shabiev, edited by G.P. Vyatkin, Corresponding Member of the Russia Academy of Sciences. – Shanghai, China. – 2016. – 99 p.
16. Major M., Speirs G., Tischhauser A. Made of Light. The Art of Light and Architecture. Basel. Boston. Berlin. Birkhauser. 2005. – 208 p.
17. Neumann D. Architecture of the Night. // Munich-Berlin-London. New York. Prestel, 2002. – 240 p.
18. Phillips D. Lighting Modern Buildings. London. Architectural Press, 2000. – 248 p.
19. Santen van C. Light Zone City. Light Planning in the Urban Context. Basel-Boston-Berlin. Birkhauser, 2006. – 127 p.
20. Yee R. Lighting Spaces. New York, Visual Reference Publications Inc. 2007. – 264 p.
21. Bright. Architectural Illuminations and Light Installations. Edited by Louther C., Schultz S. Amsterdam, Frame Publishers, 2008. – 352 p.
22. Ultimate Lighting Design. Projects by Herve Descottes / L'Observatoire International. teNeues, 2005. – 528 p.
23. Narboni R. La Lumiere et le paysage. Creer des paysages nocturnes. // Paris, Le Moniteur, 2003. – 232 p.

References

1. Bokova, O.R. Raschyot ploshchadi zony vidimosti v usloviyah svetokolori-sticheskoj konkurencii na perekryostkah / O.R. Bokova //Vestnik VI-ESKH, 2018.–Tom 4 (33). – С.120-125.
2. Bokova, O.R. Osobennosti formirovaniya arhitekturno-svetovoj sredy yuzhnogo Urala / O.R. Bokova, // NTZH Vestnik tyumgasu. – Tyumen': RIO tyumgasu, 2015. – №3. – S. 6-10.
3. Vyatkin, G.P. Rekonstrukciya zdaniy i sooruzhenij kompleksa YUURGU / G.P.Vyatkin, S.G.shabiev; pod red. G.P.Vyatkina. – 2 – e izd., dop. – Chelyabinsk: Izd. Centr YUURGU, 2013. – 172 s.
4. Gibson, D. D. Ekologicheskij podhod k zritel'nomu vospriyatiyu / D. D. Gibson ; obshch. Red. I vstup. St. A. D. Logvinenko. – Moskva : Progress, 1988. – 464 s.
5. Gusev N.M., Makarevich V.G. Svetovaya arhitektura. M.: Strojizdat, 1973. – 248 s.
6. Keler, V. Svet v arhitekture [Tekst] ; Svet i cvet, kak sredstva arhitekturnoj vyrazitel'nosti / V. Keler, V. Lukkhardt ; Per. S nem. Arhit. V. G. Kalisha. - Moskva: Gosstrojizdat, 1961. – 182 s.
7. Kolyasnikov, V. A. Gradostroitel'naya ekologiya Urala: [Monografiya] / V.A. Kolyasnikov. - Ekaterinburg: Izd-vo uralgaha "Arhitekton", 1999. – 531 s.
8. Korotich A.V. Fasadnaya faktura v hudozhestvennom oblike sovremennoj vysotnoj arhitektury [Elektronnyj resurs] / A.V.Korotich // Ar-hitekton: izvestiya vuzov, 2018. - № 4(64). - URL: http://archvuz.ru/2018_4/2.
9. Linch, Kevin. Obraz goroda / K. Linch. – М.: Strojizdat, 1982. – S.94–98.
10. Mediko-biologicheskie aspekty ispol'zovaniya svetodiodnyh istochnikov osveshcheniya v arhitekturno-svetovoj srede / M.V. Osikov i dr. – М.:ГЕОТАР-Медиа, 2016. – 112 с.
11. Ognj bol'shogo goroda: investicionnaya privlekatel'nost' sovremenogo megapolisa: sb. Dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii \ pod red. Shabieva S.G. – chelyabinsk: Izd. Centr YUURGU, 2012. – 146 s.

12. Chervyakov M. M. Tektonicheskij obraz arhitekturnogo ob'ekta v usloviyah iskusstvennogo osveshcheniya: dissertaciya ... Kandidata arhitektury: 05.23.20 / chervyakov Mihail Mihajlovich; [Mesto zashchity: Mosk. Arhitektur. In-t]. – Moskva, 2012. – 180 s.
13. Shabiev S.G., Dudysheva S.O., Haritonov S.A. Problemy arhitekturnogo osveshcheniya vysotnyh obshchestvennyh zdaniy. Nauka YUURGU: materialy 66 nauchnoj konferencii. Sekciya tekhnicheskikh nauk. – chelyabinsk: Izd.cent. YUURGU, 2013. – S. 119-123.
14. Shchepetkov N.I. Svetovoj dizajn goroda. M.: Arhitektura –S, 2006. – 320 s.
15. G.P. Vyatkin, S.G. Shabiev. Reconstruction of South Ural State University Buildings and Structures: monograph / G.P. Vyatkin, S.G. Shabiev, edited by G.P. Vyatkin, Corresponding Member of the Russia Academy of Sciences. – Shanghai, China, 2016. – 99 r.
16. Major M., Speirs G., Tischhauser A. Made of Light. The Art of Light and Architecture. Basel. Boston. Berlin. Birkhauser, 2005. – 208 p.
17. Neumann D. Architecture of the Night. // Munich-Berlin-London. New York. Prestel, 2002. – 240 p.
18. Phillips D. Lighting Modern Buildings. London. Architectural Press, 2000. – 248 p.
19. Santen van C. Light Zone City. Light Planning in the Urban Context. Basel-Boston-Berlin. Birkhauser, 2006. – 127 p.
20. Yee R. Lighting Spaces. New York, Visual Reference Publications Inc, 2007. – 264 p.
21. Bright. Architectural Illuminations and Light Installations. Edited by Louther C., Schultz S. Amsterdam, Frame Publishers, 2008. – 352 p.
22. Ultimate Lighting Design. Projects by Herve Descottes / L'Observatoire International. teNeues, 2005. – 528 p.
23. Narboni R. La Lumiere et le paysage. Creer des paysages nocturnes. // Paris, Le Moniteur, 2003. – 232 p.

Бокова О.Р.,

доцент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: bokovaor@susu.ru

Bokova O.R.,

professor of the Department «Architecture», associate Professor, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: bokovaor@susu.ru

Шабиев С. Г.,

доктор архитектуры, профессор, зав. кафедрой «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: shabievsg@susu.ru

Shabiev, S. G.

Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architecture, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: shabievsg@susu.ru

Сорокина АВ.,

технический консультант, г. Челябинск, Россия. E-mail: 7906862672@yandex.ru

Sorokina AV.,

technical adviser, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: 7906862672@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.11.2022

Девесилова Е.А., Буров А.Г.

АДАПТАЦИЯ ЗЕЛЕННЫХ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ К ТРЕБОВАНИЯМ СОВРЕМЕННОЙ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В данной статье рассматривается анализ городских зеленых пространств на историческом примере создания концепции города-сада от идеи Эбенезера Говарда до ее различных проявлений и применений во всем мире. Также рассмотрено применение данной модели проектирования в советские времена. Как развивалась аналогичная идея поселка-сада с обязательной оговоркой на какое-либо инфраструктурное ядро, обеспечивающее людей условиями труда и самим трудом. В заключении рассматривается идея города-сада и ее значение для современной России, с чего возможно начало проектирования и какие тенденции могут быть созданы для продвижения.

В начале научной статьи рассматривается актуальность проблемы исследования относительно современности, приведены примеры основной из ряда архитектурных идей городского озеленения пространств – идеи города-сада. Историческая справка помогает глубже и детальнее рассмотреть почему именно эта идея получила такое широкое распространение во всем мире и не утратила своей актуальности. Именно поэтому начинается исследование с данного аспекта.

Далее рассматривается альтернатива идеи города-сада в Советском Союзе, были ли принципы проектирования сравнимы с идеей Эбенезера Говарда, или имели собственное уникальное начало.

В частности, в документе рассматривается проблематика организации общественных пространств в сравнении с принципами проектирования таких пространств в советский период. Советское градостроительство отказалось от идеи города-сада и исключило ее, поскольку идея была несовместима с управленческими идеями советских социальных доктрин. Именно социально-организационное содержание идеи города-сада не подходило под доктрины, и она была забыта на многие годы. Под долгими годами следует понимать период 1930-1970 годов, поскольку идея сада-города применялась в критических статьях как отрицательный и вовсе нетрудоспособный пример планировочного городского развития. Хотя нужно отметить, что в практике строительства социальных городов и социальных поселков были использованы планировочные и художественно-образные приемы города-сада.

Ключевые слова: город-сад, городские пространства, ландшафт, архитектура.

Devesilova E.A., Burov A.G.

ADAPTATION OF GREEN CITY SPACES TO THE REQUIREMENTS OF MODERN LANDSCAPE ARCHITECTURE

This article discusses the analysis of green spaces on the surface of visibility of the garden city from the ideas of Ebenezer Howard to its various manifestations and applications around the world. This design model in Soviet times is also considered. How did the comparative idea of the village-garden develop, with a mandatory reservation to

some kind of infrastructural basis that provides people with working conditions and labor itself. The idea of switching the garden city and its significance for modern Russia, where it is possible to start designing and what opportunities can be created for expansion.

At the beginning of the scientific article, the problem of research on modernity is relevant, examples of the main of a number of architectural ideas of urban landscaping of space - the idea of a garden city - are found. Historical reference helps to consider in more depth and detail why this particular idea has become so widespread throughout the world and has not lost its relevance. That is why the study begins with this aspect.

Next, an alternative to the idea of a garden city in the Soviet Union was replaced, whether the justifications for the concept were comparable to the ideas of Ebenezer Howard, or whether it was assigned to receive an exceptional start.

In particular, as a result of the study, the problem associated with research into the study of such spaces in the Soviet period disappeared. Soviet urban planning abandoned the idea of a garden city and excluded it because the idea was incompatible with the managerial ideas of Soviet social principles. It was the socio-organizational content of the garden city idea that did not fit the recommendations, and it was forgotten for many years. The long years should be understood as the period 1930-1970, since the idea of a garden-city was involved in appeals as a negative and even incapacitated example of planned urban development. Although it should be noted that in the practice of building social cities and social settlements, planning and artistic-figurative techniques of the city-garden were used.

Keywords: *garden city, urban spaces, landscape, architecture.*

Актуальность работы обусловлена как научно-теоретическими, так и практическими факторами.

Практический аспект связан с появлением тенденции в России развития ландшафтно-архитектурного проектирования, поскольку экологичное устойчивое развитие применяется повсеместно как в строительстве, так и при организации парковых пространств. Также практическая значимость обуславливается тем, что некоторая часть советских парков остается разрушенной, забытой и не является точками притяжения горожан. Однако, интерес составляет возможное наличие единых черт парковых постсоветских пространств, поскольку они были созданы в один временной промежуток, в Советском Союзе, и, соответственно, обладают некоторыми схожими стилистическими свойствами. И, в свою очередь, имеют огромный потенциал развития.

Научно-теоретическая актуальность обусловлена социальной значимостью объектов. Единый временной промежуток создания ландшафтных пространств говорит об исторической и культурной значимости, однако это и является одной из проблем преобразования в современное пространство. Достаточно разработанной единой концепции развития, позволяющей сохранить такое наследие не существует, однако, существует достаточная база для анализа как уже преобразованных в современные ландшафтные

объекты, так и забытых, оставшихся в первоначальном виде советских парков.

Объектом исследования является анализ советских парковых пространств и выявление, на основе полученных данных, общих черт для создания модели развития.

Начинать рассматривать данную тему стоит с конкретного примера, в данном случае примером выбрана идея города-сада. раскрывается сущность противоречия между общественными формами самоуправления говардовскими городами-садами и организационно-управленческим содержанием советских рабочих поселков-садов. Раскрыта причина исключения идеи города-сада Э. Говарда из официальной советской градостроительной доктрины, сформированной к началу первой пятилетки. Она заключалась в конфликте, с одной стороны, идеи города-сада (как самодостаточного, планировочно- и инфраструктурно-обособленного поселения с индивидуальным жилищем коттеджного типа) и, с другой – стремлением правящих органов советского государства сформировать целостную социально-политическую и территориально-управленческую организацию советского общества [5].

В 1920-х гг. советское градостроительство отказалось от идеи города-сада и исключило ее, поскольку идея была несовместима с управленческими идеями советских доктрин. Именно социально-организационное содержание идеи города-сада не подходило

под доктрины, и она была забыта на многие годы. Под долгими годами следует понимать период 1930-1970 годов, поскольку идея сада-города применялась в критических статьях как отрицательный и вовсе нетрудоспособный пример планировочного городского развития. Хотя нужно отметить, что в практике строительства социальных городов и социальных поселков были использованы планировочные и художественно-образные приемы города-сада.

На сегодняшний день эта идея вновь популяризовалась, поскольку при анализе существующих городских планировок в сочетании с городским зеленым каркасом на территории России можно отметить нерегулярность, отсутствие структуры или единой схемы взаимосвязи между этими двумя структурами организации пространств. Нынешняя застройка лишает постепенно жителей их наследия: парков, скверов и других объектов ландшафтной архитектуры. Однако эта модель организации сада в городе или города в саду притягательна для проектирования загородных поселков, современный менталитет человечества стал четко осознавать потребность в ощущении природы близ дома, в том числе из-за психологических факторов и вредных городских факторов, плохо влияющих на организм. При этом внимание сосредотачивается лишь на внешних характеристиках среды, но совершенно не учитывает социально-организационного содержания, на котором была основана идея города-сада. Предложения Э. Говарда и политика советского государства являют диаметрально разные подходы к смыслу возникновения и существования поселений [1].

