

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety
Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 24(76) – 2022

Основан в 1996 году.
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (КФУ им. В.И. Вернадского), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

Главный редактор

Федоркин Сергей Иванович, советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:

Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Николенко Илья Викторович, д.т.н., проф.
(КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:

Абдулгазис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)

Бакаева Н.В., д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);

Бекиров Э.А., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Беспалов В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

Ветрова Н.М., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая
безопасность»;

Графкина М.В., д.т.н., проф. (МГМУ, Москва);

Гузнецков В.Н., д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва);

Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Зайцев О.Н., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное
обеспечение»;

Кукунаев В.С., советник РААСН, д.т.н., с.н.с.
(КФУ им.В.И. Вернадского, Симферополь);

Маилян Д.Р., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ,
Ростов-на-Дону);

Нагаева З.С., член-корреспондент РААСН, д.арх., проф. –
руководитель раздела «Градостроительство»

Несветаев Г.В., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ,
Ростов-на-Дону);

Пищулина В.В., д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Сергейчук О.В., д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);

Серпокрылов Н.С., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Толстой М.Ю., к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркутск);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Чемодуров В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Чеботарев В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;

Шеина С.Г., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ,
Ростов-на-Дону);

Щербаков В.И., д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж)

Федосов С.В., академик РААСН, д.т.н., проф. (МГСУ,
Москва)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 24(76) – 2022

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 2 от 12.04.2022)

Координатор выпуска: *И.В. Николенко*
Верстка: *Г.Р. Биленко*

Редакция Института «Академия строительства и
архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им.
В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 200,
e-mail: rio@narps.ru

Подписан в печать 22.04.2022.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 10,4.
Тираж 100 экз.

Издатель: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»

<http://cfuv.ru>, io_cfu@mail.ru

(3652) 60-84-98,

295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект
Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»

295000, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар
Ленина, 5/7

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

© Академия строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

Живица В.В., Эрайзер А.А. ПРИНЦИПЫ 3D РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ АНТИЧНОГО ПЕРИОДА НА ПРИМЕРЕ ГРЕКО-СКИФСКОГО ГОРОДИЩА КАЛОС ЛИМЕН В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ	7
Суворов А.И., Волкова Н.Н., Живица В.В. ОБ ОБРАЗНОМ НАПРАВЛЕНИИ СОВРЕМЕННОЙ КРЫМСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ	19

Раздел 2. Строительство

Перминов Д.А. Т-ОБРАЗНЫЕ УЗЛЫ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ	31
Синцов А.В., Данченко Н.В. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНОЙ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ РАМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МОРСКОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ	39
Енджиевская И.Г., Галкин М.А., Демина А.В., Клиндух Н.Ю., Гофман О.В. МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	45
Когай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И. ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО- АРМИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ОТ ВИДА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ.	57
Шаленный В.Т., Щегула Р.В. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С ВКЛАДЫШАМИ ИЗ КАРТОНА, ПЛАСТМАССЫ И МЕСТНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	63

Раздел 3. Инженерное обеспечение

Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОЕК	71
Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО СОРБЦИОННОГО АППАРАТА	85
Конопацкий Е.В., Бездичный А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТЕЛ В ТОЧЕЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ	97
Середа В.Г., Бут А.Ю. О ТРАНСФОРМАЦИИ ЛИНИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЧАСТНЫХ СЛУЧАЯХ	107

Раздел 4. Экологическая безопасность

Иванкова Т.В., Фесенко Л.Н., Бандурин М.А.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
В БАССЕЙНЕ МАЛЫХ РЕК 115

Список авторов 126

Руководство для авторов 127

CONTENT

Section 1. Town planning

Zhivisa V.V., Arizer A.A. PRINCIPLES OF 3D RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF CULTURAL HERITAGE OF THE ANCIENT PERIOD ON THE EXAMPLE OF THE GREEK-SCYTHIAN CITY OF KALOS LIMEN OF THE REPUBLIC OF CRIMEA	7
Suvorov A.I., Volkova N.N., Zhivitsa V.V. ABOUT THE FIGURATIVE DIRECTION OF MODERN CRIMEAN ARCHITECTURE	19

Section 2. Construction

Perminov D.A. T-SHAPED NODES FROM BENT PROFILES OF RECTANGULAR SECTION	31
Sintsov A.V., Danchenko N.V. FEATURES OF THE ELEMENTS OF THE STEEL ENLARGING FRAME FOR THE TRANSPORTATION OF THE OFFSHORE STEEL PLATFORM	39
Endzhievskaya I.G., Galkin M.A., Demina A.V., Klindukh N.Yu., Gofman O.V. MINERAL POWDER BASED ON INDUSTRY SOLID WASTE	45
Kogay E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I. DEPENDENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DISPERSED-REINFORCED FINE-GRAINED CONCRETE ON THE TYPE OF LIMESTONE AGGREGATES.	57
Shalenny V.T., Shchegula R.V. COMPARATIVE EFFICIENCY OF THE CONSTRUCTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FLOORS WITH INSERTS MADE OF CARDBOARD, PLASTIC AND LOCAL STONE MATERIALS	63

Section 3. Engineering Support

Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Kotovsky A.E. THE FOUNDATION OF RECIRCULATION PARAMETERS IN SYSTEMS CAR WASH WATER SUPPLY	71
Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF MULTI-PURPOSE SORPTION APPARATUS	85
Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A. MODELING OF CHANNEL SURFACES AND SOLIDS IN THE POINT CALCULUS	97
Sereda V.G., But A.Yu. ON TRANSFORMATION OF CONIC SURFACES INTERCEPTION LINES IN SPECIAL CASES	107

Section 4. Environmental safety

T.V. Ivankova, L.N. Fesenko, M.A. Bandurin

ENVIRONMENTAL SAFETY ENSURING OF CONSTRUCTION PROJECTS IN BASINS
OF SMALL RIVERS 115

List of authors 126

Authors Guide 127

Раздел 1. Градостроительство

УДК: 719, 721.021

ПРИНЦИПЫ 3D РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ АНТИЧНОГО ПЕРИОДА НА ПРИМЕРЕ ГРЕКО-СКИФСКОГО ГОРОДИЩА КАЛОС ЛИМЕН В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Живица¹ В.В., Эрайзер² А.А.

Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: ²naten.anastasia@gmail.com

Аннотация. В статье подобраны и проанализированы научные литературные источники, архивные данные и отчёты о полевых работах археологов, касающихся вопросов изучения, сохранения и 3D реконструкции объектов культурного наследия. Осуществлён анализ истории развития и современного состояния греко-скифского античного городища Калос Лимен в пгт Черноморское в Республике Крым. Проведён анализ мирового опыта 3D реконструкции археологических памятников, на основании которого сформулированы принципы 3D реконструкции и даны практические рекомендации по их применению. Предложена экспериментальная 3D модель части городища Калос Лимен.

Предмет исследования: 3D реконструкция объектов культурного наследия (руинированных памятников архитектуры и градостроительства).

Материалы и методы: решение задач исследования осуществлялось при помощи анализа научных, литературных и архивных источников; интернет поиска и анализа примеров 3D реконструкции объектов культурного наследия. При осуществлении 3D реконструкции используются экспериментальное моделирование и макетирование.

Результаты: На основании анализа научных литературных трудов по теме исследования, а также существующего опыта 3D реконструкции архитектурных памятников, сформулированы принципы и рекомендации для осуществления визуализации руинированного архитектурно-градостроительного памятника Калос Лимен. 3D модель части памятника создана на основании анализа градостроительного развития городища и существующих вариантов 3D реконструкции памятника. В дальнейших исследованиях авторы продолжат разработку данной темы для уточнения модели, а также рассмотрят варианты 3D реконструкции греко-скифского городища Калос Лимен по периодам существования объекта.

Выводы: Итогом исследований стал ряд принципов и рекомендаций, направленных на создание с помощью поэтапной работы в профессиональных архитектурных программах 3D моделей объектов культурного наследия. Реализация и использование 3D моделей архитектурных памятников в деятельности музеев, туристических порталах, рекламных видеороликах, TV-программах может способствовать популяризации отдельных объектов культурного наследия и региона в целом, привлечению инвесторов, туристов и всех тех, кто интересуется вопросами сохранения объектов культурного наследия.

Ключевые слова: 3D реконструкция, объект культурного наследия, памятник архитектуры, памятник археологии, античное городище, Калос Лимен.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о сохранении памятников историко-культурного наследия России и всего мира, всё чаще поднимался в последние 100 лет, а в настоящее время чрезвычайно актуален. Сооружения были подвержены воздействию различного вида природных катаклизмов, страдали от войн и следовавших за ними переделов территорий, смены режимов власти, религий и мировоззрений. В настоящее время памятники по-прежнему находятся под угрозой деформации и разрушения не только из-за внутренних факторов (возраста конструкций, расположения на активном рельефе пр.), но и из-за многих других, индивидуальных для разных регионов или стран внешних факторов – недостаточное финансирование, локальные конфликты, политические и экономические факторы, рост производства, неэффективная градостроительная политика и прочие.

Таким образом с каждым годом количество уникальных объектов культурного наследия

уменьшается, народы и страны теряют ценный невозобновляемый ресурс, который можно было бы использовать не только в туристической отрасли, развивая экономику, но и в первую очередь – в сфере образования и патриотического воспитания.

В этой связи 3D-реконструкции историко-культурных сооружений может рассматриваться как один из приёмов решения проблем музеефикации. Так можно не только зафиксировать современное состояние архитектурных и градостроительных объектов для последующих поколений, но и смоделировать вариации различных этапов существования памятника для научно-исследовательских и образовательных целей [30].

Сегодня осознан высочайший потенциал памятников архитектуры и градостроительства, а также необходимость сохранения, популяризации и современного использования объектов культурного наследия как одного из важнейших ресурсов экономики. Полная или частичная утрата таких объектов приведёт к духовному оскудению и разрывам исторической памяти населения. [31]. Для многих объектов культурного наследия не

разработаны проекты охранных зон, в связи с чем территории вокруг памятников застраиваются, нарушаются визуальные связи, разрушается исторически сформированный ландшафт.

Цель исследования: разработать принципы и рекомендации по 3D реконструкции объектов культурного наследия (руинированных памятников архитектуры и градостроительства).

Задачи исследования:

- изучить научную литературу, архивные данные, исторические справки, отчёты об археологических исследованиях;
- изучить существующие методики 3D-реконструкции объектов культурного наследия;
- сформулировать принципы и рекомендации 3D-реконструкции объектов культурного наследия прибрежных территорий приморских населенных пунктов на примере историко-археологического музея-заповедника Калос Лимен;
- проследить градостроительное развитие античного греко-скифского поселения Калос-Лимен;
- предложить экспериментальную 3D модель части городища Калос-Лимен.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Фундаментальными исследованиями греко-скифского городища Калос-Лимен занимались на разных периодах существования поселения: А.И. Шмаков (1837-1838 гг.) [1], Л.А. Моисеев и П.Н. Шульц (кон. 30-х до нач. 40-х гг. XX в.) [2-8], М.А. Наливкина, Г.Д. Смирнов (евпаторийский отряд Тавро-Скифской экспедиции в 1948, 1950 гг.) [9-11], М.Л. Бернар (отряд Советско-Польской экспедиции 1959 г.) [12], А.Н. Шеглов (тарханкутская экспедиция 1962-1966) [13-15], В.А. Кутайсов, В.Б. Уженцев (с 1988 г. по 2015 г.) [16-18].

Итогом этих работ было решение вопросов хронологии, стратиграфии, раскрыты отдельные жилые и хозяйственные постройки, установлен характер планировочной структуры эллинистического Калос Лимена, назначены охранные зоны и другое. В настоящее время значительная часть города изучена не в полной мере. Однако, даже меньшая открытая часть дала ценные материалы по истории Крыма.

Вопросы 3D реконструкции с использованием BIM технологий и иных видов компьютерных программ по воссозданию объектов культурного наследия рассматривают К.Б. Косенкова [19], Л.И. Бородкин, Д.И. Жеребятъев [20], В.А. Горончаровского, Ю.А. Виноградова, В.Б. Мартирова, С.В. Швембергер [21], И.Н. Рудов, Н.О. Пиков [22].

Анализ публикаций свидетельствует о том, что вопрос 3D реконструкции объектов культурного наследия в границах прибрежной полосы чрезвычайно актуален и должен быть изучаем и обсуждаем специалистами в разных сферах

деятельности (градостроителями, архитекторами, историками, инженерами, технологами и т.д.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся темы исследования, сделаны выводы. В процессе подбора материалов по теме публикации и последующего анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии. При осуществлении 3D реконструкции греко-скифского городища Калос Лимен используются экспериментальное моделирование и макетирование в программах: ArhiCAD и Lumion.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Объектами культурного наследия всегда дорожили, ими гордились местные жители, изучали специалисты исторического и архитектурного профилей, посещали туристы. Поэтому сохранение архитектурного наследия – важная задача современного государства, народа, общества. Сегодня в стратегических целях развития Российской Федерации, сохранение и популяризация культурного наследия является одним из главных приоритетов социальных и градостроительных программ, как необходимой составляющей устойчивого развития общества [27]. В условиях глобальной урбанизации, градостроительные нормативы зачастую нарушаются. При отсутствии историко-архитектурного опорного плана и утверждённых зон охраны археологических памятников, города могут утратить не только уникальные памятники – материальные свидетельства проживания на крымской территории древних народов, но и потерять архитектурно-градостроительную индивидуальность города, региона, государства в целом [28].

Довольно часто остатки древних сооружений находятся непосредственно на городских территориях, соседствуя с жилыми кварталами и объектами инфраструктуры, или находятся под ними. В этой связи, а также по ряду других внешних и внутренних факторов, музеефикация подобных объектов зачастую затруднительна или невозможна [23].

Поэтому метод 3D макетирования, как средство сохранения и популяризации объектов культурного наследия (прежде всего утраченных или значительно руинированных) приобретает всё большую популярность. Виртуальные и объёмные 3D модели используют в музейных презентациях, при создании документальных исторических фильмов, в качестве визуализации аутентичного вида памятника архитектуры и т.п. Также сохранение объекта культурного наследия в качестве 3D модели часто может быть

единственным способом сохранения информации о памятнике. Изучение археологических объектов влечёт за собой нарушение целостности окружающей памятник ландшафтной среды, сформированной на протяжении столетий. В этой связи объект изучения археологов попадает под негативное влияние разрушающих природных и антропогенных факторов (кислотные дожди, вибрационное воздействие, нарушение структуры почв, в которых находится памятник и пр.). Таким образом, изучение неизбежно влечёт за собой риск ускоренной деформации и разрушения. Виртуальная 3D реконструкция, смоделированная в момент открытия раскопа памятника, сохранит вид памятника в наилучшей сохранности. Впоследствии такая модель может быть применена не только в качестве образовательного и популяционного материала, но и как наглядное пособие для уточнения научных разработок по изучению объекта археологии [29].

В свою очередь виртуальная реконструкция объектов культурного наследия должна базироваться на научно-исследовательской работе, подборе архивных чертежей и аналогов. Все решения по конструктивной системе, архитектурно-художественных приёмах, использованию архитектурных деталей, орнаментов и пр. архитектурных элементов должно быть научно обосновано и подтверждено исследованиями. Поэтому для 3D реконструкции руинированных архитектурно-градостроительных памятников античного периода, по которым не сохранились первоначальные чертежи, фотографические данные, необходима разработка методологии, которая поможет выработать алгоритм действий по 3D моделированию с учётом особенностей и индивидуальных характеристик каждого памятника.

Также при реализации 3D модели, как итогового, завершающего этапа исследования какого-либо объекта, огромное значение имеет качество

визуализации. Ценным инструментом программного обеспечения является возможность выбора подачи графики: элементам реконструируемых объектов могут быть заданы любые текстуры и характеристики. Это даёт возможность более детального пошагового построения, например, отображения различных стадий строительства или этапов существования памятника [29].

3D моделирование позволяет разработчику в AutoCAD, ArhiCAD, 3D Max и других программах создать в реальном времени интерактивную реконструкцию памятника архитектуры и градостроительства. Помимо самой 3D модели, можно создать ряд дополнений: смоделировать особенности формирования и развития объекта, разместить дополнительную справочную информацию и т.д. [30].

Попытки графической реконструкции археологических объектов Северного Причерноморья предпринимались с послевоенных времен. Их выполняли, в основном, археологи, историки – С.Д. Крыжицкий, А.Н. Щеглов, И.А. Антонова (с помощью художника А.Ф. Снежкиной). Специалисты, занимающиеся изучением того или иного объекта, использовали виртуальную реконструкцию, как вспомогательный инструмент своего исторического исследования и аналитической работы [31].

Рассмотрим несколько примеров, демонстрирующих возможности 3D моделирования.

Первый пример – один из международных проектов виртуальной лаборатории всемирного наследия (Virtual World Heritage Laboratory, University of Virginia), представляющий собой виртуальную реконструкцию Древнего Рима «Rome Reborn» – Возрожденный Рим (рис. 1). Данная модель представляет собой цифровую карту местности, охватывающую 250 детализированных и 6750 схематических построек древнего города [31].



Рис. 1. Римский форум (слева), Ресурс Google Earth. Колизей (справа)
Fig. 1. The Roman Forum (left); Google Earth resource. Colosseum (right)

Проект является успешным примером популяризации культурного наследия Италии, так как созданная модель была импортирована в ресурс Google Earth, и является общедоступной для всех пользователей сети «Интернет».

Второй пример – виртуальная 3D реконструкция городища Херсонеса Таврического (г. Севастополь).

Данный проект охватывает все строения музейного комплекса. Создание моделей осуществлялось на основании научных исследований. Также применялся метод аналогий для тех зданий и сооружений, сохранность которых не позволяет восстановить их аутентичный внешний вид по сохранившимся фрагментам. (рис. 3) [29].



Рис. 2. «Пещерный храм» в III квартале. Процесс создания 3D реконструкции по чертежу (слева); процесс создания 3D реконструкции одноэтажной базилики, продольный разрез (справа)
Fig. 2. "Cave temple" in the III quarter. The process of creating 3D reconstruction according to the drawing (left); the process of creating a 3D reconstruction of a one-story basilica, longitudinal section (right)

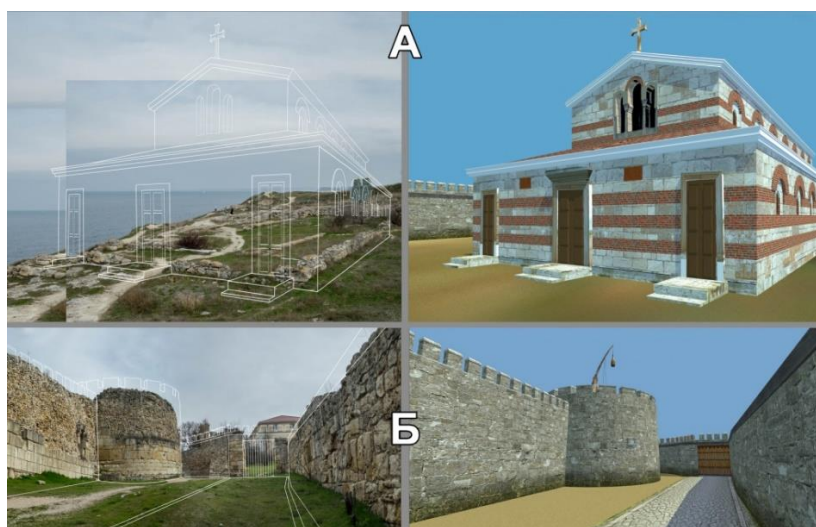


Рис. 3. Прорисовка контуров реконструируемого объекта на фотографии (слева); Реконструированный объект в том же ракурсе (справа). А – Восточная базилика на площади Парфенон. Б – въездные ворота в протейхизму у башни XVII
Fig. 3. Drawing the contours of the reconstructed object in the photo (left); A reconstructed object in the same perspective (right).
 А - The Eastern Basilica on the Parthenon Square. В - entrance gate to proteichism at Tower XVII

Следующий проект 3D реконструкции был выполнен в рамках телевизионного проекта «Возрождение миров – Скифский дворец» (Автор программы, режиссёр: Симоненко Д.; эксперты: Зайцев Ю.П., директор историко-археологического музея заповедника Неаполь скифский, Нагаева З.С., доктор архитектуры, профессор; 3D-моделирование, архитектурный дизайн: Живица В.В., старший преподаватель кафедры градостроительства, Института «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Телеканал: Первый крымский) [Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=MVGpx1U8RY0> – открытый].

С помощью компьютерной графики была осуществлена визуализация гробницы Аргота – героона, которая была построена на территории города Неаполь скифский, за центральными

воротами перед порталом царского дворца (ориентировочно 135-130 гг. до н. э.).

В качестве основного модуля для воссоздания внешнего вида была взята капитель дорического ордера, найденная возле объекта реконструкции и являющаяся его частью. В настоящее время героон представляет собой выбитый в скальной породе бассейн, в который некогда был помещён саркофаг скифского правителя. Используя параметры капители и зная пропорции дорического ордера, можно приблизительно восстановить высотные габариты объекта, диаметр и высоту колонн, а также пропорции фриза, карниза и фронтона. По методу аналогии возможна 3D реконструкция всего внешнего вида сооружения.