В советских условиях в социалистических поселках-садах, которые были запроектированы вначале появления советской власти, все с самого начала обстоит прямо противоположным образом. Социальные поселки возводились обеспечения производства всеми необходимыми условиями, что формировало определенный образ жизни и, соответственно, условия проживания. Все это создавалось под девизом создания восстановления и развития производственных сил. Поэтому актуальным становилось лишь то, что позволяло обеспечить нормальное функционирование нового трудового дня. Все остальное считалось ненужным излишеством [2].

Предназначение социальных поселков и их характер эксплуатации четко определялись тем, как функционирует производственное или промышленное предприятие. Предприятие играло огромную роль в жиз-

ни советского человека: собственность на землю, источник дохода, источник развития карьерной лестницы и др. А все механизмы управления были государственными [6]. Только власть определяла каких мощностей должно достигнуть предприятие, какое количество рабочих мест требуется, и какая квалификация должна быть у сотрудников, что в дальнейшем определяло градостроительную концепцию развития города. Это означало, что в проекте сразу рассчитывалось определенное количество посадочных мест в кафе, столовых на предприятии, количество жилой площади в городе, инфраструктурная сеть с определенным количеством транспорта. И это не могло не влиять на организацию ландшафтных пространств. [3].

Говардовский город-сад в свою очередь, не имел такого определенного ядра, на котором держалась бы вся идея. Не было никакого расчета населения и рабочих мест, никакой четкой планировочной структуры. Предполагалось, что единого ядра между городом и садом нет, что жители города-сада обитают в «саду», а вся профессиональная деятельность происходит в центре «города». То есть они были разделены, а связывала их транспортная сеть. Обеспечение города-сада продовольственными продуктами обеспечивалась за счет расположения ферм и производств недалеко от города-сада.

Таким образом, города-сады являлись самодостаточными, обособленными «городами без производства» – «городами-спальнями», «пригородами-садами», что в рамках советской идеологии индустриального развития трактовалось как главный недостаток данной концепции [4].

В отличие от говардовского города-сада социально-управленческая парадигма социалистического рабочего поселка-сада несет условие обязательного наличия промышленного ядра – проектирование рабочих поселков, осуществляемое государственными структурами в начале и середине 1920-х гг. при мануфактурах, паровозоремонтных заводах, электростанциях, возводившихся по плану ГОЭЛРО, неразрывно связано с возведением, расширением или реконструкцией градообразующего промышленного объекта. Здесь, в отличие от говардовского города-сада, градообразующее промышленное предприятие (как правило, отдельно стоящий промышленный объект):

- а) обеспечивает работой население;
- б) определяет «потребное» количество рабочей силы и ее квалификационный состав;
- в) выступает в роли источника развития

всей общественно-культурной жизни поселения [4].

Связь между городом-садом и моделью рабочего поселка-сада определённо имеется, однако она не столько четко выражена. Но стоит акцентировать внимание на том, что архитекторы советского времени не пренебрегали ландшафтными условиями, не оставляли в стороне также организацию крупных парковых пространств и вписывали в планировочные и градостроительные планы по развитию существующие зеленые каркасы. Об этом свидетельствует, например, большое количество дендрариев и парков культуры на юге Российской Федерации. Также стоит отметить, что самое большое количество данного наследия – это открытые публичные пространства, а именно парки-культуры различного назначения.

Также хочется заметить, что при застройке городов в советское время, архитекторы и градостроители уделяли большое внимание перспективе пространств. Имеется ввиду организация застройки территорий относительно улиц, других районов, а также построение этой перспективы с учетом существующих и будущих посадок. Как это ни странно, уровень ответственности при выполнении жилой застройки с озеленением был намного выше, чем в нынешние дни. Современная быстровозводимая застройка происходит не по общему единому градостроительному проекту, юридическая принадлежность земли разным лицам и субъективная финансовая вовлеченность – причины, по которым качество современного проектирования страдает, а современные нормы озеленения при жилой застройке позволяют соблюдать закон косвенно, высаживая определенное количество растений лишь для отчетности. После сдачи объекта застройщики обычно забывают о существовании этих растений. В итоге получается, что современные территории, которые могли бы быть отданы под озеленение или бывшие скверы и парки застраиваются частными лицами, уничтожая возможность проектирования современных городских пространств, не говоря уже о соблюдении красоты перспективных видов.

Открытые публичные пространства занимают существенное место в структуре города: бульвары, парки, скверы, набережные, пешеходные улицы составляют сотни километров и квадратных метров пространства [8].

Ключевым словом является слово «общественные», поскольку это продолжение городского образа жизни, коммуникация и связь между архитектурой, различными го-

родскими покрытиями в различных вариантах представлена в настоящее время. Некоторые зеленые пространства претерпели деформацию и изменение функционала. Некоторые сохранили свою историческую значимость и функции, обладая не менее большим потенциалом, но в историческом смысле.

Публичные пространства являются не столько объектами, призванными решать задачи эстетического характера, но и местами отдыха, спонтанных встреч, прогулок с детьми, занятий спортом, а также культурного производства — в общем, всего многообразия социального взаимодействия горожан [9].

Для того чтобы подобные места были насыщенными и жизнеспособными (Рис. 1). Они должны сопровождаться совокупностью значительного количества факторов, таких как:

- Многофункциональное наполнение, а именно развитость культурных и коммерческих функций в уровне первых этажей зданий (активный уличный фронт).
- Поддержка проведения локальных культурных мероприятий силами самих жителей.
- Пешеходная доступность и дизайн, позволяющий сделать его удобным для всех членов городского сообщества, в том числе детей, инвалидов и пожилых людей.
- Комфорт и безопасность, в том числе в отношении автотранспортной инфраструктуры [10].

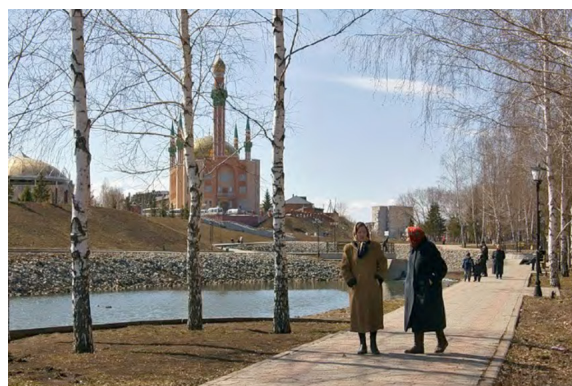


Рис. 1. Открытое функциональное пространство

Особенно актуален вопрос безбарьерной среды, приспособленной под маломобильное население. А такие социальные группы включают в себя: люди пожилого возраста и люди с ограниченными возможностями (в том числе дети, подростки и взрослые). На данный момент большинство общественных пространств на территории Российской Федерации не приспособлено для этих групп и

данному вопросу при проектировании должно быть уделено особое внимание. Безбарьерная среда и доступность перемещения также приоритетны в общественном пространстве, как и любой другой тип благоустройства территории.

И еще раз вернемся к вопросу о том, почему актуальность общественных территорий важна в последние годы в особенности. Локдаун и ограничительные меры перемещения из-за пандемии 2020 года показали, что непредвиденные ситуации имеют место быть, а вариантов посещения различных мест из-за ограничений больше не стало, хотя так остро была необходима обществу.

Но, все-таки, определяющим условием для того, чтобы открытое публичное пространство стало инструментом экономического, социального и культурного развития, а город был не столько совокупностью стро-

ений, сколько людской общностью, является отношение к нему, как месту, призванному проявлять весь многослойный уклад городской жизни, с сопутствующими этому формами проявления культурного, этнического, социального, экономического и политического разнообразия [11-12].

Заключение

В заключении следует сказать, что, несмотря на большое количество проблем в проектировании общественных пространств в России в наше время, их актуальность не снижается, даже наоборот – такие пространства становятся все более необходимыми. И проектирование таких пространств должно включать в себя ландшафтное проектирование, и желательно – следовать одному общему градостроительному проекту, хотя бы стилистически, чтобы у городов была возможность появления «собственного лица».

Литература

1. Боровой, А.А. Планировка городов Московской области / А.А. Боровой // Работы сектора планировки Московского областного проектного треста за 1925–1933 гг. – М. : Госстройиздат, 1933. – 224 с.
2. Итоги развития промышленности за 1931 г. и задачи 1932 г. : резолюция XVII конференции ВКП (б) // КПСС в резолюциях и решениях съездов, конференций и пленумов ЦК (1898–1986). Т. 5. 1929–1932. – М. : Политиздат. 1984. – С. 397.
3. Малоземов, И. Большое Запорожье / И. Малоземов // Советская архитектура. – 1932. – № 5–6. – С. 72–80.
4. Меерович, М.Г. СССР как мегапроект. Числовые регулятивы искусственного формирования населения городов [Электронный ресурс] / М.Г. Меерович. – Условия доступа : http://archi.ru/lib/publications_virtual.html?fl=5&sl=3
5. Меерович М. Г. Идея города-сада Э. Говарда и советские рабочие поселки-сады // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – №. 4.
6. Aalen, F. H. A. (1992) English origins, in: Ward, S. V. (Ed.) The Garden City: Past, Present and Future, pp. 28–51. London: Chapman & Hall.
7. Askegaard, S. (2006) Brands as a global ideoscape, in: Schroeder, J. E., Salzer-Mörling, M. (Eds) Brand Culture, pp. 91–102. London: Routledge.
8. Bickford-Smith, V. (2009) Creating a city of the tourist imagination: the case of Cape Town, 'the fairest cape of them all', Urban Studies, 46, pp. 1763–1785.
9. Johansson M. Place branding and the imaginary: The politics of re-imagining a garden city // Urban studies. – 2012. – Т. 49. – №. 16. – С. 3611–3626.
10. Wakimoto R. M., Liu C., Cai H. The Garden City, Kansas, storm during VORTEX 95. Part I: Overview of the storm's life cycle and mesocyclogenesis // Monthly weather review. – 1998. – Т. 126. – №. 2. – С. 372–392.
11. Culpin E. G. The Garden city movement up-to-date. – Routledge, 2015.
12. Howard E. Garden city of tomorrow // London. Passim <http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9>. – 1902. – Т. 84. – С. D9.

References

1. Borovoy, A.A. Planirovka gorodov Moskovskoy oblasti / A.A. Borovoy // Raboty sektora planirovki Moskovskogo oblastnogo proyektного tresta za 1925–1933 gg. – M. : Gosstroyizdat, 1933. – 224 s.
2. Itogi razvitiya promyshlennosti za 1931 g. i zadachi 1932 g. : rezolyutsiya XVII

- konferentsii VKP(b) // KPSS v rezolyutsiyakh i resheniyakh s"yezдов, konferentsiy i plenumov TSK (1898–1986). T. 5. 1929–1932 gg. – M. : Politizdat. 1984. – S. 397.
3. Malozemov I.V. Bol'shoye Zaporozh'ye / I. Malozemov // Sovetskaya arkhitektura. – 1932. – № 5–6. – S. 72–80.
4. Meyerovich, M.G. SSSR kak megaproyekt. Chislivyye regulyativy iskusstvennogo formirovaniya naseleniya gorodov [Elektronnyy resurs] / M.G. Meyerovich. – Usloviya dostupa: http://archi.ru/lib/publications_virtual.html?fl=5&sl=3
5. Meyerovich M. G. Ideya goroda-sada E. Govarda i sovetskiye poselki rabochiye-sady // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2009. – №. 4.
6. Aalen, FHA (1992) Angliyskoye proiskhozhdeniye, v: Ward, SV (Ed.) The Garden City: Past, Present and Future, str. 28–51. London: Chapman i Kroll.
7. Askegor, S. (2006) Brendy kak global'nyy ideologicheskiy landschaft, v: Shreder, Dzh. E., Zal'tser-Morling, M. (red.) Kul'tura brenda, str. 91–102. London: Rutledzh.
8. Bikford-Smit, V. (2009) Sozdaniye goroda turisticheskogo voobrazheniya: primer Keyptauna, «prekrasneyshego mysa iz vsekh», Gorodskiyе issledovaniya, 46, str. 1763 – 1785.
9. Yokhansson M. Brending mesta i voobrazhayemoye: politika pereosmysleniya goroda-sada // Urbanistika. – 2012. – T. 49. – №. 16. – S. 3611–3626.
10. Vakimoto R. M., Lyu K., Kay KH. Garden-Siti, Kansas, shtorm vo vremya VORTEX 95. Chast' I: Obzor zhiznennogo tsikla shtorma i mezotsiklogeneza // Yezhemesyachnyy obzor pogody. – 1998. – T. 126. – №. 2. – S. 372–392.
11. Kul'pin E. G. Dvizheniye goroda-sada v sovremennosti. – Rutledzh, 2015.
12. Govard E. Gorod-sad zavtrashnego dnya // London. Passim <http://ar.vikipediya.org/wiki/%D8%A7%D9>. – 1902. – T. 84. – S. D9.

Девесилова Е.А.,

Бакалавр по специальности «Дизайн архитектурной среды», студент магистратуры по специальности «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: katya_devesilova@mail.ru

Devesilova E.A.,

Bachelor in Architectural Environment Design, Master's student in Architecture, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: katya_devesilova@mail.ru

Буров А.Г.,

Доцент кафедры «Дизайна и изобразительных искусств», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: burovag@susu.ru

Burov A.G.,

Associate Professor of the Department of Design and Fine Arts, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: burovag@susu.ru

Поступила в редакцию 19.07.2022

Меркушев К.А.

ИННОВАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИМИТАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Современные инновационные исследования в области машинного моделирования промышленной архитектуры решают множество вопросов создания и позволяют решить задачи, связанные с начальными этапами проектирования.

В связи с этим возникает необходимость в использовании инструментальной базы, позволяющей автоматизировать процесс разработки, а именно в создании и использовании средств моделирования промышленной архитектуры.

В исследовании задействовано несколько методов решения данной проблемы, таких как использование программных средств, реализующих только один из методов моделирования и создание инструментальных средств, позволяющих реализовать все методы моделирования, как для решения специфических задач, так и для общих проблем, возникающих при разработке промышленной архитектуры.