В результате проведённой аналитической работы и консультаций с Зайцевым Ю.П., были уточнены пропорции героона и воссоздан предполагаемый внешний вид сооружения (рис. 4).

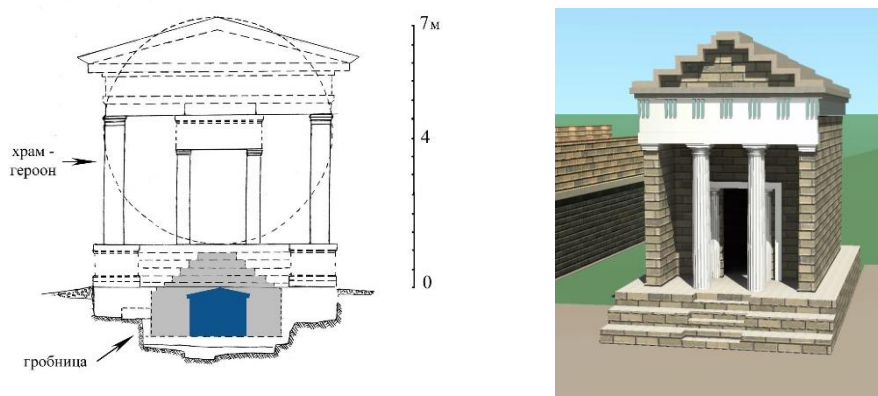


Рис. 4. Героон Аргота. – чертёж, выполненный Зайцевым Ю.П. (слева); 3D реконструкция Живицы В.В. (справа)
Fig. 4. Heroon Argot. – a drawing made by Zaitsev Yu.P. (left); a 3D reconstruction of Zhivitsa V.V. (right)

Конечно же многие параметры, архитектурные детали и конструктивные особенности не удастся восстановить в первоначальном виде, так как осталось слишком много неизвестных: какова была ширина дверного проёма, толщина стены, конструкция крыши, был ли героон украшен какими-либо архитектурными деталями, какие материалы использовались при его строительстве? Но даже в существующем виде, данную 3D модель можно использовать в воссоздании объёмного образа города. Для представления композиционной организации Неаполя скифского и изучения пространственно-ландшафтного развития населённого пункта.

Таким образом методология создания 3D модели объекта культурного наследия выбирается для каждого проекта индивидуально, учитывая желаемый конечный результат, который необходимо получить: перспективное изображение реконструкции в виде статичной иллюстрации или объёмную 3D модель, с которой можно взаимодействовать (поворачивать, создавать траектории движения посетителей, моделировать определённые процессы, влияющие на объект).

На основании проведённых исследований авторами сформулирован ряд принципов и рекомендаций 3D-реконструкции объектов культурного наследия (табл. 1).

Таблица 1. Принципы и рекомендации по 3D-реконструкции объектов культурного наследия
Table 1. Principles and recommendations for 3D reconstruction of cultural heritage sites

Принципы	Рекомендации
1. Принцип исторической достоверности / Принцип визуальной аутентичности материалов, конструкций, архитектурно-художественных решений	Создание 3D модели памятника архитектуры должно базироваться на научных фактах о внешнем виде, материалах, конструктивных особенностях реконструируемого здания или сооружения.
	При создании 3D модели может использоваться метод аналогии. Для зданий и сооружений одного периода, возведённых в одинаковых условиях возможно научно-обоснованное заимствование архитектурных и конструктивных решений.
	В 3D модели необходимо визуально выделять аутентичные фрагменты от добавляемых реконструктором. Компьютерные средства визуализации позволяют назначать этим фрагментам различные текстуры и цвет или маркировать новые включения с помощью условных обозначений.
2. Принцип создания качественной 3D модели	3D реконструкцию памятника архитектуры необходимо создавать в несколько последовательных этапов:
	1. Формирование модели: - Применение технологий 3D сканирования и дальнейшая обработка и редактирование полученной модели объекта. - Применение современных профессиональных программ, позволяющих создавать на основании плоскостных чертежей объёмную модель. Наиболее популярны и распространены следующие программы: ArchiCAD, AutoCAD, SketchUp, 3D Max и др. Примечание: метод 3D сканирования наиболее точный в отношении моделирования зданий или сооружений с утратами и деформациями. В перечисленных во втором пункте программах можно создать лишь грубую модель, но визуализация мелких деталей, утрат, трещин, повреждений и пр., требует значительных трудозатрат и времени.
	2. Редактирование 3D модели и рендеринг в программах для архитектурной визуализации: 3ds Max, Artlantis Studio, Twinmotion, Lumion и др. 3. В зависимости от желаемого конечного результата, могут применяться и другие компьютерные программы, нацеленные на создание более сложных моделей или видео, добавления различных эффектов и пр.

3. Принцип создания ландшафтного окружения	Одной из зон охраны объектов культурного наследия является зона охраняемого культурного ландшафта. Однако в условиях сформированной и постоянно развивающейся городской застройки, её выделение и назначение не всегда возможно. Поэтому создание виртуальной 3D модели – единственный шанс смоделировать предполагаемое ландшафтное окружение памятника, не загромождённое современными постройками, рекламными щитами, парковками автомобилей и пр.
4. Принцип отражения этапов развития объекта культурного наследия	В создании виртуальной 3D модели есть весомое преимущество перед созданием материального, вещественного макета: в компьютерных программах можно смоделировать существование объекта на разных этапах его существования, а также визуализировать влияние тех или иных факторов на развитие или деградацию исследуемого объекта. Эти визуализации можно демонстрировать в качестве последовательных статичных 3D видов, взрыв-схем, видеороликов с объёмными, сменяющимися друг друга архитектурными и градостроительными объектами и т.п. Таким образом создаётся наглядная модели развития и видоизменения объекта археологии в течение определённого периода времени. Данные материалы могут быть полезны как для исследователей памятников, так и для людей, интересующихся историей, архитектурой и градостроительством, стремящихся разобраться в процессах зарождения, развития и упадка древних городов.

Калос Лимен (с греч. – Прекрасная Гавань) – крупнейший античный город Западного Крыма, основанный в IV в. до н.э. греками-ионийцами и сохранявший важнейшее значение как гавань и торгово-ремесленный центр вплоть до первых веков нашей эры. Это один из ценнейших памятников древнегреческой и скифской культуры, о которых в свое время упоминали многие античные и средневековые авторы: Геродот [30], Страбон [31], Флавий Арриан [32] и другие.

Площадь Калос Лимена составляла около 4 га, а вокруг него в пределах 2 км располагались земли

сельскохозяйственного назначения (хора). Земельные наделы города имели около 8,8 га. (рис. 5). На них располагались усадьбы двух типов – круглые жилые башни и дома замкнутого плана с внутренним двором. Одна из таких усадеб была найдена неподалеку от городища, у бухты Ветреной. Это была прямоугольная в плане постройка с центральным двориком, вокруг которого в один или два ряда шли жилые и хозяйственные помещения (рис.6) [24].

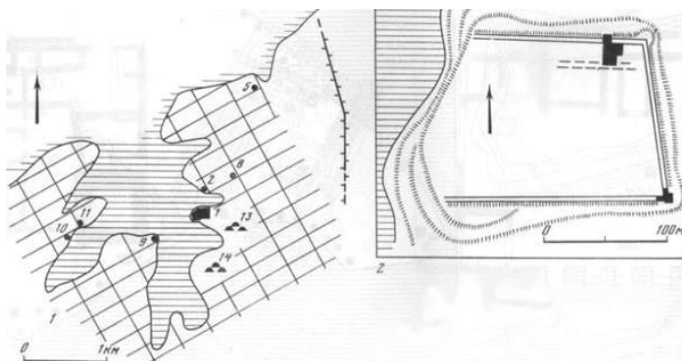


Рис.5. Следы древнего размежевания
Fig.5. Traces of ancient demarcation

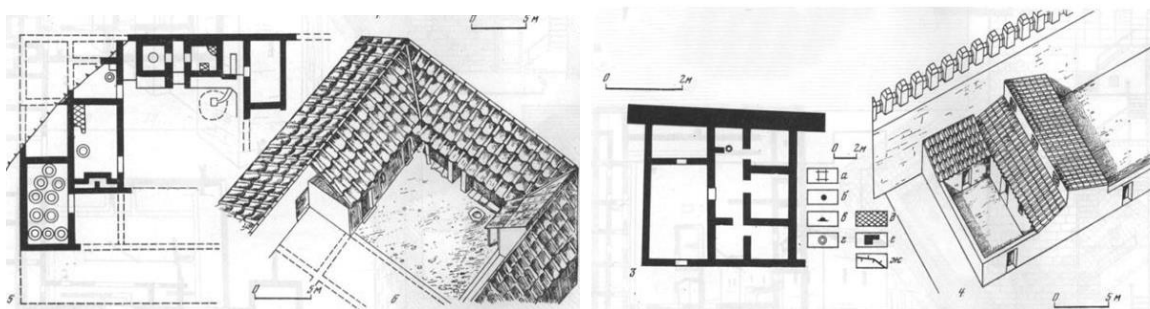


Рис.6. Пример жилого дома в Прекрасной гавани (реконструкция А.Н. Щеглова)
Fig.6. An example of a residential building in a beautiful harbor (reconstruction of A.N. Shcheglov)

Вокруг города в IV веке до н. э. была возведена крепостная стена. Это фортификационное сооружение дополнялось башнями с прямыми

углами. Внутри крепости можно было попасть через ворота (рис. 7).



Рис.7. Северные ворота Калос Лимен
Fig.7. The northern gate of Kalos Limen

За время существования город подвергался частым набегам скифских и сарматских кочевых племён, вследствие чего Калос Лимен постоянно

укреплял фортификационные сооружения (рис. 8). Также была возведена многобашенная цитадель, контролирующая вход в бухту. [28]



Рис.8. Фундаменты сторожевых башен Калос Лимен
Fig.8. Foundations of the Kalos Limen watchtowers

Греки построили свой город по гипподамовой системе, которая предполагала ровные, расположенные перпендикулярно друг другу дороги. Через весь город проходила центральная улица. Однако, после захвата Калос Лимена скифскими племенами, архитектурно-планировочные принципы застройки города изменились – новые улицы пролагались по рельефу, а стены зданий и сооружений часто были кривыми [25].