Методы моделирования, используемые в данном исследовании, позволяют получить решение задачи, которое можно использовать как при создании модели, так и при проектировании архитектуры системы на основе модели. Это позволяет обеспечить единство процесса моделирования и проектирования.

Подход, разработанный в этой статье, является достаточно универсальным, позволяющим использовать его при решении широкого круга задач. Проведённое исследование показало, что метод моделирования на основе использования системно-функциональной методологии, позволяет решать задачи, связанные с выбором архитектуры и структуры системы, а также с построением моделей и разработкой программного обеспечения для реализации архитектуры. В статье приведены примеры применения данного метода к решению конкретных задач.

При этом результаты моделирования, полученные с использованием данного подхода, могут быть использованы для принятия решений в области проектирования автоматизированных систем.

Ключевые слова: Промышленная архитектура, BIM моделирование, rhinoceros, grasshopper имитационный алгоритм.

Merkushev K.A.

INNOVATIVE POSSIBILITIES OF SIMULATION ALGORITHMS FOR MODELING THE ARCHITECTURE OF INDUSTRIAL OBJECTS

Modern innovative research in the field of machine modeling of industrial architecture solves many issues of construction and allows solving problems related to the initial stages of design.

In this regard, there is a need to use a tool base that allows you to automate the development process, namely, in the creation and use of industrial architecture modeling tools.

The study involves several methods of solving this problem, such as the use of software tools that implement only one of the modeling methods and the creation of tools that allow you to implement all modeling methods, both for solving specific tasks and for general problems that arise during the development of industrial architecture.

The modeling methods used in this study allow us to obtain a solution to the problem, which can be used both when creating a model and when designing the architecture of the system based on the model. This allows you to ensure the unity of the modeling and design process.

The approach developed in this article is quite universal, allowing it to be used in solving a wide range of tasks. The conducted research has shown that the modeling method based on the use of system-functional methodology allows solving problems related to the choice of architecture and structure of the system, as well as with the construction of models and software development for the implementation of architecture. The article provides examples of the application of this method to solving specific problems.

At the same time, the simulation results obtained using this approach can be used to make decisions in the field of designing automated systems.

Keywords: *Industrial architecture, BIM modeling, rhinoceros, grasshopper simulation algorithm.*

В исследовании предложен подход к решению задач проектирования промышленной архитектуры с использованием современных программных средств, а именно – среды машинного моделирования Rhinoceros + Grasshopper [1-4], обеспечивающей возможность управления моделью, формирования и анализа данных, визуализации и представления результатов. При этом, в отличие от существующих подходов, среда моделирования позволяет одновременно и во взаимосвязи решать задачи проектирования всех стадий жизненного цикла промышленного объекта.

Среда Grasshopper, построенная на основе языка программирования, который позволяет моделировать и реализовывать проекты любой сложности, от простых до очень

сложных. Представлены результаты разработки и тестирования среды моделирования Grasshopper (рис. 1), включающие в себя создание модели, представление модели в виде набора 3D-объектов, работу с моделями, создание и работу с данными.

За основу алгоритма были взяты заранее собранные данные промышленных объектов и инфраструктуры [4-6]. После анализа была подготовлена среда архитектурного моделирования на базе Rhinoceros 3D. Затем был выполнен этап разработки, для которого использовались готовые компоненты. Он позволил выполнить все необходимые расчеты и создать примитивную архитектурную модель, которая могла бы быть использована для дальнейшего проектирования [7].

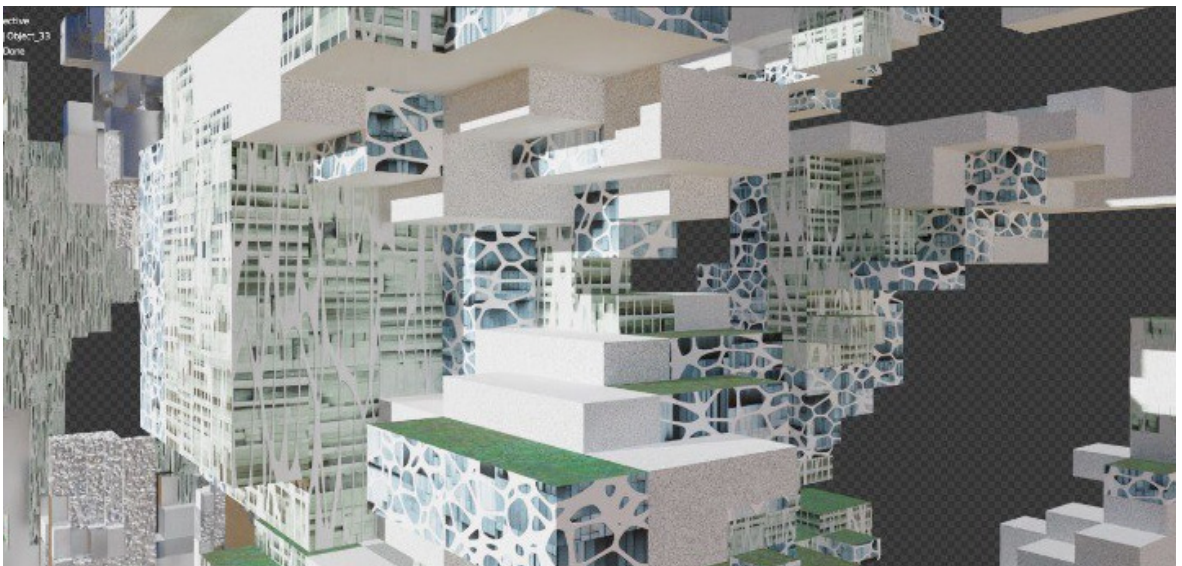


Рис. 1. Представление координации программного обеспечения по средствам Grasshopper

На (рис. 2) можно наблюдать возможность построения зеркальной архаичной 3D модели путем имитационных алгоритмов 3D среды на базе Rhino. Данная модель была по-

лучена путем экструзии двухмерных аналитических графов BigData в воксельное пространство [8-12].

В дальнейшем, с помощью метода 3D-па-

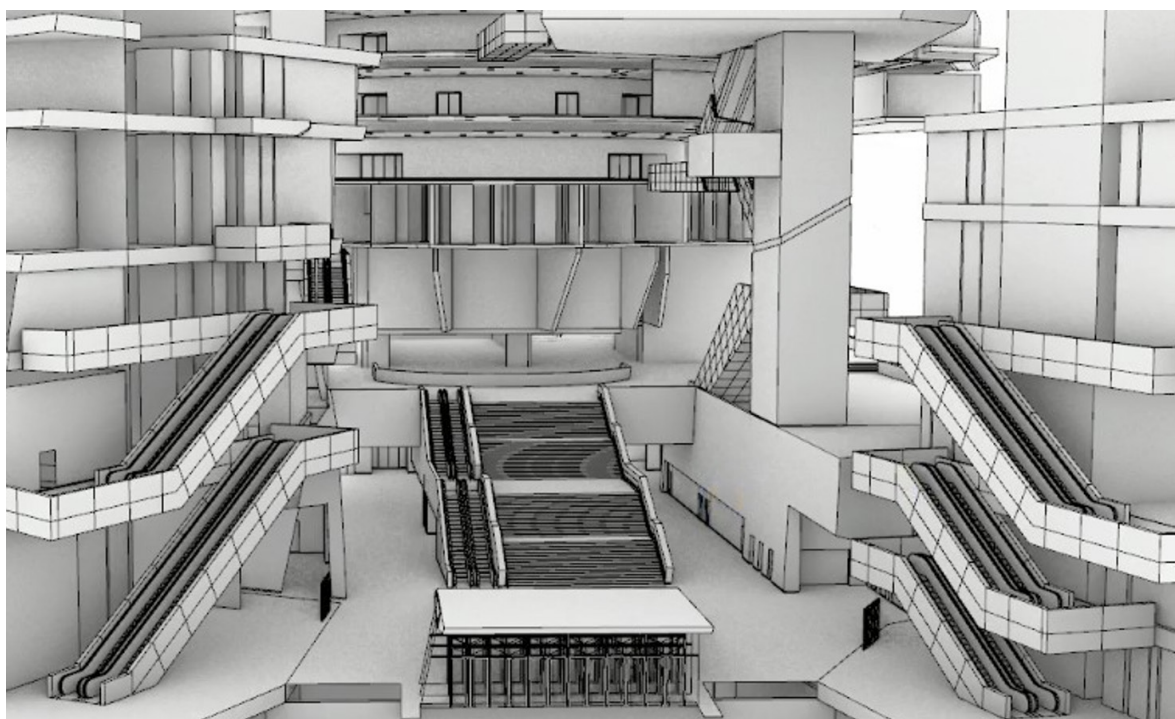


Рис. 2. Возможность перевода пиксельного изображения в воксельную 3D модель

норамирования, данная модель может быть разложена на отдельные воксели, что позволит моделировать и тестировать различные 3D сценарии, которые можно использовать для изучения поведения человеческого организма.

Статья направлена на выявление возможностей преобразование практического и интуитивно понятного процесса создания в вычислимый и явно определенный процесс путем его параметризации и оцифровки.

Для определения методологии данной работы рассматриваются и анализируются литературные исследования с учетом методов формализации в дизайне на основе правил как формы и составления грамматики, а также методов сравнения цифровых и физических сред [13]. Для процесса параметризации проводятся практические эксперименты по выявлению и расширению возможностей инструмента с использованием подхода к составлению грамматики, а для оцифровки процесса создания используется фотограмметрический подход и визуальные скрипты генерируются в среде Rhinoceros Grasshopper (рис. 3). Затем разрабатывается параметрическая модель, основанная на физическом процессе изготовления [14].

Смешанный метод, объединяющий качественные и количественные данные, исполь-

зуется для оценки параметрической модели для сравнения физически результатов.

После создания форм в виртуальной среде используется метод фотограмметрии, который часто используется при оцифровке и анализе выходов, полученных экспериментальным методом для их оцифровки [15-18]. Этот метод основан на съемке перекрывающихся фотографий под определенными углами путем вращения около 360° выходного сигнала и создания 3D-модели с помощью программного обеспечения для обработки изображений.

Поскольку прикладные методы фотограмметрии были разработаны для более крупных и неопределенных форм, рабочий процесс фотограмметрии, называемый методом реляционного позиционирования (RPM), разработан на основе техники аэрофотосъемки и адаптирован для обработки мелкомасштабных, подробных, белых и симметричных форм. В RPM [19-20] острые края выходов окрашиваются карандашами перманентного цвета, а найденные объекты размещаются в качестве контрольных точек вокруг выходов, чтобы помочь программному обеспечению успешно калибровать фотографии программным обеспечением 3DF Zephyr Aerial. Затем 360 фотографий, сделанных под углом 1°, которые показывают все детали, об-



Рис. 3. Связь программного обеспечения для обеспечения смешанного метода генерации в среде Rhinoceros Grasshopper

рабатываются в 5 этапов в 3DF Zephyr Aerial для получения как 3D-модели на основе сетки, так и визуализированного изображения, содержащего текстуру поверхности физического объекта [21].

Калибровка захваченных фотографий выполняется путем обнаружения свойств камеры, и фотографии обрабатываются с относительно расположенными окружающими объектами, определенными как контрольные точки [22].

Если процесс диагностики изображения

проходит успешно, разреженное и плотное облако точек создается соответственно в виде высокодетализированной сетчатой модели. Модель искусственно очищается с помощью инструментов редактирования от окружающих объектов. Полученные формы сравниваются по визуальному коду, написанному на Rhinoceros Grasshopper (рис.4). Среднее значение отклонения поверхности получено в результате расчета расстояний между точками на поверхностях сетчатых моделей [23-24].

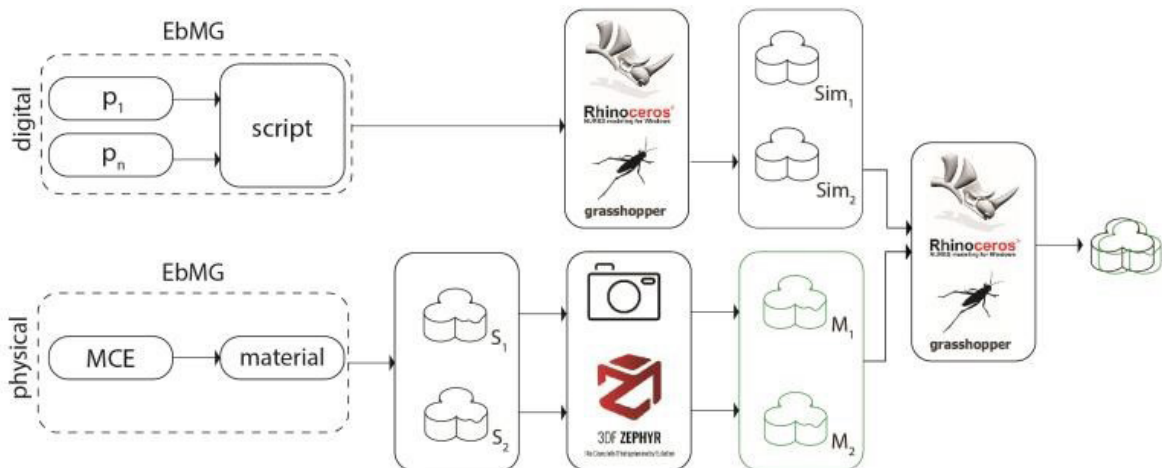


Рис. 4. Визуальный образ сетки кода в среде Rhinoceros Grasshopper

В рамках общего исследования была проведена оценка эффективности работы среды моделирования с точки зрения соответствия задачам проектирования, которые могут быть поставлены перед разработчиком сре-

ды. Так, были выявлены основные виды задач, решаемых в среде моделирования, а также приведены примеры их решения с помощью данной среды.