Под конец IV в. до н. э. город, обратившись за помощью к Херсонесу Таврическому, попадает под сферу его влияния. В III в. до н. э. после очередных нападений кочевников, жители укрепляют город дополнительными фортификационными строениями. Но несмотря на все усилия, скифы стали хозяевами полиса со II в. до н. э. [25].

Дальнейшая судьба крепости связана с внешнеполитической деятельностью Херсонеса Таврического. После того как жители Херсонеса попросили военной помощи у Понтийских царей, Калос Лимен был отвоеван у скифов армией Диофанта. Однако находясь в составе Херсонеса Таврического, он постепенно приходит в упадок.

Достаточно долго археологам не удавалось обнаружить полис, упоминаемый многочисленными путешественниками того времени. Лишь относительно недавно ученые обратили внимание на явно рукотворный холм, оказавшийся 16-и метровой защитной башней. С 1929 года начались систематичные раскопки и изучение памятника. В 1997 году на базе городища Калос-Лимен был создан Историко-археологический музей-заповедник «Калос-Лимен» (рис. 9) [26].



Рис. 9. Рекламный плакат, расположенный на территории Историко-археологического музея-заповедника Калос Лимен. 2D реконструкция возможного внешнего вида фортификационных сооружений (реконструкция А.Н. Щеглова)
Fig. 9. An advertising poster located on the territory of the Historical and Archaeological Museum-Reserve Kalos Limen. 2D reconstruction of the possible appearance of fortifications (reconstruction of A.N. Shcheglov)

Таким образом выделяют несколько этапов существования Калос Лимена:

- 1) в период с IV века до н.э. - конец IV века до н.э. строительство и развитие города греками-ионийцами;
- 2) в период с конца IV века до н.э. II в до н.э. Калос Лимен под влиянием Херсонеса Таврического;
- 3) II век до н.э. Калос Лимен завоёван скифскими племенами и становится одним из стратегически важных портов Скифского государства;
- 4) конец II века до н.э. – начало I века до н. э. Калос Лимен отвоёван греками под руководством полководца Диофанта;
- 5) середина I века до н. э. – конец I века до н. э. Калос Лимен вновь попадает под власть скифов;
- 6) в конце I века до н. э. Калос Лимен уничтожен сарматскими племенами [25].

На основании проведённого в статье анализа, а также руководствуясь приведёнными выше 2D реконструкциями, была разработана экспериментальная 3D модель части городища Калос Лимена. С помощью компьютерной графики воссоздан предполагаемый внешний вид крепостных стен и башен (рис. 10).

Визуализация выполнена таким образом, чтобы показать существующие фрагменты стен максимально отобразив аутентичный материал и конструкцию каменной кладки. Все восстанавливаемые фрагменты зданий и сооружений выполнены в виде полупрозрачных проволочных конструкций. Таким образом зритель может видеть внешний вид восстановленной крепости, но в то же время визуально отделять реально существующую кладку стен от предлагаемой экспериментальной 3D модели.



Рис. 10. Экспериментальная виртуальная 3D реконструкция части историко-археологического музея-заповедника Калос Лимен
Fig. 10. Experimental virtual 3D reconstruction of a part of the Historical and Archaeological museum-reserve Kalos Limen

Данная модель создана по существующим архитектурно-градостроительным фрагментам без учёта строительной периодизации. Однако, возможности компьютерной визуализации предполагают моделирование объекта реконструкции по отдельно взятым периодам существования городища. Такая модель может наглядно показать все этапы существования памятника: последовательные периоды развития и деградации архитектурно-градостроительной культуры, а также упадок Калос Лимена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа научных литературных трудов по теме исследования, а также существующего опыта 3D реконструкции архитектурных памятников, сформулированы принципы и рекомендации для осуществления визуализации руинированного архитектурно-градостроительного памятника Калос Лимен.

3D модель части памятника создана на основании анализа градостроительного развития городища и существующих вариантов 3D реконструкции памятника.

В дальнейших исследованиях авторы продолжают разработку данной темы для уточнения модели, а также рассмотрят варианты 3D реконструкции греко-скифского городища Калос Лимен по периодам существования объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамаков, А.И. История исследования античных памятников Северо-Западного Крыма (начало, ч.1) Историко-археологический музей-заповедник Калос Лимен [Электронный ресурс] / А.И. Шамаков // Режим доступа: <http://kaloslimen.org/ru/arheologicheskie-ekspeditsii/istorija-issledovaniya-antichnyh-pamjatnikov-severo-zapadnogo-kryma.html> - открытый.
2. Моисеев, Л.А. Отчет о раскопках в Евпатории 1929 г. [Текст] // Л.А. Моисеев / НА ИИМК РАН. Ф. 2. Оп. 1, 1930. Д. 130.
3. Моисеев, Л.А. Херсонес Таврический и раскопки в Евпатории в 1917 г. [Текст] // Л.А. Моисеев / ИТУАК. 1918. № 54.
4. Шульц, П.Н. О работах Евпаторийской экспедиции [Текст] // П.Н. Шульц / СА. 1937. № 3.
5. Шульц, П.Н. Евпаторийский район [Текст] // П.Н. Шульц / Археологические исследования в РСФСР. 1934-1936 гг. М.-Л. – 1941.
6. Шульц, П.Н. Дневник полевых исследований 1933 г. [Текст] // П.Н. Шульц / Материалы к археологической карте Крыма. Вып. III. Симферополь, – 2010.
7. Шульц, П.Н. Дневник археологических разведок в Евпаторийском и Акмечетском районах Крымской АССР в 1933 г. [Текст] // П.Н. Шульц / НА ИИМК РАН. Ф. 2. Оп. 1, – 1933. – 139 с.
8. Шульц П.Н. Евпаторийская экспедиция 1933-1934 гг. [Текст] // П.Н. Шульц / НА ИИМК РАН. Ф. 2. Оп. 1, – 1934. – 202 с.
9. Смирнов, Г.Д. Раскопки скифского кургана близ городища Калос Лимен [Текст] // Г.Д. Смирнов / ВДИ. – 1952. № 4.
10. Наливкина, М.А. Северо-западное побережье Крыма в эпоху античной колонизации [Текст] // М.А. Наливкина / Проблемы истории докапиталистических обществ. 1934. № 9-10.
11. Наливкина М.А. О некоторых памятниках античной эпохи Северо-Западного Крыма [Текст] // М.А. Наливкина / СА. 1940. № 6.
12. Bernhard M.-L. Kalos Limen: Fouilles Polonaises en Cremie, URSS 1959 // Bulletin du Musee de Varsovie. – 1961. – № 2. – С. 3-10.
13. Щеглов А.Н. Отчет о разведках 1959 г. на территории Западного Крыма [Текст] // А.Н. Щеглов / НА НЗХТ. – 838 с.
14. Кутайсов, В.А. Уженцев В.Б. Некоторые итоги изучения Калос Лимена [Текст] // В.А. Кутайсов / Проблемы археологии Северного Причерноморья. – Херсон, 1991. – С. 86-92.
15. Кутайсов В.А. Уженцев В.Б. Восточные ворота Калос Лимена. [Текст] // В.А. Кутайсов / СЗКАЭ. – Киев: Наук. думка, 1994. – С. 40-44.
16. Уженцев В.Б. Калос Лимен в I в. до н.э. – начале II в. н.э. (общий обзор) [Текст] // В.Б. Уженцев / Поздние скифы в Крыму // Поздние скифы Крыма. – Труды ГИМ. – Вып. 118. – М., 2001. – С. 156-166.
17. Уженцев В.Б. Фортификация цитадели Калос Лимена эллинистического периода [Текст] // В.Б. Уженцев / ХС. – 2004. – Вып. XIII. – С. 250-264.
18. Уженцев В.Б. Калос Лимен по материалам раскопок 1988 – 1994 гг. [Текст] // В.Б. Уженцев, В.А. Кутайсов / АПМНП. – Севастополь, 1995. – С. 157-163.
19. Косенкова, К.Б. Современные тенденции использования 3D-реконструкций памятников историко-культурного наследия // Вестник ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2014. №2. – С. 218-225
20. Бородин, Л.И. Современные тенденции в разработке виртуальных реконструкций объектов историко-культурного наследия: международный опыт [Текст] // Л.И. Бородин, Д.И. Жеребятьев // Виртуальная реконструкция историко-культурного наследия в форматах научного исследования и образовательного процесса. – Издательство: Сибирский федеральный университет (Красноярск). 2012. – С.10-30.
21. Горончаровский, В.А. Опыт виртуальной реконструкции архитектурных памятников античного Боспора [Текст] // В.А. Горончаровский, Ю.А. Виноградов, В.Б. Мартиров и С.В. Швемберггер / сборник научных статей Сибирский федеральный университет, Ассоциация "История и компьютер". – 2012. – С. 109-134.
22. Рудов, И.Н. Особенности построения трехмерной сцены виртуальной реконструкции; технологии и методы визуализации в реальном

времени [Текст] / И.Н. Рудов, Н.О. Пиков // Виртуальная реконструкция историко-культурного наследия в форматах научного исследования и образовательного процесса. – Издательство: Сибирский федеральный университет (Красноярск). 2012. – С. 135-152

23. Живица, В.В. Музеефикация археологических памятников в черте города [Текст] / В. Живица // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. №15. – С. 37-50

24. Античные государства Северного Причерноморья [Электронный ресурс] // Серия: Археология СССР. Т. 9. – М.: 1984. – 392 с. – Режим доступа: URL: <http://www.evpatori.ru/antichnyegosudarstva-severnogo-prichernomor'ya.html> (дата обращения 12.01.2022).

25. Крымкрымкрым.ru. Калос Лимен: процветающий город с трагической историей [Электронный ресурс] // Статья / Режим доступа: URL: <https://krymkrymkrym.ru/kalos-limen-protsvetayushchiy-gorod-s-tragicheskoy-istoriyey> (дата обращения 12.01.2022).

26. zen.yandex.ru. Древний город Калос-Лимен [Электронный ресурс] / Режим доступа: URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d612af02f4ad700ac2e5e3436dc10e48f03b9e2b9ba> (дата обращения 12.01.2022).

27. Меметова, Т.Д. Исторический ареал города – путь к возрождению [Текст] / Т. Д. Меметова, А.В. Кучер. // Строительство и техногенная безопасность. 2017. №6. – С. 21-25.

28. Сидорова, В.В. Исторические города России: вопросы сохранения, развития и творческого планирования [Текст] / В.В. Сидорова // Строительство и техногенная безопасность. 2018. – №10. – С. 7-20.

29. Хапаев, В.В. Компьютерная 3D реконструкция античного и средневекового города Херсонес Таврический: опыт, проблемы и перспективы [Текст] / Хапаев В.В., Бацура И.В. // Историческая информатика. – 2018. – № 4. – С. 39-56.