Литература

1. De Naan Н. Архитекторы в конкурсе: международные архитектур-ные конкурсы последних 200 лет. Лондон: Темза и Гудзон, 1988 г. — 9 с.
2. К. Стейнфельд Мечты могут прийти. В: Nagakura Т (ed.) Acadia 2017. дисциплины и разрушения. Материалы 37-й ежегодной конферен-ции Ассоциации автоматизи-рованного проектирования в архитектуре. Кембридж: MIT, 2017 г. – С. 590-599.
3. В. Гропиус Область общей архитектуры. К. Букс, 1970 г. – 13 с.
4. М. Кросби Доши священен в светском. Форум Веры 2018 г; <https://faithandform.com/editorial/doshis-священный-в-светском/>. – 51 с.
5. М. Руис-Монтель, Ж. Бонед, Ж. Вивланеш и др. Проектирование с грамматикой форм и обучением с подкреплением. 2012 г. – С. 23-245.
6. Джи. Стини и Дж. Джипс Грамматика форм и генеративная специфи-кация жи-вописи и скульптуры. В: Freiman CV (ed.) Обработка информа-ции 71. Амстердам: Северная Голландия, 1972 г, 1460-1465 гг. – 52 с.
7. Дж. Дуарте К массовой кастомизации жилья: грамматика домов Си-зы в Мала-гейре. Окружающая среда План Б 2005 г. – С. 348-380.
8. К. Хэ, Х. Чжан, С. Жэнь и др. Глубокое остаточное обучение для распознавания изображений. В: Конференция IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов (CVPR), 2016 г. Нью-Йорк: IEEE. – С. 770-778.
9. А. Грувер и Дж. Лейковец Масштабируемое обучение функциям для сетей. В: Труды 22-й международной конференции ACM SIGKDD по об-наружению знаний и интеллектуальному анализу данных (KDD '16), Сан-Франциско, Калифорния, 13-17августа 2016г., Нью-Йорк: ACM. DOI: 10.1145/2939672.2939754. – С. 855-864
10. Л. Ляо, Х. Хэ, Н. Чжан и др. Приписывается встраивание в социаль-ную сеть. IEEE T Knowl Data En. Epub перед печатью 27 марта 2018 года. DOI: 10.1109/TKDE.2018.2819980. – 18 с.
11. Н. Кросс Дизайн-мышление: понимание того, как дизайнеры думают и работа-ют. Оксфорд: Блумсбери Академик, 2011 г. – 37 с.
12. В. Виссер Когнитивные артефакты проектирования. Хиллсдейл, Нью-Джерси: Лоуренс Эрлбаум Ассошиэйтс, 2006. – 57 с.
13. С. Джоберг, С. Бьеркем, Дж. Элигер, et al. Эмерджентный синтаксис: машинное обучение для курирования пространства дизайнерских реше-ний. В: Труды Нару-шение дисциплин 37-й ежегодной конференции Ассо-циации автоматизированного проектирования в архитектуре. 2017 г. – С. 552-561.
14. Д. Дювернаут, Д. Макларин, Дж. Агильера, и др.. Сверточные сети на графах для изучения молекулярных отпечатков пальцев. В: Материалы 28-й международной конференции по нейронным системам обработки ин-формации (NIPS), Монреаль, Квебек, Канада, 7-12 декабря 2015 г. – 97 с.
15. Х. Эриг Х. Креовски. Выталкивающие свойства: анализ склеиваю-щих конструк-ций для графиков. Мате Нахр 1979 г. – С. 135-149.
16. А. Хагберг, Д. Шульц и П. Сварт NetworkX: программное обеспе-чение Python для анализа сетей. Математическое моделирование и анализ, Лос-Аламосская наци-ональная лаборатория, Лос-Аламос, Нью-Мексико, 2005 г. <http://networkx.lanl.gov>. – 29 с.
17. Дж. Бойер и Дж. Мирволд На режущей кромке: упрощенная O(n) планарность путем добавления кромки. 2004 г. – С. 241-273.
18. А. Хиндупур Зоопарк GAN — список всех названных GAN! 2017, <https://deephunt.in/the-gan-zoo-79597dc8c347>. – 95 с.
19. Т. Каррас, Т. Аллиа, С. Лейн, и др. Прогрессивное выращивание ГАН для улуч-шения качества, стабильности и изменчивости. В: 6-й меж-дународный конференс

по учебным представлениям (ICLR), Ванкувер, Британская Колумбия, Канада, 30 апреля-3 мая 2018 г. – 26 с.

20. X. Ванг, Ай. Ванг, и др. GraphGAN: обучение представлению графов с помощью генеративных состязательных сетей. В: 32-я конференция AAAI по искусственному интеллекту, Новый Орлеан, Лос-Анджелес. 2018 г. – 53 с.

21. X. Чен, Ю. Дуан, Р. Хоутхорт, и др.. InfoGAN: интерпретируемое обучение представлению с помощью информации, максимизирующей генеративные состязательные сети. 2016 г, <https://arxiv.org/abs/1606.03657>. – С. 173

22. К. Александров Язык шаблона: города, строительство, строительство. Оксфорд: Оксфорд Юниверсити Пресс, 1977 г. – 38 с.

23. Б. Митрович Философия для архитекторов. Нью-Йорк: Принстон-ская архитектурная пресса, 2011 г. – 62 с.

24. В. Джаби, С. Сой, Р. Теобальд, и др. Улучшение параметрического проектирования за счет многообразной топологии. Де Стад 2017 г. – С. 96-114.

References

1. De Haan H. Architects in competition: international architectural competitions of the last 200 years. London: Thames and Hudson, 1988. — 9 p.

2. K. Steinfeld Dreams can come. In: Nagakura T (ed.) *Acadia 2017. discipline and Destruction*. Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture. Cambridge: MIT, 2017. – С. 590-599.

3. V. Gropius *The field of General Architecture*. K. Books, 1970. – 13 p.

4. M. Crosby Doshi is sacred in the secular. *Faith Forum* 2018; <https://faithandform.com/editorial/doshis-sacred-in-secular/> – 51 с.

5. M. Ruiz-Montiel, J. Boned, J. Vivlanesh, etc. Designing with form grammar and reinforcement learning. 2012. – С. 23-245.

6. Ji. Steeney and J. Jeeps Grammar of Forms and generative specification of painting and sculpture. In: Freiman CV (ed.) *Information processing 71*. Amsterdam: North Holland, 1972, 1460-1465 – 52 p.

7. J. Duarte To the mass customization of housing: the grammar of Siza houses in Malagueira. *Environment Plan B* 2005; 32. – С. 348-380.

8. K. He, H. Zhang, S. Ren, etc. Deep residual learning for image recognition. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, Nevada, June 27-30, 2016, New York: IEEE. – С. 770-778.

9. A. Gruver and J. Leykovets Scalable learning of functions for networks. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16)*, San Francisco, CA, August 13-17, 2016, New York: ACM. DOI: 10.1145/2939672.2939754. – pp. 855-864

10. L. Liao, H. He, N. Zhang, etc. Embedding in a social network is attributed. *IEEE T Knowl Data En*. Epub before printing on March 27, 2018. DOI: 10.1109/TKDE.2018.2819980. – 18 p.

11. N. Cross *Design Thinking: Understanding how designers think and work*. Oxford: Bloomsbury Academic, 2011. – 37 p.

12. V. Visser *Cognitive design artifacts*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2006. – 57 p.

13. S. Joberg, S. Bjerkem, J. Eliger, et al. Emergent syntax: Machine learning for curating the design solution space. In: *Proceedings of the Violation of Disciplines of the 37th Annual Conference of the Association of Computer-aided Design in Architecture*. 2017. – pp. 552-561.

14. D. Duvernout, D. Mclarin, J. Aguilera, et al.. Convolutional networks on graphs for studying molecular fingerprints. In: *Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Montreal, Quebec, Canada, December 7-12, 2015 – 97 p.

15. X. Erig H. Creowski. Ejecting properties: analysis of gluing structures for graphs. *Mate Nahr* 1979. – pp. 135-149.

16. A. Hagberg, D. Schult and P. Svart *NetworkX: Python software for network analysis*. Mathematical Modeling and Analysis, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 2005, <http://networkx.lanl.gov>. – 29 p.

17. J. Boyer and J. Mirvold On the cutting edge: simplified $O(n)$ planarity by adding an edge. Application of the J Graph algorithm 2004 – pp. 241-273.
18. A. Hindupur Zoo GAN — list of all named GAN! 2017, <https://deephunt.in/the-gan-zoo-79597dc8c347> . – 95 p.
19. T. Karras, T. Alliah, S. Lane, et al. Progressive cultivation of GAN to improve quality, stability and variability. In: 6th International Conference on Educational Presentations (ICLR), Vancouver, British Columbia, Canada, April 30-May 3, 2018. – 26 p.
20. X. Wang, Ai. Wang, et al. GraphGAN: Learning to represent graphs using generative adversarial networks. In: 32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence, New Orleans, Los Angeles, February 2-7, 2018. – 53 p.
21. H. Chen, Y. Duan, R. Houthort, et al.. InfoGAN: Interpreted representation learning using information maximizing generative adversarial networks. 2016, <https://arxiv.org/abs/1606.03657> . – P. 173
22. K. Alexandrov Template language: cities, construction, construction. Oxford: Oxford University Press, 1977. – 38 p.
23. B. Mitrovich Philosophy for architects. New York: Princeton Architectural Press, 2011. – 62 p.
24. V. Jabi, S. Soy, R. Theobald, et al. Improvement of parametric design due to the manifold topology. De Stade 2017. – pp. 96-114.

Меркушев К.А.,

студент-магистр кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: kostyn_m@mail.ru

Merkushev K. A.,

master's Student of the Department of Architecture, South Ural state University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: kostyn_m@mail.ru

Поступила в редакцию 05.11.2022

АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИ ВНЕДРЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Инновационные технологии внедряются практически в каждую отрасль жизнедеятельности человечества, одна из таких крупных отраслей как строительство, на сегодняшний день отличается высокими трудозатратами и является наименее автоматизированной. Методы строительных технологий жилого сектора остаются неизменными долгие годы, а существующие технологии строительства не в состоянии решить появляющиеся задачи и проблемы, в связи с чем, необходимы новые подходы к строительству и соответственно к проектированию. Переход от классических технологий возведения зданий к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы.

Трехмерная печать представляет собой процесс получения физического объекта по его цифровой трехмерной модели, путём послойного наращивания материала. Поскольку при производстве объекта материал «наращивается» слой за слоем, такая технология называется также аддитивной. В настоящее время аддитивные технологии широко применяются в различных сферах деятельности человека: медицине, машиностроении, дизайне, а также им начинают находить применение в архитектурном проектировании и строительстве.

Цель статьи – провести исследование и определить методы создания архитектурных объектов, возводимых при помощи аддитивных технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации зданий, построенных по аддитивной технологии;*
- определить будущие возможности применения аддитивных технологий в архитектуре;*
- структурировать информацию по теме исследования.*

Для решения поставленных задач используются методы исторического и сравнительного анализа, прогноза, синтеза полученных результатов.

Использование цифрового проектирования и технологий аддитивного производства предоставит возможность реализовать самые сложные архитектурные замыслы проектировщика, которые раньше были ограничены методами возведения объектов и конструктивными нагрузками.

Ключевые слова: аддитивные технологии, архитектура, формообразование, современные тенденции строительства, проектирование, 3D-печать.

ARCHITECTURAL DESIGN DURING IMPLEMENTATION ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Innovative technologies are being introduced into almost every sector of human life, one of such large industries as construction, today is characterized by high labor costs and is the least automated. The methods of construction technologies of the residential

sector remain unchanged for many years, and the existing construction technologies are not able to solve the emerging tasks and problems, and therefore, new approaches to construction and, accordingly, to design are needed. The transition from classical building construction technologies to additive ones using construction 3D printing can be a solution to this problem.

Three-dimensional printing is a process of obtaining a physical object from its digital three-dimensional model, by layer-by-layer building up of material. Since the material is “built up” layer by layer during the production of an object, this technology is also called additive. At present, additive technologies are widely used in various fields of human activity: medicine, mechanical engineering, design, and they are also beginning to find application in architectural design and construction.

The purpose of the article is to conduct research and determine methods for creating architectural objects built using additive technologies.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- conduct a review of domestic and foreign experience in the design, construction and operation of buildings built using additive technology;
- to determine the future possibilities of application of additive technologies in architecture;
- structure information on the topic of research.

To solve the tasks set, methods of historical and comparative analysis, forecast, and synthesis of the results obtained are used.

The use of digital design and additive manufacturing technologies will provide an opportunity to realize the most complex architectural ideas of the designer, which were previously limited by the methods of erecting objects and structural loads.

Keywords: additive technologies, architecture, shaping, modern construction trends, design, 3D printing.

Работа человечества в сфере цифровых технологий, на протяжении многих лет, привела к идее послойного создания объектов с помощью 3D-принтера по заранее разработанной математической модели. Данная технология нанесения материала на основу называется аддитивной. В случае традиционного производства подобных объектов, изначально имеется заготовка, от которой, например, отсекается все лишнее, либо происходит процесс деформации заготовки, то в случае с аддитивной технологией из аморфного расходного материала выстраивается новое изделие [1,16].

Трёхмерная печать (далее 3D-печать) ведёт свою историю с 1980 года, когда доктор муниципального промышленного исследовательского института в Нагоя, Хидео Кодاما, подал заявку на регистрацию патента на устройство, которое с помощью УФ-засветки послойно формировало жесткий объект из фотополимерной смолы [5].