30. Мищенко, Ф. Г. Геродот. История в девяти книгах. [Текст] / Ф. Г. Мищенко // Т. I-IX Перевод Г. А. Стратановского, – Л.: 1972. – 600 с.

31. Страбон (ок. 63 до н.э.- ок. 24 н.э.). География: В 17 кн. / Пер. [с греч.], С. 775-790] и коммент. Г. А. Стратановского; Под общ. ред. С. Л. Утченко; Ред. пер. О. О. Крюгер; [Рос. АН]. – Репринт. воспроизведение текста изд. 1964 г. – М.: Науч.-изд. центр "Ладомир", 1994. – 940 с.

32. Флавий Арриан Тактическое искусство [Текст] / пер., коммент., вступ. статьи А.К. Нефёдкина. – СПб.: Факультет филологии и искусств СПбГУ; Нестор История, 2010. – 286 с.

REFERENCES

1. SHmakov, A.I. Istoriya issledovaniya antichnyh pamyatnikov Severo-Zapadnogo Kryma (nachalo, ch.1) Istoriko-arheologicheskij muzej-zapovednik Kalos

Limen [Elektronnyj resurs] / A.I. SHmakov // Rezhim dostupa: <http://kaloslimen.org/ru/arheologicheskie-ekspeditsii/istorija-issledovaniya-antichnyh-pamyatnikov-severo-zapadnogo-kryma.html> - otkrytyj

2. Moiseev, L.A. Otchet o raskopkah v Evpatorii 1929 g. [Tekst] // L.A. Moiseev / NA IIMK RAN. F. 2. Op. 1, 1930. D. 130.

3. Moiseev, L.A. Hersones Tavricheskij i raskopki v Evpatorii v 1917. [Tekst] // L.A. Moiseev / ITUAK. 1918. № 54.

4. SHul'c, P.N. O rabotah Evpatorijskoj ekspedicii [Tekst] // P.N. SHul'c / SA. 1937. № 3.

5. SHul'c, P.N. Evpatorijskij rajon [Tekst] // P.N. SHul'c / Arheologicheskie issledovaniya v RSFSR. 1934-1936 gg. M.; L., 1941.

6. SHul'c, P.N. Dnevnik polevyh issledovanij 1933 g. [Tekst] // P.N. SHul'c / Materialy k arheologicheskoy karte Kryma. Vyp. III. Simferopol', 2010.

7. SHul'c, P.N. Dnevnik arheologicheskikh razvedok v Evpatorijskom i Akmechetskom rajonah Krymskoj ASSR v 1933 g. [Tekst] // P.N. SHul'c / NA IIMK RAN. F. 2. Op. 1, 1933. D. 139.

8. SHul'c P.N. Evpatorijskaya ekspediciya 1933-1934 gg. [Tekst] // P.N. SHul'c / NA IIMK RAN. F. 2. Op. 1, 1934. D. 202.

9. Smirnov, G.D. Raskopki skifskogo kurgana bliz gorodishcha Kalos Limen [Tekst] // G.D. Smirnov / VDI. 1952. № 4.

10. Nalivkina, M.A. Severo-zapadnoe poberezh'e Kryma v epohu antichnoj kolonizacii [Tekst] // M.A. Nalivkina / Problemy istorii dokapitalisticheskikh obshchestv. 1934. № 9-10.

11. Nalivkina M.A. O nekotoryh pamyatnikah antichnoj epohi Severo-Zapadnogo Kryma [Tekst] // M.A. Nalivkina / SA. 1940. № 6.

12. Bernhard M.-L. Kalos Limen: Fouilles Polonaises en Cremie, URSS 1959 // Bulletin du Musee de Varsovie. – 1961. – N 2. – Pp. 3-10.

13. SHCHeglov A.N. Otchet o razvedkah 1959 g. na territorii Zapadnogo Kryma [Tekst] // A.N. SHCHeglov / NA NZKHT. D. 838.

14. Kutajsov, V.A. Uzhencev V.B. Nekotorye itogi izucheniya Kalos Limena [Tekst] // V.A. Kutajsov / Problemy arheologii Severnogo Prichernomor'ya. – Herson, 1991. – Pp. 86- 92.

15. Kutajsov V.A. Uzhencev V.B. Vostochnye vorota Kalos Limena. [Tekst] // V.A. Kutajsov / SZKAE. – Kiev: Nauk. dumka, 1994. – Pp. 40-44.

16. Uzhencev V.B. Kalos Limen v I v. do n.e. – nachale II v. n.e. (obshchij obzor) [Tekst] // V.B. Uzhencev / Pozdnie skify v Krymu // Pozdnie skify Kryma. – Trudy GIM. – 18. – M., 2001. – Pp. 156-166.

17. Uzhencev V.B. Fortifikaciya citadeli Kalos Limena ellinisticheskogo perioda [Tekst] // V.B. Uzhencev / HS. – 2004. – XIII. – Pp. 250-264.

18. Uzhencev V.B. Kalos Limen po materialam raskopok 1988 – 1994 gg. [Tekst] // V.B. Uzhencev, V.A. Kutajsov / APMNP. – Sevastopol', 1995. – Pp. 157-163.

19. Kosenkova, K.B. Sovremennye tendencii ispol'zovaniya 3D-rekonstrukcij pamyatnikov istoriko-kul'turnogo naslediya // Vestnik leningradskogo

- gosudarstvennogo universiteta im. A.S. Pushkina. – 2014. – №2. – Pp. 218-225.
20. Borodkin, L.I. Sovremennye tendencii v razrabotke virtual'nyh rekonstrukcij ob"ektov istoriko-kul'turnogo naslediya: mezhdunarodnyj opyt [Tekst] // L.I. Borodkin, D.I. ZHerebyat'ev // Virtual'naya rekonstrukciya istoriko-kul'turnogo naslediya v formatah nauchnogo issledovaniya i obrazovatel'nogo processa. – Izdatel'stvo: Sibirskij federal'nyj universitet (Krasnoyarsk). 2012. – Pp.10-30.
21. Goroncharovskij, V.A. Opyt virtual'noj rekonstrukcii arhitekturnyh pamyatnikov antichnogo Bospora [Tekst] // V.A. Goroncharovskij, Yu.A. Vinogradov, V.B. Martirov, S.V. SHvemberger / sbornik nauchnyh statej Sibirskij federal'nyj universitet, Associaciya "Istoriya i komp'yuter". – 2012. – Pp. 109-134.
22. Rudov, I.N. Osobennosti postroeniya trekhmernoj sceny virtual'noj rekonstrukcii; tekhnologii i metody vizualizacii v real'nom vremeni [Tekst] / I.N. Rudov, N.O. Pikov // Virtual'naya rekonstrukciya istoriko-kul'turnogo naslediya v formatah nauchnogo issledovaniya i obrazovatel'nogo processa. – Izdatel'stvo: Sibirskij federal'nyj universitet (Krasnoyarsk). 2012. – Pp. 135-152.
23. Zhivica, V.V. Muzeefikaciya arheologicheskikh pamyatnikov v cherte goroda [Tekst] / V.V. Zhivica // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2019. – №15. – Pp. 37-50.
24. Antichnye gosudarstva Severnogo Prichernomor'ya [Elektronnyj resurs] // Seriya: Arheologiya SSSR. T. 9. – M.: 1984. – 392 s. – Rezhim dostupa: URL: <http://www.evpatori.ru/antichnye-gosudarstva-severnogo-prichernomor'ya.html> (data obrashcheniya 12.01.2022).
25. Krymkrymkrym.ru. Kalos Limen: procvetayushchij gorod s tragicheskoy istoriej [Elektronnyj resurs] // Stat'ya / Rezhim dostupa: URL: <https://krymkrymkrym.ru/kalos-limen-prosvetayushchij-gorod-s-tragicheskoy-istoriyey> (data obrashcheniya 12.01.2022).
26. zen.yandex.ru. Drevnij gorod Kalos-Limen [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d612af02f4ad700ac2ecd7e/drevnii-gorod-kaloslimen-5e3436dc10e48f03b9e2b9ba> (data obrashcheniya 12.01.2022).
27. Memetova, T.D. Istoricheskij areal goroda – put' k vrozozhdeniyu [Tekst] / T. D. Memetova, A.V. Kucher. // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2017. №6. – Pp. 21-25.
28. Sidorova, V.V. Istoricheskie goroda Rossii: voprosy sohraneniya, razvitiya i tvorcheskogo planirovaniya [Tekst] / V.V. Sidorova // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2018. №10. – Pp. 7-20
29. Hapaev, V.V. Komp'yuternaya 3D rekonstrukciya antichnogo i srednevekovogo goroda Hersones Tavricheskij: opyt, problemy i perspektivy [Tekst] / Hapaev V.V., Bacura I.V. // Istoricheskaya informatika. – 2018. – № 4. – Pp. 39-56.
30. Mishchenko, F. G. Gerodot. Istoriya v devyati knigah. [Tekst] / F. G. Mishchenko // T. I-IX Perevod G. A. Stratanovskogo, – L.: 1972. – 600 p.
31. Strabon (ok. 63 do n.e.- ok. 24 n.e.). Geografiya: V 17 kn. / Per. [s grech.], Pp. 775-790 i komment. G. A. Stratanovskogo; Pod obshch. red. S. L. Utchenko; Red. per. O. O. Kryuger; [Ros. AN]. – Reprint. vosproizvedenie teksta izd. 1964. – M.: Nauch.-izd. centr "Ladomir", 1994. – 940 p.
32. Flavij Arrian Takticheskoe iskusstvo [Tekst] / per., komment., vstup. stat'i A. K. Nefyodkina. – SPb.: Fakul'tet filologii i iskusstv SPbGU; NestorIstoriya, 2010. – 286 p.

PRINCIPLES OF 3D RECONSTRUCTION OF OBJECTS OF CULTURAL HERITAGE OF THE ANCIENT PERIOD ON THE EXAMPLE OF THE GREEK-SCYTHIAN CITY OF KALOS LIMEN OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

Zhivisa V.V., Arizer A.A.

Academy of Construction and Architecture of the «V.I. Vernadsky Crimean Federal University»
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181

Abstract. The article selects and analyzes scientific literary sources, archival data and reports on the field work of archaeologists related to the study, preservation and 3D reconstruction of cultural heritage objects. The analysis of the history of development and the current state of the Greek-Scythian ancient settlement Kalos Limen in the village of Chernomorskoye in the Republic of Crimea was carried out. The analysis of the world experience of 3D reconstruction of archaeological sites was carried out, on the basis of which the principles of 3D reconstruction were formulated and practical recommendations for their application were given. An experimental 3D model of a part of the Kalos Limen settlement has been proposed.