В 1983 году трое инженеров – Ален Ле Мехо, Оливье де Витт и Жан-Клод Андрэ из французского национального центра научных исследований, в попытке создать то, что они называли «фрактальным объектом», пришли к идее использования лазера и мономера, который под воздействием лазера

превращался в полимер. Заявку на патент они подали за 3 недели до американца Чака Хала. Первым объектом, созданным на аппарате, стала винтовая лестница. Технологию инженеры назвали стереолитографией, а патент был одобрен только в 1986 году. Благодаря им самый известный формат файла для 3D-печати и называется STL (от англ. stereolithography). К сожалению, институт не разглядел перспектив в изобретении и его коммерциализации, и патент не был использован для создания конечного продукта [2,3]. В тоже самое время Американец Чак Халл разработал технологию послойного выращивания физических трёхмерных объектов из фотополимеризующейся композиции (ФПК). Технология получила название «стереолитографии» (STL). Патент на своё изобретение автор получил только в 1986 году, тогда же он основал компанию 3D System и приступил к разработке первого промышленного устройства для трёхмерной печати, которое было представлено общественности год спустя, в 1987 году [3,16].

Еще один новый способ 3D-печати появился примерно в то же время, что и STL-печать. Это селективное лазерное спекание SLS, при котором лазер используется для превращения сыпучего порошка (вместо смолы)

в твердый материал. Разработкой занимались Карл Декард, молодой студент бакалавриата в Техасском университете в Остине, и его преподаватель, профессор, доктор Джо Биман. Причем идея принадлежала Карлу. В 1987 году они вместе основали корпорацию Desk Top Manufacturing (DTM) Corp. Однако пройдет еще не менее 20 лет, пока SLS 3D-печать станет коммерчески доступной потребителю [5].

В 1988 году, авиационный инженер, Скотт Крамп (США) запатентовал технологию трехмерной печати с помощью послойной заливки расплавленной нити полимера (FDM) [4].

В начале XXI века сразу несколько независимых групп ученых, из разных стран, начали исследования в области технологии 3D-печати в сфере строительства. В 2012 году были представлены первые потребительские строительные 3D-принтеры, а уже через два года был возведен первый экспонат одноэтажного жилья компанией Shanghai WinSun (Китай) [6].

Первооткрывателем в напечатании со-

ружений в человеческом масштабе стал робототехник родом из Италии Энрико Дини. В 2009 году Энрико вместе с архитектором Андреа Моргане смог с помощью своего, довольно крупного и похожего на осветительную установку для сцены, D-образного принтера напечатать павильон, по форме напоминающий яйцо, но выполненный в виде каркасной структуры. Примечательно, что принтер использовал, в качестве строительного материала песок и химические связующие вещества.

Ещё одним примером маломасштабного жилого строительства с использованием 3D-принтера может послужить небольшой дом, который установили на площади Чезаре Беккариа в рамках Миланской недели дизайна (рис.2). Авторы проекта – бюро CLS Architects и Arup – продемонстрировали новаторскую идею строительства с безотходной технологией [7].

Через один из каналов Амстердама прокинули ажурный мост (рис.2), изготовленный при помощи 3D-принтера. Разработкой



Рис. 1. Общий вид напечатанного бетонного дома для Миланской выставки «Salone del Mobile»



Рис.2. Открытие первого в мире распечатанного на 3D-принтере стального пешеходного моста

дизайна моста занималась лаборатория Joris Laarman Lab. Мост имеет символическое значение оно кроется в соединении старого города с технологиями будущего. Используемый принтер имеет возможности создания пространственной структуры из металла, путём его наплавки.

Китайская строительная компания WinSun применяя несколько порталных 3D-прин-

теров возвела за 17 дней офисный комплекс «Dubai Future Foundation» расположенный в ОАЭ (рис. 3). Аддитивные технологии применили и для создания интерьеров офисных пространств. Объект изначально был напечатан фирмой WinSun в мастерской, после чего собран в течение двух дней уже на месте [8].

Строительные аддитивные технологии в России не отстают от мировой практики, в



Рис. 3. Общий вид офиса «Dubai Future Foundation» ОАЭ, Дубай

нашей стране есть свои специалисты в этой области. Одна из известных компаний – это ООО «Спецавиа» из Ярославля, являющаяся резидентом Сколково.

Эта компания изначально была ориентирована на сегмент малого бизнеса, как основного заказчика оборудования для создания малых архитектурных форм. Но после оказалось, что крупные игроки строительного рынка заинтересованы больше в крупномасштабном оборудовании. Тогда компания разработала линейку из 7 основных типов порталных 3D-принтеров, выпускаемых как серийно, так и по специальным требованиям заказчиков [9]. Это машины малого формата (объем строительных конструкций до 36 куб. м) для печати частей зданий, которые за счет разработанных технических решений могут быть интегрированы в типовые проекты домов индивидуального жилищного строительства; принтеры для строительства домов площадью до 140 кв. м и более до двух этажей:

- стационарные для печати домов площадью до 140 кв. м в 2 этажа;
- мобильные, позволяющие печатать дом или серию домов без ограничения площади застройки и высоты объекта.

Используемый материал для принтеров: пескобетон М300–М500, геополимерный бетон, гипс, специализированные смеси. Принтер легок в управлении и обслуживании. Программа обучения персонала работе на принтере рассчитана на 16 часов [9].

И на сегодняшний день есть несколько реализованных проектов. «Напечатанный» жилой дом в Ярославле – самое большое здание в Европе и СНГ (рис. 4), построенное с применением аддитивной технологии. Его общая площадь 298,5 кв.м. Проект осуществила группа компаний «АМТ-СПЕЦАВИА». Начало строительству положено в 2015 г.; коробка здания отпечатана по частям и смонтирована на фундаменте за один месяц в декабре 2015 г. Летом 2017 г. завершено устройство крыши и проведен основной объем внутренних отделочных работ. На сегодня дом подключен ко всем инженерным коммуникациям и в нём проживает семья основателя и руководителя предприятия станкостроительной компании «СПЕЦАВИА» [9].

Компания Aris Cor из г.Иркутска напечатала дом (рис.5) площадью 38 кв. м. в Подмосковье, используя 3D-принтер собственной разработки [10]. Впервые в российской строительной практике дом был отпечатан целиком, а не собран из отпечатанных панелей.

Печать производилась пескобетоном М300–М500. Во время печати использовалось горизонтальное армирование стен стеклопластиковой арматурой, внутренняя полость стен в одной части дома заполнялась насыпным утеплителем, а в другой заливался полиуретановым составом.

Напечатать несущие стены и перегородки заняло менее 24 часов. Данный проект дома на 38 квадратных метров, по себестоимости



Рис. 4. Общий вид самого большого напечатанного здания в Европе и СНГ



Рис. 5. Процесс печатания дома площадью 38 кв. м

сти за квадратный метр получился в районе 220 долларов.

Замысловатый дизайн дома, спроектирован с определённой целью – продемонстрировать возможности оборудования и вариативность возможных архитектурных форм, при настоящем этапе развития аддитивных технологий. Примечателен тот факт, что дом возводился в холодный период года. Зима добавила сложности для участников проекта, поскольку применение бетонной смеси, используемой в качестве «чернил», возможно только при температуре от 5°C выше нуля, хотя само оборудование способно работать при температуре до минус 35°C. Задачу решили с помощью установки крытого тента, где поддерживался необходимый температурный режим [11, 17].

Также отечественная компания Aris Cor по заказу властей Дубая напечатала на 3D-принтере уникальный дом площадью более 600 кв.м. Проект попал в Книгу рекордов Гиннеса и принес предпринимателю \$1 млн выручки и интерес клиентов из США. Дубайский проект Aris Cor длился около года. За это вре-

мя основатель компании с командой из четырех человек успел напечатать и разрушить тестовые миниатюры углов здания и придумать уникальные бетонные «чернила», устойчивые к землетрясениям и высокой влажности. Печать итогового здания заняла 500 часов машинного времени (рис.6) [12].

На данном этапе развития технологии аддитивного производства можно говорить о её характерных преимуществах, в сравнении с традиционными строительными технологиями возведения зданий и сооружений:

- безотходное производство несущих и ограждающих конструкций;
- максимальная автоматизация строительного процесса с минимальным участием человека;
- в будущем, массовое строительство по такой технологии, поможет решить проблему недостатка жилого фонда, реализуемого по низким ценам;
- позволит быстро восстанавливать города после стихийных бедствий;
- внедрение нестандартных форм в здании не сделает строительство дороже, по



Рис. 6. Общий вид напечатанного дома площадью более 600 кв.м., ОАЭ, Дубай

сравнению с традиционными материалами и методами строительства;

– индивидуальный жилой дом может быть построен, без учёта отделочных работ, всего за 24 часа. Он может быть изготовлен, как на предполагаемом месте строительства, так и быть собран из привозных отпечатанных деталей, которые изготовлены в производственных цехах [14, 18-20].

Приведённые примеры реализованных проектов показывают, как благодаря аддитивным технологиям могут воплощаться в материале разнообразные фантазии архитектурной мысли. Аддитивная технология с развитием новых материалов и методов использования самих систем, данного типа производства не будет иметь ограничений по внешнему и внутреннему облику возводимого здания, поэтому уже сейчас, можно говорить о новом, безграничном потенциале архитектурных решений.

Благодаря науке можно задавать материалам требуемые свойства, изменять их внутреннюю структуру под определённые конструктивные нагрузки, климат и энергоэффективность [13]. Проектирование в будущем может начинаться с анализа свойств материала, а после переходить на создание структурированной, многофункциональной формы. Предположительно такие архитектурные сооружения будут принимать основу природных формообразований, и такой достаточно экзотичный архитектурный стиль,

как бионика станет преобладающим. А возможно, эта технология даст развитие совершенно новых направлений или даже оригинальных стилей в архитектуре.

В концептуальном смысле, есть предпосылки того, что именно эта технология будет внедряться во внеземном строительстве на Луне или Марсе [15], где будет использоваться в качестве строительного материала местный грунт.

Заключение

У аддитивных технологий большое будущее, они открывают новые горизонты в проектировании. Можно выделить три метода создания зданий по этой технологии:

- метод цельного возведения от фундамента до кровли;
- метод сборного возведения из отдельно отпечатанных элементов;
- метод комбинированного возведения, при этом подходе применяются как технологии аддитивного производства, так и традиционные строительные технологии: монолитного, блочного или каркасного строительства.

Возведение зданий и сооружений различного масштаба, по технологии аддитивного производства, станет широко распространённым и привычным явлением. Это даёт уверенность в том, что будущее архитектурное проектирование будет неотъемлемым образом связано с данной технологией.

Литература

1. Аддитивные технологии и аддитивное производство / Аддитивные технологии / Современные технологии производства extxe.com – 2018. – URL: <https://extxe.com/5864/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo/> (дата обращения: 25.10.2022).
2. Малышева В. Л., Красимилова С. С. Лазерная стереолитография – новый подход к строительству сооружений // Журнал магистров ПНИПУ. 2013. № 2. С. 202-208.

3. История 3D – печати / ORGPRINT / Энциклопедия 3D-печать – 2012. – URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/istorija-3d-pechati> (дата обращения: 27.10.2022).
4. Scott S. Crump – Patent US5121329 A – «Apparatus and method for creating three-dimensional objects». 30 October, 1989.
5. Краткая история появления 3D-печати / Александр Корнвейц / Habr – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/post/553958/> (дата обращения: 27.10.2022).
6. Лохмутов, Н. Д. Перспектива развития 3D-печати в строительстве / Н. Д. Лохмутов, Д. В. Куличков, В. В. Ермолаева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 23 (209). – С. 177-179. – URL: <https://moluch.ru/archive/209/51318/> (дата обращения: 25.10.2022).
7. Дом, напечатанный на 3D-принтере / Екатерина Карпухина / AD Архитектура – 2018. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/dom-napechatannyj-na-3d-printere> (дата обращения: 25.10.2022).
8. Первый офис в мире, напечатанный на 3D-принтере/ ARCHITIME.RU// П. Кузнецов / – 2021. – URL: https://www.architime.ru/news/gensler/dubai_future_foundation.htm (дата обращения: 20.10.2022).
9. Маслов, А. В. В Ярославле планируют создать Российский центр аддитивных технологий в строительстве / Маслов, А. В. / АМТ-СПЕЦАВИА – 2018. – URL: <https://specavia.pro/articls/v-yaroslavle-planiruyut-sozdat-rossijskij-czentr-additivnyx-tehnologij-v-stroitelstve/> (дата обращения: 15.10.2022).
10. Камоничкина, Н. В., Кочешков, И. В. Исследование прочностных характеристик модельного материала, получаемого методом fdm-печати // Аддитивные технологии № 3-2018. – URL: <https://additiv-tech.ru>. (дата обращения: 22.10.2022).
11. Максимов, Н. Н. Аддитивные технологии в строительстве, оборудование и материалы // Аддитивные технологии № 4-2018. – URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-oborudovanie-i-materialy.html> (дата обращения: 17.10.2022).
12. Журнал «Forbes» / Как россияне напечатали двухэтажный дом в Дубае на 3D-принтере и вошли в Книгу рекордов Гиннеса / Ксения Демидкина [forbes.ru](https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d) – 2019. – URL: <https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d> (дата обращения: 25.10.2022).
13. Торшин А. О., Потапова Е. Н. Перспективы использования 3D-принтера в строительстве // Успехи химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 118.
14. Измайлова А. Армия США тестирует бетонную казарму, созданную при помощи 3D-печати / Алина Измайлова / Архи.ру – 2018 – URL: <https://archi.ru/news/80589/armiya-ssha-testiruet-betonnyu-kazarmu-sozdannu-yu-pri-pomoschi-3d-pechati> (дата обращения: 15.10.2022).
15. Coldewey, D. NASA's 3D-printed Mars Habitat competition doles out prizes to concept habs – URL: <https://techcrunch.com/2018/07/27/nasas-3d-printed-mars-habitat-competition-doles-out-prizes-to-concept-habs/> (дата обращения: 15.10.2022).
16. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении: Учебн. пособие. СПб.: СПбГУ, 2013. – 221 С.
17. Белов А. О., Гилязидинов Н. В. Технология возведения малоэтажных зданий с помощью 3D-принтера: сб. ст. VII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием / КузГТУ ИМ. Т.Ф. Горбачева. г. Кемерово, 2015. – С. 703
18. Смирнов, В.В., Барзали, В.В., Ладнов, П.В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности / В.В. Смирнов, В.В. Барзали, П.В. Ладнов // Опыт ФГБОУ УГАТУ. Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 2 (14). – С. 23-27.
19. Григорьев, С.Н., Смуров, И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С.Н. Григорьев, И.Ю. Смуров // Инновации. – 2013. – Т. 10. – С. 2-8.
20. Аббасов, А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий / А.Э. Аббасов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2015. – № 5-1. – С. 21-26.
21. ГОСТ Р 57558-2-017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Термины и определения.