Subject of research: 3D reconstruction of cultural heritage objects (ruined monuments of architecture and urban planning).

Materials and methods: the solution of research problems was carried out by means of the analysis of scientific, literary and archival sources; Internet search and analysis of examples of 3D reconstruction of cultural heritage sites. In the implementation of 3D reconstruction, experimental modeling and prototyping are used.

Results: Based on the analysis of scientific literature on the topic of the study, as well as the existing experience of 3D reconstruction of architectural monuments, the principles and recommendations for visualization of the ruined architectural and urban monument Kalos Limen are formulated. A 3D model of a part of the monument was created on the basis of an analysis of the urban development of the settlement and the existing options for 3D reconstruction of the monument. In further research, the authors will continue to develop this topic to refine the model, and also consider options for 3D reconstruction of the Greek-Scythian settlement of Kalos Limen according to the periods of the object's existence.

Conclusions: The result of the research was a number of principles and recommendations aimed at creating 3D models of cultural heritage objects with the help of phased work in professional architectural programs. The implementation and use of 3D models of architectural monuments in the activities of museums, travel portals, advertising videos, TV programs can help popularize individual cultural heritage sites and the region as a whole, attract investors, tourists and all those who are interested in preserving cultural heritage sites.

Key words: 3D reconstruction, cultural heritage site, architectural monument, archeological monument, ancient settlement, Kalos Limen.

ОБ ОБРАЗНОМ НАПРАВЛЕНИИ СОВРЕМЕННОЙ КРЫМСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Суворов¹ А.И., Волкова² Н.Н., Живица³ В.В.

Институт «Академия строительства и архитектуры»
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
E-mail: ¹suv_a_i@mail.ru; ²knatashe@list.ru; ³vzhivisa@mail.ru

Аннотация. Авторы статьи освещают вопрос о наличии и конкурентном противоборстве двух основных направлений в современной архитектуре: утилитарно-технологического, отрицающего культурные достижения прошлых эпох, с одной стороны (модернизм) и исторической традиции с другой стороны, утверждающей связь прошлого и настоящего, призывающей к продолжению и развитию национального архитектурного наследия. Рассмотрена проблема влияния на студенчество и архитектурную молодежь радикальных идей псевдо-передового демагогически-революционного свойства, недопустимых в архитектуре, доставшихся нам в виде атавизма советского прошлого. Сделан краткий исторический обзор изменений в архитектуре 20-го и начала 21-го вв. оценочно-аналитического содержания с целью вскрытия причин кризисного положения в области формирования городской среды в настоящее время. В качестве выхода из этого кризиса предложен пример решения подобной ситуации во второй половине 19-го века, в эпоху национального историзма и эклектики. Единство идейной направленности архитектуры при стилевом многообразии имеет государственное значение в двух основных аспектах: национально-идеологическом и экономическом. Экономический аспект раскрыт и обоснован отдельно как предложение усилить уклон образности крымской архитектуры в сторону местной исторической традиции. Это средство привлечения туристов, а туризм – один из основных источников наполнения регионального бюджета.

Цели работы:

- способствовать формированию единства градостроительной политики на Крымском полуострове, направленной на реконструкцию объектов архитектурного наследия и развитие исторической традиции в архитектуре;
- добиться преодоления негативного влияния принципов и методов советского модернизма на творчество крымских архитекторов;
- обратить внимание на экономическое значение реконструктивно-исторической направленности архитектуры полуострова.

Предмет исследования: анализируются предложения по образной направленности современной крымской архитектуры. В качестве аргументации прилагается критический обзор экспериментальных поисков образной направленности в архитектуре в России и на Западе в 20-м и 21-м вв. Освещаются ключевые моменты возникновения и развития этих поисковых направлений, их характерные черты, достоинства и недостатки. Особое внимание уделено реакции общества на художественно-композиционный уровень каждого течения; отмечается важность этого уровня для психологического здоровья населения и воспитания молодого поколения. Исследуется результат решения аналогичной ситуации в середине 19-го века в России, а именно: использование национальной исторической традиции в качестве основного направления в архитектуре многонациональной страны. Также исследуется взаимосвязь образного характера архитектуры Крыма с развитием туризма на полуострове; экономический эффект этой взаимосвязи.

Материалы и методы: Применены методы: критического изучения исторических этапов в развитии современной архитектуры, в ходе которых творческие идеи и приемы проходят проверку временем; использование личного творческого опыта и других эмпирических данных; метод логического анализа, синтеза и дедукции.

Результаты: На основе исторического обзора выявлены негативные стороны и явления в архитектурных поисках модернизма и их причины; предложен и аргументированно обоснован альтернативный путь формирования образной составляющей архитектуры Крыма; обозначены проблемы в профессиональном становлении молодых архитекторов; сделана попытка программного подхода к образной направленности архитектуры с целью выявления единомышленников в профессиональной среде и достижения большей организованности в предлагаемом направлении; выявлен экономический эффект от развития в крымской архитектуре национально-исторической традиции.

Выводы: результат развития модернистского направления в архитектуре, возникшего как форма революционного преобразования этой области деятельности и приведшего ее к кризисному состоянию, свидетельствует о том, что эволюционный путь развития является единственно правильным для архитектуры, так же, как и для общества в целом. Непрерывность тысячелетнего развития художественной культуры не должна нарушаться. На этом основывается убежденность авторов статьи в правильности реконструктивного и традиционно-исторического направления крымской архитектуры.

Ключевые слова: архитектурный образ, направленность, модернизм, историческая традиция, культурное наследие, преемственность, развитие туризма, музеефикация, экономика.

ВВЕДЕНИЕ

В Институт «Академия строительства и архитектуры», а также в крымское отделение Союза Архитекторов России от Министерства строительства и архитектуры Республики Крым периодически поступают предложения выработать и документально оформить профессионально аргументированное мнение по поводу образно-стилистического направления архитектуры на полуострове. Такой документ после всестороннего общественного обсуждения мог бы быть положен в основу принципов архитектурно-строительной политики в Республике Крым и г. Севастополь.

На общем собрании Крымского отделения Союза архитекторов присутствующим архитекторам было поручено обдумать проблему и письменно представить своё видение основного направления в архитектуре Крыма для дальнейшего обсуждения и выработки общего мнения. Документ, появившийся в результате этой работы, стал бы поводом и материалом для широкого общественного обсуждения. Таким образом, задуман своеобразный конкурс идей. Такая форма поиска решений бывает более целесообразной, чем длительные дискуссии на многочасных собраниях.

Авторы этой статьи, будучи преподавателями кафедры градостроительства, кроме участия в вышеназванном конкурсе идей, имеют целью привлечь к нему внимание студентов-архитекторов, призвать их задуматься над данной проблемой и попытаться уже сейчас сделать выбор, выявить для себя самих свои предпочтения.

Тема крымской архитектуры многозначна и многогранна. Однако в любой многогранности обязательно есть так называемая иерархия, то есть соподчинённость второстепенных элементов главным. По логике вещей, решая направленность основного элемента, тем самым неизбежно решаем судьбу подчинённых ему частей. Главным в архитектуре и градостроительстве всегда был композиционно-художественный замысел, или, проще говоря, «образ». Без него не обходится ни один разговор об архитектуре.

Слово выбор употребляется здесь по причинам, которые требуют разъяснений для аргументации позиции авторов в разговоре об образной направленности архитектуры в Крыму.

Опубликованием этой позиции авторы хотят привлечь читателей к участию в работе над поисками образно-стилистического характера крымской архитектуры, так как проблемы создания окружающей городской среды не должны решаться только в узком кругу профессионалов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В ходе анализа публикаций на заявленную тему рассмотрены следующие работы:

- в книге «Мифы и утопии архитектуры XX века» Якуба Вуека (Польша) дана критическая оценка

авангардному направлению в современной архитектуре [1];

- в статье «Художественный образ в архитектуре и его структура» А.А. Стригалева отмечается, что художественный образ всегда отражает принадлежность воспринимающего к определенной социальной категории и к определенному историческому периоду [2].

Книга Рудольфа Арнхейма «Динамика архитектурных форм» выявляет ряд закономерных признаков, присущих архитектурным сооружениям прошлых эпох, актуальных для современной архитектуры [3].

Ряд авторов рассмотрели в своих работах общие вопросы стилиобразования в архитектуре, а также последние тенденции современной архитектуры: Попова Д.Л. [9], Рябушин А.В., Шукурова А.Н. [10], Бакалейник А.С., Одинцова Ю.А., Кокорина Е.В. [11], Новак Б. [12], Shéleshneva-Solodóvnikova N.A. [13], Мигас Я.А. [14], Худин А.А. [15], Киричков И.В. [16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Прежде чем осветить предложения о направлении развития образной составляющей крымской архитектуры, в виду того, что не все владеют информацией об особенностях процессов становления современной архитектуры в XX-м и XXI-м веках, предлагается небольшой историко-аналитический обзор.

Начало «раскола». Конструктивизм и функционализм против исторической традиции. Вопрос о выборе возникает по причине существования крупного раздела в мировой архитектуре, который образовался после окончания Первой мировой войны и Октябрьской революции в России. Эти два трагических, хотя и во многом закономерных события, ознаменовали наступление эпохи, которую философия научно определила, как «эпоха массового общества». Название говорит само за себя: теперь широкие народные массы стали определять ход истории, в том числе и развитие культуры. (Это научно-официальная трактовка, а то, как и кто энергией этих масс управляет, тема отдельная) [4]. Трагедия же заключается в том, что реформы и изменения были осуществлены революционным, то есть самым разрушительным путём. Дворянско-буржуазная культура была «отменена», и прежняя архитектура стала считаться неприемлемой. Появилось направление, предназначенное, якобы, для удовлетворения материальных и духовных нужд трудящихся масс, в первую очередь, пролетариата. Название этого направления «конструктивизм» отразило устремлённость к построению новых условий жизни, в основе которой все видели индустриализацию (рис.1). (Здесь сознательно не употребляется слово «архитектура». По мнению авторов, все устремления модернистов создать новую архитектуру на протяжении 20-го и в 21-м

веках успехом не увенчались. Уровня произведений искусства эти попытки достигали крайне редко и стиливого направления не создали). Этим же приземлённым материализмом определялась и образность новой среды. «Эпоха массового общества» предполагает неизбежную

усреднённую эстетических представлений, что и характерно для массовой культуры. На демократическом же Западе, несмотря на то, что эпоха вроде бы и «массовая», манипулировать общественным сознанием научились так же быстро.

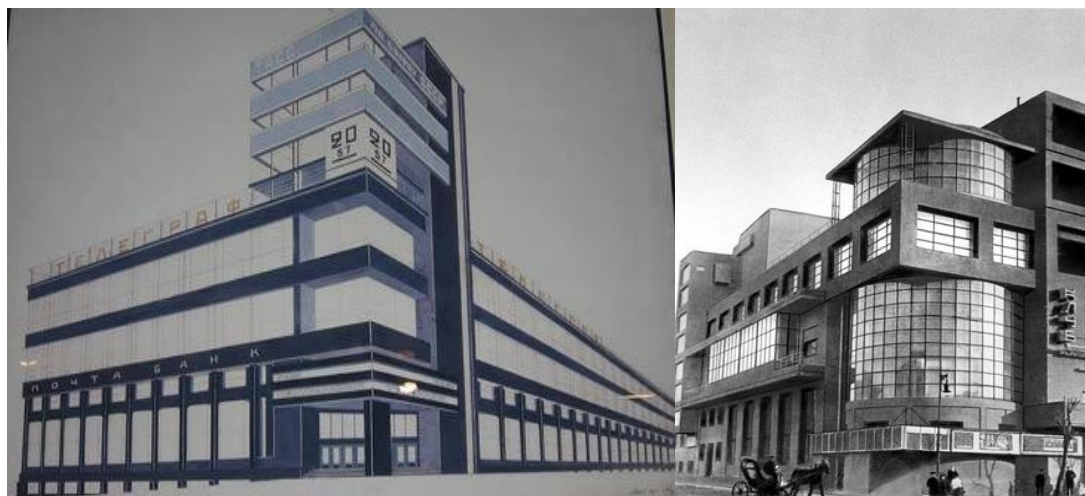


Рис. 1. Советский конструктивизм
Fig. 1. Soviet constructivism

Мир машинных образов. Продолжая разговор о конструктивизме и его западноевропейском аналоге – функционализме, получивших позже общее название «современное движение», а ещё позже – модернизм, и пытаюсь выявить его образную составляющую, без труда можно убедиться, что таких признаков искусства архитектуры как, например, антропоморфизм, тектоника или художественная декоративность и символизм, здесь

нет (рис. 2). Не присутствуют здесь ассоциации с образом человека, придающие архитектуре одухотворённость, и нет символов национальной культуры и истории (ещё одно название модернизма – «интернациональный стиль»), без которых никакое искусство таким не воспринимается. А присущ ли вообще конструктивизму архитектурный образ?



Рис. 2. Европейский функционализм
Fig. 2. European functionalism

При объективной оценке и справедливости ради следует дать положительный ответ. Особенно, если

принять во внимание, что основателями и лидерами этого новаторского в то время направления были

мастера блестящей эпохи – эклектики и модерна, отточившие глаз и руку на изучении и повторении достижений исторических архитектурных школ. Поэтому были в постройках конструктивистов 20-х годов интересные композиции. Но выразительная объёмная композиция это ещё не стиль, а его геометрическая основа. Что касается образа, то поскольку идеалы послереволюционной поры были связаны с новаторскими исканиями, в основе которых были лозунги индустриализации, образ машины прочно вошёл в «современное движение» и не покидал его больше никогда. Именно с этим связан, уже ставший хроническим, кризис этого направления [5].

Начало борьбы. Ар-деко и неоклассицизм. Преобладающее положение конструктивизма в архитектуре закончилось в начале 30-х годов 20-го века. Психофизиология человеческого восприятия, формировавшаяся миллионы лет, стала заявлять о

своих законных правах и настойчиво подсказывать человеку, в какой среде он должен жить и работать.

Эта потребность совпала с желанием государственной власти иметь архитектуру большей монументальности. По указанию сверху (и по одобрению «снизу») конструктивизм уступил место классической традиции. Перемену курса назвали «творческим освоением наследия Ренессанса». Похожие явления имели место на Западе. Произошло это не сразу, а в течение некоторого переходного периода, получившего за рубежом наименование «ар-деко» (рис. 3, 4). Советский вариант этого направления формировался иногда несколько необычным путём, когда наполовину построенный конструктивистский объект, в той степени в какой это было возможно, переделывался в классицистской стилистике.



Рис. 3. Американский ар-деко **Рис. 4.** Европейский ар-деко
Fig.3. American Art Deco **Fig. 4.** European Art Deco

Период ар-деко и советского неоклассицизма в СССР, который называют «сталинский ампи́р», знаменателен тем, что в это время вынуждено и в известной мере случайно возникло много интересных сочетаний нового и старого, конструктивизма и классицизма (рис. 5). Выяснилось, что для развития новой архитектуры

нет необходимости отказываться от вечных ценностей, что утверждение о несоответствии новых строительных технологий традиционным историческим формам и композициям – большое и надуманное преувеличение, ведущее к перекосам и кризисному положению в области архитектурного творчества и в настоящее время.



Рис. 5. Советский ар-деко
Fig. 5. Soviet art deco

К сожалению, поучительный опыт этого периода остался не востребован. После Второй мировой

войны советский ар-деко, к тому времени окончательно оформившийся как неоклассицизм,

был вновь сменён очередной модификацией конструктивизма, известной под названием «хрущёвская архитектура», по имени политика, осуществившего эту перемену. Острая нехватка жилья была одной из причин этого поворота (рис. 6). Аналогичные проблемы на Западе



Рис. 6. Советский конструктивизм 60-х годов
Fig. 6. Soviet constructivism of the 60s

решались таким же путем (рис.7). Но если первая волна конструктивизма явила некоторые интересные достижения хотя бы в области объёмной композиции, то теперь и это отнесли к «излишествам». Серость и монотонную безликость того периода мы наблюдаем до сих пор [6].



Рис. 7. Восстановленный после Второй мировой войны французский Гавр
Fig. 7. French Le Havre restored after World War II

Революция и эволюция. С тех пор волнообразный процесс этих перемен стал хроническим и привычным: маятник продолжает качаться от классицизма к модернизму и обратно также и в наше время. И хоть всякий раз эти направления возникают под другими именами, их основное содержание не меняется.

Тема двух противоборствующих направлений затронута здесь для того, чтобы объяснить возникновение проблемы выбора. Между модернизмом с одной стороны и исторической традицией с другой. Приверженцы одного лагеря говорят: «Это выбор между старым, уже отжившим, и новым, т.е. молодым, полным сил и энергии». Другие им отвечают: «Это выбор между вечными, проверенными временем ценностями человеческой

культуры, прошедшими длительную эволюцию, достигшими совершенства, с одной стороны, и результатом революции, никогда не понимаемым и не принимаемым большинством общества и возникшим в результате разрушительного политического авантюризма, с другой».

Эволюция и совершенство её результатов – вот ключевое понятие, наиболее подходящее в качестве аргумента в поисках истины в данном вопросе. Однако, несмотря на весомость этого аргумента, профессионалы по-прежнему продолжают делиться на две категории – модернисты и приверженцы традиции. В этих направлениях и продолжают поиски настоящей современной архитектуры (рис. 8, 9).



Рис. 8. Неоконструктивизм – развитие модернизма
Fig. 8. Neoconstructivism - the development of modernism



Рис. 9. Постмодернизм – возврат к исторической традиции

Fig. 9. Postmodernism - a return to historical tradition

Отцы и дети. Данное разделение, кроме стилевых предпочтений, имеет ещё одно проявление – возрастное.

Чувство красоты и гармонии, заложенное человеку от природы, как и все другие качества, нуждается в развитии путём эстетического воспитания и художественного образования. Для этого нужны годы учёбы и творческой работы. И поскольку «нет предела совершенству», длиться эта работа может всю жизнь. Как известно, количество лет творческих поисков, полных сомнений и нерешительности, переходит в качество надёжных критериев и способности к уверенным оценкам и решениям. Вот почему видение одних и тех же предметов у 30-летнего архитектора и его более зрелого 50-летнего коллеги, как правило, сильно отличаются. Выглядит такое утверждение банальной истиной, если не уточнить: отличаются эти два поколения не только уровнем квалификации и мастерства, а ещё и разной творческой направленностью. Молодые, как правило, увлекаются модернизмом. В чём причина? Возможно, в избытке пока ещё нереализованной энергии и в подсознательном, чисто юношеском стремлении к новизне, да и слово «авангард» на молодых людей действует завораживающе. Старшие предпочитают альтернативный путь, т.е. историческую традицию. В итоге отцы и дети говорят на разных языках. Это, конечно, усреднённая картина, – исключения бывают как среди начинающих, так и среди зрелых архитекторов.

Упомянуть о существовании этого явления необходимо, чтобы предугадать, на какой почве могут возникнуть разногласия в будущем процессе поиска направления для архитектуры нашего региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Архитектура и наследие. До сих пор речь шла в основном о мировых и общероссийских процессах в поисках современной архитектуры в прошедшем

периоде. В данный момент на повестке дня образная основа будущей архитектуры Крыма.

Формирование архитектурного образа здания в любой стране происходит с учётом и отражением в этом образе так называемых региональных особенностей. Особенности эти состоят, во-первых, из физико-географических, а проще говоря, природных и климатических факторов, а во-вторых, из культурно-этнографических и национально-исторических черт. Как правило, никто не спорит ни с первым, – тут всё более чем ясно, ни со вторым. Вот только вторая задача – развитие национально-исторического наследия в образности крымской архитектуры в основном лишь декларируется на всех форумах, посвящённых архитектуре, и говорится об этом всегда абстрактно, общими, хоть и красивыми фразами, и дальше призывов к защите существующих памятников дело в этом направлении не идёт. К тому же особой ясности, куда идти, похоже, что нет, особенно под напором очередной волны «интернационального стиля» под именем хай-тек, когда простой безликий ящик, одетый в керамическую или алюминиевую фасадную систему с машиностроительным качеством высоких технологий, претендует быть архитектурой, потому что это впечатляет неискушённого зрителя, не привыкшего к демонстративно высокому качеству строительства [5].

Но сейчас наступило время поговорить более конкретно о месте идейного наследия в нашей жизни и в поисках архитектуры. Даже если не будет сказано ничего нового, говорить об этом необходимо, – очень сильно внедрился в наше сознание стереотип обязательной стандартизованности и индустриальности в облике проектируемых зданий, навязанных не одному поколению архитекторов советской экономической действительностью и её нетерпимостью к любым проявлениям дворянско-буржуазной идеологии. Но времена изменились, изменились ценности, и непонятно почему ситуация в архитектуре пребывает всё ещё в таком состоянии, в каком она была в советское время.

Присутствие на полуострове памятников античной Греции, родины нетленной классики, средневекового мусульманского Востока, русского романтизма 18-го века, историзма 19-го века, – с таким богатым наследием не может сравниться ни один регион России. Об этом говорили и говорят, но больше в идейно-культурном контексте. Поэтому безликость и отсутствие культурологических ассоциаций «интернационального стиля» не оправданы для крымской архитектуры.