References

1. Additive technologies and additive manufacturing / Additive technologies / Modern production technologies extxe.com – 2018. – URL: <https://extxe.com/5864/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo/> (date of access: 25.10.2022).
2. Malysheva V. L., Krasimirova S. S. Laser stereolithography - a new approach to the construction of structures // Journal of masters of PNRPU. 2013. No. 2. S. 202 – 208.
3. History of 3D Printing / ORGPRINT / Encyclopedia of 3D Printing – 2012. – URL: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-reshat/istorija-3d-reshati> (date of access: 27.10.2022).
4. Scott S. Crump – Patent US5121329 A – “Apparatus and method for creating three-dimensional objects”. 30 October, 1989.
5. Brief history of 3D printing / Alexander Kornweitz / Habr – 2021. – URL: <https://habr.com/ru/post/553958/> (date of access: 27.10.2022).
6. Lokhmutov, N. D. Prospects for the development of 3D printing in construction / N. D. Lokhmutov, D. V. Kulichkov, V. V. Ermolaeva. – Text: direct // Young scientist. – 2018. – No. 23 (209). – S. 177–179 – URL: <https://moluch.ru/archive/209/51318/> (date of access: 25.10.2022).
7. House printed on a 3D printer / Ekaterina Karpukhina / AD Architecture – 2018. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/dom-napechatannyj-na-3d-printere> (date of access: 25.10.2022).
8. The first office in the world printed on a 3D printer / ARCHITIME.RU // P. Kuznetsov / – 2021. – URL: https://www.architime.ru/news/gensler/dubai_future_foundation.htm (date of access: 20.10.2022).
9. Maslov, A. V. It is planned to create a Russian Center for Additive Technologies in Construction in Yaroslavl / Maslov, A. V. / AMT-SPECAVIA – 2018. – URL: <https://specavia.pro/articls/v-yaroslavle-planiruyut-sozdat-rossijskij-czentr-additivnyx-texnologij-v-stroitelstve/> (date of access: 25.10.2022).
10. Kamonichkina, N. V., Kocheshkov, I. V. Study of the strength characteristics of a model material obtained by fdm-printing // Additive Technologies No. 3 – 2018. – URL: <https://additiv-tech.ru>. (date of access: 22.10.2022).
11. Maksimov, N. N. Additive technologies in construction, equipment and materials // Additive technologies No. 4 – 2018. – URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-oborudovanie-i-materialy.html> (date of access: 25.10.2022).
12. Forbes magazine / How the Russians printed a two-story house in Dubai on a 3D printer and entered the Guinness Book of Records / Ksenia Demidkina / forbes.ru – 2019. – URL: <https://www.forbes.ru/karera-i-svoy-biznes-photogallery/386887-kak-rossiyane-napechatali-dvuhetazhnyy-dom-v-dubae-na-3d> (date accessed: 25.10.2022).
13. Torshin A. O., Potapova E. N. Prospects for the use of a 3D printer in construction // Advances in Chemistry and Chemical Technology. VOLUME XXX. 2016. No. 7. P. 118.
14. Izmailova A. The US Army is testing a concrete barracks created using 3D printing / Alina Izmailova / Archi.ru – 2018 – URL: <https://archi.ru/news/80589/armiya-sshastiruet-betonnuyu-kazarmusozdannu-yu-pri-pomoschi-3d-pechati> (date of access: 25.10.2022).
15. Coldewey, D. NASA’s 3D-printed Mars Habitat competition doles out prizes to concept habs – URL: <https://techcrunch.com/2018/07/27/nasas-3d-printed-mars-habitat-competition-doles-out-prizes-to-concept-habs/> (date of access: 25.10.2022).
16. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylyna I.N. Additive technologies in mechanical engineering: Textbook. allowance. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2013. 221 p.
17. Belov A. O., Gilyazidinov N. V. Technology of construction of low-rise buildings using a 3D printer: Sat. Art. VII All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation / KuzGTU IM. T.F. Gorbachev. Kemerovo, 2015. P. 703
18. Smirnov, V.V., Barzali, V.V., Ladnov, P.V. Prospects for the development of additive manufacturing in the Russian industry / V.V. Smirnov, V.V. Barzali, P.V. Ladnov // Experience FGBOU USATU. News of material-conducting. Science and technology. – 2015. – No. 2 (14). – P. 23-27.
19. Grigoriev, S.N., Smurov, I.Yu. Prospects for the development of innovative additive manufacturing in Russia and abroad / S.N. Grigoriev, I.Yu. Smurov // Innovations. – 2013. – T. 10. – S. 2-8.

20. Abbasov, A.E. Prospects for the development of additive technologies / A.E. Abbasov // Information technologies. Radioelectronics. Telecommunications. – 2015. – No. 5–1. – P. 21-26.
21. GOST R 57558-2-017 Additive technological processes. Basic principles. Terms and Definitions.

Омельяненко В.Л.,

архитектор проектной организации «Стальное Вытупа», магистрант кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: vlad.omelyanenko98@gmail.com

Omelianenko V.L.,

architect of the design organization «Стальное Вытупа», undergraduate of the department «Architecture», South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: vlad.omelyanenko98@gmail.com

Поступила в редакцию 03.11.2022

ВЛИЯНИЕ АМД НА УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА

Работа посвящена актуальной проблеме снижения усадочных деформаций бетона и расширению области применения активных минеральных добавок (АМД).

Проведен анализ литературных источников по теме исследования. Для многих предприятий на протяжении длительного времени актуальной задачей является разработка прогрессивных технологий, обеспечивающих рециклинг производственных процессов, повышение эффективности использования сырья и снижение затрат на производство. Добиться одновременного повышения качества бетона и снизить затраты на производство возможно за счет применения АМД.

Данной тематике на сегодняшний день посвящено достаточно обширное количество исследований как российских, так и иностранных ученых. Поскольку утилизация отходов и снижение выбросов углекислого газа в атмосферу является важной стратегической задачей современной экологии.

Применение в строительном производстве отходов промышленности позволит утилизировать шлак, приведет к увеличению ассортимента продукции и улучшению экологической обстановки.

Однако существуют проблемы, связанные с повышением водопоглощения и увеличением усадки бетона на основе цемента модифицированного доменным гранулированным шлаком (ДГШ), связанные, прежде всего, с изменением свойств бетонной смеси, а также структуры и фазообразования бетона.

Таким образом, целью данной работы стало проведение анализа существующей проблематики применения АМД для снижения усадочных деформаций бетона и выявление направления снижения экологических рисков, возникающих в результате нерационального и некачественного их использования.

В данной работе выявлены основные причины возникновения усадочных деформаций бетона. Сформулирована основная цель и задачи исследования. Предложен метод активации твердения бетона, на основе которого разработан бетон на шлакопортландцементе (ШПЦ) с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Приведены результаты влияния активных минеральных добавок на прочность и ранние усадочные деформации цементного камня бетона на основе шлакопортландцемента.

Ключевые слова: *добавки, шлакопортландцемент, метакаолин, гипс, бетон, строительные материалы, рециклинг, экология.*

INFLUENCE OF AMA ON CONCRETE SHRINKAGE

The work is devoted to the actual problem of reducing the shrinkage deformations of concrete and expanding the application of active mineral additives (AMA).

The analysis of literature sources on the topic of research is carried out. For many enterprises for a long time the actual problem is the development of progressive technologies providing recycling of production processes, increase of efficiency of raw materials use and decrease in manufacturing costs. It is possible to achieve simultaneous improvement of concrete quality and reduce production costs through the use of AMA.

To date, a fairly extensive number of studies by both Russian and foreign scientists have been devoted to this topic. Since the disposal of waste and the reduction of carbon dioxide emissions into the atmosphere is an important strategic task of modern ecology.

The use of industrial waste in the construction industry will allow to utilize slag, will lead to an increase in the range of products and improve the environmental situation.

However, there are problems associated with increased water absorption and increased shrinkage of concrete based on cement modified blast-furnace slag, associated primarily with a change in the properties of the concrete mixture, as well as the structure and phase formation of concrete.

Thus, the purpose of this work was to analyze the existing problems of AMA application to reduce the shrinkage deformation of concrete and to identify the direction of reducing environmental risks arising from the irrational and poor quality of their use.

In this paper, the main causes of shrinkage deformations in concrete have been identified. The main goal and objectives of the study are formulated. The method of concrete hardening activation on the basis of which the concrete on the slag-portland cement with high technological and operational characteristics is offered.

The results of the influence of active mineral additives on the strength and early shrinkage of concrete on the basis of slag-portland cement.

Keywords: *additives, portland slag cement, metakaolin, gypsum, concrete, building materials, recycling, ecology.*

Снижение влияния производственных рисков с целью сохранения невозполнимых природных ресурсов является глобальной задачей и в нашей стране. Одним из вариантов её решения – это продуктивное использование отходов промышленности как в технологиях безотходного производства в рамках производственного рециклинга, так и в процессе применения вторичных отходов на предприятиях других отраслей экономики.

Современная строительная индустрия предлагает достаточно большое разнообразие бетона и изделий из него, которые имеют существенные различия, в том числе в условиях эксплуатации, что в значительной степени обуславливает необходимость повышения прочности и долговечности бетонов.

Повышение прочности бетона приведет к снижению сечения конструкции при обеспечении ее эквивалентной несущей способности. Однако, получение высокопрочных бетонов часто сопровождается увеличением их усадочных деформаций и снижением трещиностойкости. Повышение трещинообразования приведет к снижению проницаемости и долговечности бетона, и как следствие одновременного ухудшения деформативных свойств [1,2].

Различают влажностную, карбонизационную и контракционную усадки бетона, наименее изученной из которых остается влажностная, которая и вызывает основную деформацию бетона [3,4].

В соответствии со временем возникновения усадка бывает пластическая (капилляр-

ная), аутогенная, усадка при высыхании.

Усадка бетона происходит наиболее интенсивно в начальный период твердения, и зависит, прежде всего, от вида применяемого цемента, его расхода и тонкости помола, а также водоцементного соотношения. Соответственно наиболее интенсивно усадочные деформации возникают в бетоне с большим расходом цемента и воды затворения, а также при низкой влажности окружающей среды [3,4].

Согласно современным представлениям, усадка бетона обусловлена совместным действием капиллярных сил и сил, возникающих при удалении воды из слоев, образованных между кристаллами новообразований цементного камня [3,4].

Многими исследователями было показано, что одним из эффективных методов снижения усадочных деформаций бетона является создание направленной структуры и фазообразования, за счет введения добавок-модификаторов, включающих сульфат-ионы и алюминаты, позволяющие формировать различные модификации гидросульфатоалюмината кальция [3-6].

Таким образом, целью работы является исследование влияния минеральных добавок различной природы на трещиностойкость высокопрочных бетонов.

Задачей проведения данного исследования стало определение усадочных деформаций бетона с момента затворения и начала протекания процесса гидратации и прочности на изгиб и на сжатие согласно требо-

ваниям нормативной документации [7,8]. Исследования проводили на цементе класса ЦЕМ II / В-Ш 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия», ОАО «Сухоложскцемент» при температуре $20 \pm 50^{\circ}\text{C}$ и влажности 65-70%. Суперпластификатор вводили в дозировке 0,6% от массы цемента для снижения расхода воды затворения. Метакаолин производства ЗАО «Пласт-Рифей» соответствующий ТУ 5729-095-51460677-2009, СП-1 производства ОАО «Полипласт» г. Новомосковск ТУ 5870-005-58042865-05, гипс ГВВС-16, производства ЗАО «Самарский гипсовый комбинат» г. Самара.

Испытаний проводили с помощью комплекта приборов для измерения усадки «Schwindmessgerät Typ В». Данные исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние добавок на ранние усадочные деформации цементного камня бетона

| № состава | Гипс, % | МТК, % | Деформация усадки, мм/м | | | |
|-----------|---------|--------|-------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 12 часов | 1 сутки | 2 сутки | 3 сутки |
| 1 | 0 | 0 | 1,86 | 2,89 | 5,59 | 8,25 |
| 2 | 0 | 3 | 0,3 | 0,64 | 0,95 | 1,25 |
| 3 | 0 | 10 | 1,02 | 1,98 | 2,9 | 3,86 |
| 4 | 5 | 10 | 0,09 | 0,13 | 0,27 | 0,36 |
| 5 | 10 | 10 | 0,02 | 0,0425 | 0,188 | 0,315 |
| 6 | 10 | 3 | 0,16 | 0,2 | 0,29 | 0,4 |
| 7 | 10 | 0 | 1,21 | 1,25 | 1,49 | 1,49 |
| 8 | 5 | 0 | 0,96 | 1,8 | 2,75 | 3,65 |
| 9 | 5 | 3 | 0,089 | 0,178 | 0,318 | 0,425 |

дет к снижению вероятности формирования этрингита.

Введение 5% гипса совместно с 3 и 10% метакаолина позволяет несколько изменить картину. При этом существенной разницы в усадке не наблюдается, что может быть связано с недостатком SO_4 в жидкой фазе.

А вот повышение дозировки гипса до 10% с одновременным увеличением метакаолина приводит к максимальному снижению усадочных деформаций цементного камня.

Результаты по усадке считывались каждые 15 минут, начиная с момента формирования до 3 суток твердения.

По результатам исследования (табл.1), можно сделать вывод о том, что в дозировке до 3 % метакаолин позволяет компенсировать возникающие сжимающие деформации в структуре цементного камня и несколько снижает его усадку. Тогда как увеличение дозировки метакаолина до 10% также способствует снижению усадки, по сравнению с контрольным образцом, но в меньшей степени. Что вероятно обусловлено снижением количества воды затворения, поскольку метакаолин дисперсная добавка и имеет повышенную влагоемкость [9-15].

Кроме того, такой результат может быть связан с созданием дефицита ионов кальция в присутствии 10% метакаолина, что приве-

Так же были проведены испытания на прочность образцов-балочек размером 4x4x16 см, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. Образцы хранили в НУ. Из серии испытаний на цементном камне выбрали два оптимальных состава (5% гипса и 10% МТК; 5% гипса и 3% МТК) и контрольный состав. Результаты представлены на рисунке 1.

Выбранные составы позволяют повысить прочность бетона на сжатие и изгиб. Состав,

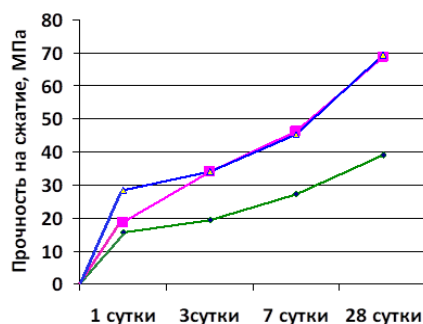
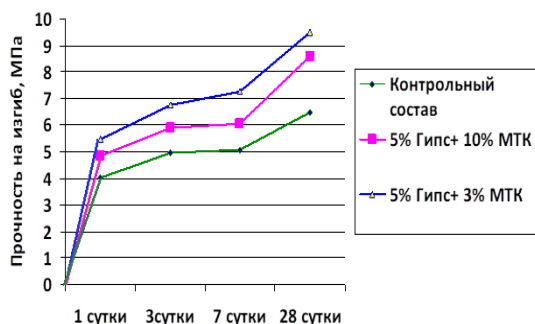


Рис. 1. Влияние добавок на прочность бетона

включающий 5% гипса и 10% МТК, повышает прочность бетона на изгиб на 30% и на 76% на сжатие в возрасте 28 суток твердения. Добавка, включающая 5% гипса и 3% МТК, позволяет в большей степени повысить прочность бетона на 46% на изгиб и на 78% на сжатие в возрасте 28 суток твердения, по сравнению с другим принятым оптимальным составом.

Все составы имеют усадочные деформации, что объясняется проведением исследований на цементном камне с большим расходом воды затворения. Однако по данным исследований можно сделать вывод о положительном влиянии метаксаолина как отдельно, так и в комплексе с гипсом. При этом наилучшие показатели снижения усадочных деформации цементного камня в присутствии метаксаолина получены с применением дозировки около 3% [16-25].

При совместном введении метаксаолина с гипсом максимальные результаты снижения усадочных деформаций получены с применением добавки «10%МТК+10%Гипса» и «10%МТК+5%Гипса». Следует отметить, что введение максимальной дозировки гипса и 3% метаксаолина привели к примерно одинаковому снижению усадочных деформации цементного камня.

Заключение

Производственные предприятия уже на протяжении многих десятилетий ставят перед собой задачу разработки прогрессивных технологий, обеспечивающих рециклинг

производственных процессов, повышение эффективности использования сырья и снижение затрат на производство. Создаются и успешно развиваются структуры экологического менеджмента. Обеспечивается конструктивное сотрудничество с рядом отечественных и зарубежных предприятий, разрабатываются и воплощаются стратегии повышения социальной ответственности производителей в сохранении экологии, и восполнения уже существующих затрат [11,16,17,24].

Таким образом, актуальность повышения эффективности использования шлакопортландцемента и расширение области его применения является бесспорной и на сегодняшний день весьма важной задачей научного поиска широкого круга учёных. Для решения данной задачи наиболее эффективно необходимо использовать активные минеральные добавки, которые позволят модернизировать свойства бетона на шлакопортландцементе.

В заключении необходимо отметить эффективность применения рассмотренных АД на снижение ранних усадочных деформаций бетона и повышение его физико-механических характеристик.

Кроме того, можно выявить закономерность, связанную с тем, что совместное введение метаксаолина и гипса позволит существенно снизить усадочные деформации цементного камня, тогда как отдельное введение только гипса или метаксаолина менее эффективно.

Литература

1. Михайлов В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции [Текст] / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – Издательство: М.: Стройиздат. – 1974. – 312 с.
2. Кузнецова Т.В. Глиноземистый цемент [Текст] / Т.В. Кузнецова, Й. Талабер. – М.: Стройиздат, 1988. – 272 с.
3. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона [Текст]. Тбилиси: Мецниереба. – 1979. – 226 с.
4. Миненко Е.Ю. Усадка и усадочная трещиностойкость высокопрочных бетонов с органоминеральными модификаторами [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. наук. 05.23.05 / Миненко Е.Ю.; МГГРУ. – Пенза., 2004. – 130 с.
5. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие [Текст] / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М.И. Колепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
6. Кривобородов Ю.Р. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров [Текст] / Ю.Р. Кривобородов, С.В. Самченко // Аналитический обзор ВНИИЭСМ. – М.: 1991. – Серия 1. Цементная промышленность. – 55 с.
7. ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести (с Изменением N 1) . – М.: Издательство стандартов. – 1987. – 18 с.
8. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ. – 2021. – 31 с.
9. Добровольский, И.П. Переработка и утилизация промышленных отходов Челя-

- бинской области [Текст] / И.П. Добровольский, И.Я. Чернявкий, А.Н. Абызов, Ю.Е. Козлов. – Челябинск: изд. «ЗАО Челябинская межрайонная типография», 2003. – 256 с.
10. Панфилов, М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии [Текст] / М.И. Панфилов, Я.Ш. Школьник, Н.В. Орининский, В.А. Коломиец, Ю.В. Сорокин, А.А. Грабеклис – М.: Металлургия, 1987. – 238 с.
11. Романова, И.П. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / И.П. Романова, О.Б. Бегунов / Территория науки. – М., 2016. – № 2. – С. 94-99.
12. Ушеров-Маршак, А.В. Гранулированный доменный шлак [Текст] / Химические и минеральные добавки в бетон. – Харьков: Колорит, 2005. – С. 84-96.
13. Chen, Y.L. The Composite Effect of Mineral Additives to the Performances of Concrete / Y.L. Chen, W.L. You // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. – P. 289-301.
14. Кузнецова, Т.В. Активные минеральные добавки и их применение [Текст] / Т.В. Кузнецова, З.Б. Энтин, Б.С. Альбец, Л.Я. Гольдштейн, Н.В. Соколова, Е.Т. Яшина. – М.: Цемент, 1981. – №10. – С. 6-8.
15. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. - P. 144 - 170.
16. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007. – 368с.
17. Романов, П.С. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / П.С. Романов, И.П. Романов. – М.: Синергия, 2016. – № 2. –С. 94–99.
18. Сатарин В.И., Шлакопортландцемент. Основной доклад. VI Международный конгресс по химии цемента [Текст]. – М.: б.и.–1974.– 32 с.
19. Сатарин В.И., Быстротвердеющий шлакопортландцемент [Текст] / В.И. Сатарин, Я.М. Сыркин, М.Б. Френкель / М.: Стройиздат. – 1970. – 152 с.
20. Сыркин Я.М., Химия и технология шлакопортландцемента [Текст] / Я.М. Сыркин, М.Б. Френкель / Киев: Госстройиздат УССР. – 1962. – 179 с.
21. Рояк С.М., Специальные цементы [Текст] / С.М. Рояк, Г.С. Рояк/ М.: Стройиздат. – 1983. – 279 с.
22. Дмитриев А.М., Теоретические и экономические основы технологии многокомпонентных цементов [Текст] / А.М. Дмитриев, В.В. Тимашев / Цемент. – 1981. №10. – С.1-4.
23. Сыркин Я.М. и др. Минеральный состав и свойства добавки эффективного интенсификатора твердения шлакопортландцемента [Текст] //Журнал прикладной химии. 1979.–Т.52, №11. – С. 1680-1687.
24. Майков В.П., О роли добавок в твердении шлакопортландцемента и шлаковых минералов [Текст] / В.П. Майков, Б.В. Гусев, В.Б. Ратинов/ Журнал прикладной химии. – 1976.Т.49, № 3. – С. 470-475.
25. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 343 с.

References

1. Mikhailov V.V. Expanding and straining cements and self-stressed reinforced concrete structures [Text] / V.V. Mikhaylov, S.L. Litver. – Publishing house: M.: Stroyizdat. – 1974. – 312p.
2. Kuznetsova T.V. Alumina cement [Text] / T.V. Kuznetsova, J. Talaber. – M.: Stroyizdat, 1988. – 272 p.
3. Tsilosani Z.N. Shrinkage and Creep of Concrete [Text]. Tbilisi: Metsniereba. – 1979.– 226 p.
4. Minenko E.Yu. Shrinkage and Shrinkage Cracking Resistance of High-Strength Concretes with Organomineral Modifiers [Text]: Ph. D. thesis / E.Yu. Minenko; MGRU. – Penza. 2004. – 130 p.
5. Ramachandran V.S. Additives in concrete. Reference Manual [Text] / V.S. Ramachandran, R.F. Feldman, M.I. Kolepari et al. – M.: Stroyizdat, 1988. – 575 p.
6. R. Physical and chemical properties of sulfated clinkers [Text] / Yu.R. Kriboborodov, S.V. Samchenko // Analytical review of VNIIESM. – М.: 1991. – Series 1. Cement Industry. – 55 p.

7. GOST 24544-81 Concretes. Methods for determination of shrinkage and creep (as amended by N 1) [Text]. – М.: Publishing house of standards. – 1987. – 18 p.
8. GOST 10180-2012 Concretes. Methods for determination of strength by reference samples [Text]. – М.: Standardinform. – 2021. – 31 p.
9. Dobrovolsky I.P. Recycling and utilization of industrial waste of the Chelyabinsk region [Text] / I.P. Dobrovolsky, I.Y. Chernyavky, A.N. Abyzov, Y.E. Kozlov. - Chelyabinsk: ed. "CJSC Chelyabinsk Interdistrict Printing House, 2003. – 256 p.
10. Panfilov M.I. Slag Recycling and Wasteless Technology in Metallurgy [Text] / M.I. Panfilov, Y.Shkolnik, N.V. Orininsky, V.A. Kolomiets, Y.V. Sorokin, A.A. Grabeklis – М.: Metallurgy, 1987. – 238 p.
11. Romanova I.P. The use of metallurgical industry waste in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress [Text] / I.P. Romanova, O.B. Begunov / Territory of Science. – М., 2016. – № 2. – P. 94-99.
12. Usherov-Marshak A.V. Granulated blast furnace slag [Text] / Chemical and mineral additives in concrete. – Kharkiv: Colorit, 2005. – P. 84-96.
13. Chen, Y.L. The Composite Effect of Mineral Additives to the Performances of Concrete / Y.L. Chen, W.L. You // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. – P. 289-301.
14. Kuznetsova T.V. Active mineral additives and their application [Text] / T.V. Kuznetsova, Z.B. Entin, B.S. Albets, L.Y. Goldstein, N.V. Sokolova, E.T. Yashina. – М.: Cement, 1981. – №10. – P. 6-8.
15. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. – P. 144 - 170.
16. Dvorkin L.I. Construction materials from industrial wastes [Text] / L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin. – Moscow: Phoenix, 2007. – 368p.
17. Romanov P.S., Romanov I.P. Recycling wastes of metallurgical industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress [Text] / P.S. Romanov, I.P. Romanov. -М.: Synergy, 2016. – № 2. – P. 94-99.
18. Satarin V.I., Slag-portland cement. Main report. VI International Congress on Chemistry of Cement [Text]. М. – 1974. – 32 p.
19. V.I. Satarin, Y.M. Syrkin, M.B. Frenkel / М: Stroyizdat. – 1970. – 152 p.
20. Syrkin Ya.M., Chemistry and Technology of Portland Slag Cement [Text] / Y.M. Syrkin, M.B. Frenkel / Kiev: Gosstroyizdat USSR. – 1962. – 179 p.
21. Royak S.M., Special cements [Text] / S.M. Royak, G.S. Royak / М.: Stroyizdat. – 1983. – 279 p.
22. Dmitriev A.M. Theoretical and economic basis of multicomponent cements technology / A.M. Dmitriev, V.V. Timashev / Cement. – 1981. №10. – P.1-4.
23. Syrkin Y.M. et al. Mineral composition and properties of effective hardening intensifier additive for Portland slag cement [Text] // Journal of Applied Chemistry. 1979. –V.52, №11. – P. 1680-1687.
24. Maykov V.P. On the role of additives in hardening of Portland slag cement and slag minerals [Text] / V.P. Maykov, B.V. Gusev, V.B. Ratinov/ Journal of applied chemistry. – 1976. V.49, № 3. – P. 470-475.
25. Sheikin A.E. Structure and Properties of Cement Concretes [Text] / A.E. Sheikin, Y.V. Chekhovskiy, M.I. Brusser. – М.: Stroyizdat, 1979. – 343 p.

Мясникова А.А.,

к.т.н., доцент кафедры Архитектура, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Myasnikova A.A.,

Ph.D., as. professor of the Department of Architecture, South Urals State University, с. Chelyabinsk, Russia. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Поступила в редакцию 29.09.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ СУЛЬФОМАГНЕЗИАЛЬНОГО КАМНЯ

Важным исследованием является процесс изучения свойства влияния различных затворителей и их плотности на фазовый состав, структуру и свойства разрабатываемого магнезиального материала. Известно небольшое количество затворителей, которыми затворяют магнезиальные материалы: бишофит технический (хлорид магния) и эпсомит (сульфат магния). Проведены большие исследования о влиянии плотности этих затворителей на процесс гидратации, твердения и формирования структуры магнезиального камня, однако часть вопроса остается малоизученным. Причем сульфатный затворитель практически не изучали, т.к. его введение в состав вяжущего приводит к заметному снижению прочности в сравнении с хлоридом магния. Однако данный затворитель помогает существенно снизить гигроскопичность магнезиальных материалов, а при правильном и целенаправленном регулировании свойств формирующего магнезиального камня также позволит контролировать его водопоглощение и в некоторой степени прочность. В ходе проведения научных исследований изучали такие свойства, как гигроскопичность, водопоглощение, водостойкость по коэффициенту размягчения и прочность при сжатии образцов в марочном возрасте (28 суток). Плотность затворителя сульфата магния контролировали с помощью ареометра и варьировали ее через каждые 0,02 в интервале от 1,14 до 1,22 г/см³. В качестве вяжущего вещества использовали порошок каустический магнезитовый, являющийся побочным продуктом промышленного производства. После изучения физико-механических и физических свойств магнезиального камня также провели исследования фазового состава с помощью рентгенофазового анализа и структуру с помощью электронного растрового микроскопа. Анализируя полученные в ходе исследований данные пришли к выводу о том, что оптимальной плотностью затворителя является 1,88...1,22 г/см³, при этом его структура формируется преимущественно из гидроксида магния и гидрооксисульфата пластинчатого строения. Кроме того, при этой плотности можно также регулировать физические свойства сульфомагнезиального камня.

Ключевые слова: сульфомагнезиальный камень, затворитель, фазовый состав и структура.

Zimich V.V.

RESEARCH OF THE PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES OF SULFOMAGNESIUM STONE

An important research is the process of studying the properties of the influence of various sealers and their density on the phase composition, structure and properties of the developed magnesia material. A small number of sealers are known, with which magnesian materials are closed: technical bischofite (magnesium chloride) and epsomite (magnesium sulfate). Large studies have been carried out on the effect of the density of these sealers on the process of hydration, hardening and the formation of the structure of magnesia stone, however, part of the issue remains poorly understood. Moreover, the sulfate consolidator was practically not studied, because its introduction into the composition of the binder leads to a noticeable decrease in strength in comparison with magnesium chloride. However, this consolidator helps to significantly reduce the

hygroscopicity of magnesia materials, and with proper and purposeful regulation of the properties of the forming magnesia stone, it will also allow controlling its water absorption and, to some extent, strength. In the course of scientific research, such properties as hygroscopicity, water absorption, water resistance in terms of softening coefficient and compressive strength of samples at grade age (28 days) were studied. The density of the magnesium sulfate solvent was controlled using a hydrometer and varied every 0.02 in the range from 1.14 to 1.22 g/cm³. Caustic magnesite powder, which is a by-product of industrial production, was used as a binder. After studying the physico-mechanical and physical properties of the magnesian stone, we also studied the phase composition using X-ray phase analysis and the structure using an electron scanning microscope. Analyzing the data obtained during the research, we came to the conclusion that the optimal density of the sealer is 1.88 ... 1.22 g / cm³, while its structure is formed mainly from magnesium hydroxide and hydroxysulfate of a lamellar structure. In addition, at this density, the physical properties of the sulfomagnesian stone can also be controlled.

Keywords: *sulfomagnesian stone, sealer, absorbent composition and structure.*

В настоящее время рынок строительных материалов составляют в основном бетонные и железобетонные изделия, требующие большого расхода цемента, дефицит которого в строительстве постоянно возрастает. Для снижения дефицита цемента, удешевления строительных изделий и снижения затрат на производство теплоизоляционных материалов можно заменить цемент более дешёвым, в то же время не уступающим по своим качественным характеристикам, магнезиальным вяжущим.

Магнезиальные материалы изготавливают путём затворения магнезиального вяжущего водным раствором хлорида магния (бишофитом техническим) или сульфата магния (эпсомитом). Особое значение при формировании необходимой структуры магнезиального камня и свойств получаемых изделий приобретает выбор того или иного вида затворителя.

Исследования [1] показали, что сульфомагнезиальный камень имеет меньшую гигроскопичность по сравнению с хлормагнезиальным камнем. Гигроскопичность изделий на основе хлормагнезиального вяжущего составляет 7%, в то время как гигроскопичность сульфомагнезиального камня не превышает 2,5% [3]. Поэтому хлормагнезиальное вяжущее не может быть использовано при производстве теплоизоляционных, стеновых и отделочных изделий.

Учитывая это, в Западной Европе (Австрия, Германия) выпускают теплоизоляционные плиты «Гераклит» на сульфомагнезиальном вяжущем. А такие изделия имеют в два раза меньшую прочность в сравнении с хлормагнезиальными. Причины пониженной прочности сульфомагнезиальных материалов до настоящего времени не выявлены.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния сульфатного затворителя различной плотности на фазовый состав, структуру и свойства магнезиального камня.

Для этого:

- определялась рабочая плотность сульфатного затворителя, при которой материал будет иметь наилучшие показатели свойств;
- изучалось влияние фазового состава и структуры камня на прочность, водостойкость и гигроскопичность материала.

Для проведения эксперимента в качестве магнезиального вяжущего вещества использовали Саткинский порошок магнезитовый каустический ПМК-75, соответствующий ГОСТ 1216-87. Затворителем служил водный раствор сульфата магния MgO₄·7H₂O, соответствующий ГОСТ 4523-77, с плотностями 1,14; 1,16; 1,18; 1,20 и 1,22 г/см³. Для проведения исследования были изготовлены образцы-балочки 4×4×16 см из теста нормальной густоты, которые твердели в нормальных условиях при температуре 20...25°С. Результаты, полученные при исследовании образцов, сведены в табл. 1.

Из полученных данных следует, что свойства магнезиального камня существенно зависят от плотности раствора MgSO₄. Вероятно, изменения физико-механических характеристик получаемого сульфомагнезиального камня, связаны с разным фазовым составом продуктов гидратации.

Для уточнения этого предположения были проведены рентгенофазовый анализ и электронная микроскопия полученных образцов магнезиального камня (рисунки 1а, 1б).

Из данных рентгенофазового анализа следует, что основными фазами, составляющими камень, независимо от плотности используемого затворителя, являются:

Таблица 1

Свойства магнезиального камня в зависимости от плотности затворителя

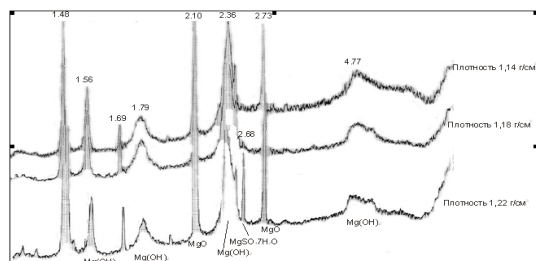
| Плотность водного Раствора сульфата магния | Условия хранения образцов | Гигроскопичность, % по массе | Водопоглощение, % по массе | Коэффициент размягчения | Прочность при сжатии в 28 сутки, МПа |
|--|---------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| $\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$ | Воздушные | 3,4 | 6,7 | 0,4 | 17,5 |
| $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$ | | 3,0 | 5,6 | 0,4 | 20,8 |
| $\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$ | | 1,27 | 4,8 | 0,55 | 24,4 |
| $\rho = 1,20 \text{ г/см}^3$ | | 1,08 | 2,9 | 0,65 | 28,4 |
| $\rho = 1,22 \text{ г/см}^3$ | | 1,06 | 2,4 | 0,67 | 32,7 |

– $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – гидроксид магния с $d/n=4,77$; $2,365$; $1,974$; $1,573$; $1,373 \text{ \AA}$;
 – $3\text{MgO}\cdot 2\text{MgSO}_4\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ – гидроокисульфат магния с $d/n = 5.06 \text{ \AA}$;
 – $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – сернокислый магний – затворитель с $d/n = 5,35$; $4,21$; $2,68 \text{ \AA}$;
 – MgO – оксид магния с $d/n = 2.431$; $2,108$; $1,485 \text{ \AA}$.

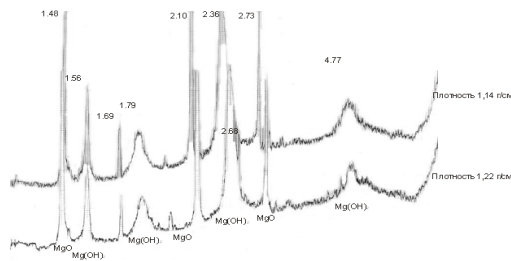
Размытые пики отражений гидраксида магния (рис. 1а) в области с $d/n = 4,77$; $1,974 \text{ \AA}$ говорят о его слабой закристаллизованности до 28 суток твердения. К 90 суткам твердения (рис. 1б) закристаллизованность магнезиального камня несколько повышается. По отра-

жению $d/n=2,365 \text{ \AA}$ с $hkl (1-0-1)$ можно судить о том, что кристаллизация гидроксида магния происходит в одной плоскости и он присутствует в камне в виде пластин. Сформированный такими кристаллами - пластинами сульфомагнезиальный камень имеет максимальные значения водопоглощения, гигроскопичности и низкую прочность (табл. 1).

Камень, полученный затворением магнезиального вяжущего водными растворами сульфата магния высоких плотностей $1,18...1,22 \text{ г/см}^3$, имеет более закристаллизованную структуру, состоящую из гидроокисульфатов и некоторого количества гидроксида магния.



а) в возрасте 28 суток



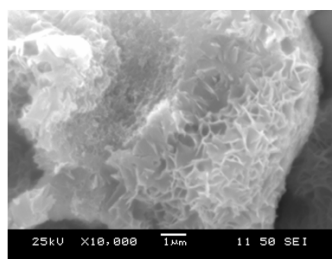
б) в возрасте 90 суток

Рис. 1. Рентгенограмма магнезиального камня, полученного затворением MgSO_4 $\rho=1,14$; $1,18$; $1,20 \text{ г/см}^3$

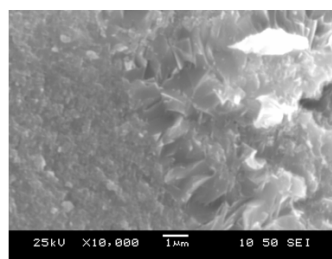
Исследования сульфомагнезиального камня с помощью электронной микроскопии (рис. 2а, 2б, 2в) показали, что сульфомагнезиальный камень, затворённый водным раствором $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ плотностью $1,14 \text{ г/см}^3$ в возрасте 28 суток имеет структуру, состоящую из сростков тончайших пластинок гидроксида магния, напоминающих соты, среди которых сохранились кристаллы пе-

риклаза. Это говорит о том, что низкая водостойкость и прочность, а также повышенная гигроскопичность сульфомагнезиального камня, составляющая 3,4%, связана с высокой пористостью исследуемой структуры и преобладанием в ней слабозакристаллизованного гидроксида магния.

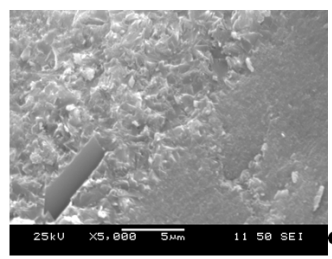
При повышенных плотностях затворителя $1,18...1,22 \text{ г/см}^3$ структура магнезиального



а) $\rho=1,14 \text{ г/см}^3$



б) $\rho=1,18 \text{ г/см}^3$



в) $\rho=1,20 \text{ г/см}^3$

Рис. 2. Поверхность скола магнезиального камня, затворённого MgSO_4 в возрасте 28 суток

камня представлена в основном плотными сростками гидрооксисульфата магния. На поверхностях сколов образцов отмечено пониженное содержание гидроксида магния, что приводит к образованию камня с более плотной и прочной структурой.

Выводы:

– Фазовый состав, структура и свойства формирующегося сульфомагнезиального камня зависят от плотности используемого затворителя.

– Структура камня, полученного затворением магнезиального вяжущего водным раствором сульфата магния плотностью менее

1,18г/см³, формируется в основном гидроксидом магния пластинчатого строения, что влечёт за собой повышение водопоглощения и снижение прочности.

– Сульфомагнезиальный камень, затворённый водным раствором эпсомита плотности 1,22г/см³, состоит из различных видов гидрооксисульфата магния, способствующих повышению прочности и снижению гигроскопичности.

– Для улучшения свойств магнезиального камня необходимо использовать сульфатный затворитель с плотностью выше 1,18г/см³.

Литература

1. Адомавичутте О. Б., Яницкий И. В., Вектарис Б. И. // Журнал прикладной химии. - №64, 1968.: О твердении магнезиального цемента. – с 2551...2554
2. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Уч. пособие. – М.: Высш. школа, 1981.- 335 с.
3. Элинз М. П. Цемент Сореля и соли // Строительные материалы. - №1, 1937.

References

1. Adomavichutte O. B., YAnickij I. V., Vektaris B. I. // Zhurnal prikladnoj himii [Journal of Applied Chemistry]. - №64, 1968.: O tverdenii magnezial'nogo cementa. – s 2551...2554
2. Gorshkov V. S., Timashev V. V., Savelev V. G. Metody fiziko-himicheskogo analiza vyazhushchih veshchestv [Methods of physical and chemical analysis of binders]: Uch. posobie. – M.: Vyssh. shkola, 1981.- 335 s.
3. Elinz M. P. Cement Sorelya i soli [Sorel cement and salts] // Stroitel'nye materialy. - №1, 1937.

Зимич В. В.,

к. т. н., доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. E-mail: stroyingener@yandex.ru

Zimich V. V.,

PhD in construction, docent, South Ural State University, c. Chelyabinsk. E-mail: stroy-ingener@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.12.2022