Проблема единства. При рассмотрении существования двух основных направлений в архитектурных поисках 20-го и начала 21-го веков, закономерно возникает мысль о возможности их объединения. Необходимость стремления к единому направлению в национальной архитектуре принято считать спорной темой. Авторы данной статьи предлагают некоторые аргументы в пользу этого единства. Для начала необходимо разделить понятия «единое направление» и «единый стиль».

То, что искусство в широком смысле предполагает свободное развитие, ни у кого не вызывает сомнений. Но архитектура – особенное искусство, считать его свободным нельзя.

Отличие искусства архитектуры от искусств, называемых свободными, состоит в том, что архитектура предназначена выполнять социальный заказ, т.е. общество, представляемое государством, ждёт от неё решения очень многих, с одной стороны, хозяйственно-экономических, а с другой – культурно-идеологических задач.

Хозяйственные проблемы требуют от архитектора создания необходимого количества полезной площади в прочных, защищённых от непогоды объёмах зданий.

В идейно-художественном и образно-эстетическом плане общество поручает архитектору проектирование среды с определённым уровнем духовного богатства и психологического комфорта.

Решение первого ряда проблем, сугубо утилитарных, не зависит от художественных особенностей образного решения. Зато вторая часть реализуется именно художественными средствами. В наше время стала общеизвестной связь психологического состояния человека с его физическим здоровьем.

От решения и первой, и второй задач в большой мере зависит качество жизни каждого из нас.

Не следует забывать об эстетическом и историко-философском воспитании молодёжи (архитектуру ведь недаром образно называют «каменной книгой истории»). Закономерно возникает мысль о том, насколько социальные бури XX и XXI веков связаны с состоянием окружающей среды, а точнее с её бездуховностью, создающей депрессивно-угнетённое состояние у любого члена общества [8].

Итак, особенность искусства архитектуры, т.е. её социально-экономическая и идеологическая роли обозначены. Теперь можно вернуться к вопросу о единстве направления. Возникающие разночтения в

понимании этого вопроса могут стать причиной неоправданных разногласий.

Тот факт, что архитектура предыдущих эпох обладала единством, в доказательстве не нуждается. Обладала ли она тем многообразием, которое создавало богатство впечатлений – это тоже очевидно. Причём, два этих, казалось бы, противоположных явления никогда не вступали в противоречие. Если взять, например, время, создавшее наиболее эстетически ценную городскую среду – период историзма и эклектики второй половины 19-го века, – то многообразие обеспечивалось большим выбором исторических стилей, возможностью их эклектического соединения, и дополнялось особенностями авторского почерка. Единство этого разностилия состояло в историзме.

Каждый стиль, прежде чем достигнуть известного совершенства, прошёл длительное и непростое развитие, постепенно и естественно вырастая из предыдущего, не отрицая, а используя его достижения. Вот эта непрерывность цепи европейской средиземноморской традиции и является общей объединяющей основой всех исторических стилей при всём их образном различии.

Можно привести ещё один пример, уже из другого времени, по поводу необходимости единства. В рецензии на проект известного мастера стиля ампир Александра Мельникова в качестве достоинства была отмечена «типичность» его замысла, то есть композиционное и образное родство с другими постройками, а вовсе не оригинальность, хотя она всегда была и есть. Среди особенностей проекта оригинальность в то время была вторичной. В наше время необычность считается главным достоинством, возможно, потому, что оно единственное.

Простые ссылки на историю не для всех бывают убедительными. Осуществлять же причинный анализ стремления к художественному единству среды – это тема для отдельной работы. Для краткости можно объяснить причины и необходимость этого явления с помощью аналогии: все люди одной национальности прекрасно понимают речь друг друга, потому что говорят на одном языке. Понимают, несмотря на бесконечно большое количество слов и понятий. Архитектура – это тоже язык. Но если архитектор станет говорить на придуманном им самим, пусть звучном и оригинальном, но незнакомом для окружающих языке, его усилия будут напрасны.

Сравнение с таким основополагающим явлением культуры как язык, на котором мы говорим, представляется вполне уместным. Можно сказать, что авторы модернистских произведений, как правило, «говорят» на незнакомом языке. Он незнаком, потому что модернизм отрицает традицию, которая всем привычна. По этой причине такой новый язык не может быть понят и принят. Произведения, не имеющие связи с понятиями культуры, объединяющими всех членов общества,

делают усилия модернистов напрасными, хотя и вызывают изумление своей оригинальностью. Известность этих произведений обычно носит скандально-одиозный характер. Ни одно из сооружений модернизма не стало началом нового стиля в силу невозможности создать на их основе общеупотребительный всем знакомый и понятный язык.

За уже вековую историю модернизма в русле этого направления было создано немало произведений, впечатляющих новизной и смелостью конструктивного решения, а также оригинальностью объёмно-пространственной композиции и грандиозностью [13]. Обычно этими качествами отличались и отличаются поныне представители модернистского направления, называемого «экспрессионизм». Это ещё одно ключевое слово для определения некоторых характерных черт современного искусства

Слово «экспрессия» означает выразительность. Но выразительность – это ещё не красота! Более того, выразительность может быть и со знаком минус, то есть вызывать отрицательные эмоции. Поэтому, несмотря на выразительность, отзывы о красоте этих, часто очень популярных, сооружений, как правило, неоднозначны. (Достаточно вспомнить ставшую классическим примером историю с постройкой Эйфелевой башни, против которой протестовали 300 крупнейших деятелей французской культуры, включая Мопассана и Александра Дюма. Были среди них и известные архитекторы, например, Шарль Гарнье).

Если применить понятие единства ко всей массе построек «современного движения» (модернизма), то можно признать, что это единство есть. Но оно отрицательного свойства. Эту массу объединяет безликость, отсутствие художественного образа в общепринятом понимании со всеми его составляющими. Можно ли считать образной основой архитектуры машинные формы, техницизм? Вероятно, можно. Но эта образность присуща производственно-складским зданиям. Она возникла, вернее, была навязана обществу в период агитационных кампаний начала индустриализации, и романтика этого периода уже в прошлом. Поэтому можно утверждать, что большая часть общества, а также архитекторов зрелого поколения и немалая часть молодых специалистов этой образности не примут. Не примут по причине наличия у этого, будем надеяться, большинства глубинного внутреннего эстетического чувства, которое простому логическому анализу не поддаётся. У кого-то это чувство пробуждается рано, а у кого-то развивается с годами. Человеческому виду в целом оно досталось как результат длительной эволюции. И то, что образы машин в этом не участвовали, вряд ли кто сможет оспорить.

Историзм в крымской архитектуре – одно из условий развития туризма. На проблему архитектурной направленности предлагается посмотреть под несколько иным углом зрения – экономическим, то есть на данный момент самым

насушным. Так как архитектура всегда была связана с экономическим состоянием общества, то можно представить архитектурную образность в роли двигателя экономического прогресса.

Одним из главных направлений развития экономики Крыма является туризм. Причём, у туризма две главных цели – красоты крымской природы и богатство местной культуры. Забота о первой категории туристов – задача горно-лесных проводников и сотрудников МЧС. Отдельный интерес представляет для рассмотрения вторая категория – просвещённый турист, стремящийся в регион самой древней культуры, начитавшийся легенд и исторических романов о Крыме и желающий утолить жажду романтических ощущений от захватывающего путешествия во времени. Он ждёт живых материальных иллюстраций к своим представлениям. Того, что он здесь увидит – груды серых камней на раскопках древних городищ, поросших выгоревшей травой, явно недостаточно, для того чтобы удовлетворить ожидания энтузиаста, не являющегося специалистом в археологии [7].

Конечно, археологи изучают эти камни с трепетом и упоением, а мировая наука исписывает тома диссертаций. Но, ни первые, ни вторые дохода нам не принесут и жизнь крымчан не улучшат. Наша надежда – вот этот простой, но чрезвычайно массовый турист-романтик, и наша задача – не оставить его разочарованным в его поисках и ожиданиях. Достойная музеефикация памятников археологии – это одна из творческих возможностей для архитекторов, также имеющая экономический эффект.

ВЫВОДЫ

К ценному архитектурно-историческому наследию, которое есть на полуострове, необходимо добавить новый творческий вклад, продолжающий историческую традицию в том объёме, который позволит считать Крым настоящим историческим заповедником.

Архитектурная среда Крымского полуострова должна прямо с вокзала, с первых шагов погрузить путешественника в романтическую атмосферу образов истории, где Европа и Азия соединились бы в красочном богатстве.

Новостройкам и реконструкции существующих, часто невыразительных, зданий было бы целесообразно с помощью декоративных форм и деталей придать облик, обогащённый историческими ассоциациями. Дать просвещённому туристу – любителю истории то, зачем он сюда приехал. Причём, технически для этого имеются все возможности. В Крыму и других регионах давно уже существуют предприятия, производящие декоративные элементы из арсенала классической архитектуры, которых так не хватает современной застройке, чтобы быть гуманной и радующей глаз. Что касается любителей природы и просто отдыхающих, то и они, попадая в крымские города,

будут рады целый отпуск не видеть гигантские и безликие металлопластиковые монстры, от которых устали, живя и работая в своих крупных промышленных центрах.

Пока создавалась эта статья, в Симферополе стали появляться именно такие здания, за какие ратуют авторы статьи, и, слава Богу, похоже, что не они одни (рис. 10). Хочется надеяться, что эта тенденция получит дальнейшее развитие.



Рис. 10. Историческая традиция в крымских новостройках
Fig. 10. Historical tradition in Crimean new buildings

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вуек, Я. Мифы и утопии архитектуры XX века [Текст] / Пер. с пол. М.В. Предтеченского; под ред. В.Л. Глазычева. – М.: Стройиздат, 1990. – 280 с.: ил.
2. Кириллова, Л.И. Теория композиции в советской архитектуре [Текст] / Л.И. Кириллова, А.А. Стригалёв, С.О. Хан-Магомедов и др.; Под ред. Л.И. Кирилловой; ЦНИИ теории и истории архитектуры. – М.: Стройиздат, 1986. – 256 с.: ил.
3. Арнхейм Р. Динамика архитектурных форм [Текст] / пер. с англ. В.Л. Глазычева. – М.: Стройиздат, 1984. – 192 с., ил.
4. Зоболев, А.И. Современная архитектура как отражение трансформационных процессов в культуре [Текст] / Зоболев А.И. – Новая наука: Опыт, традиции, инновации. 2017. Т. 1. № 4. – С. 208-210.
5. Яхья Мохаммед Яхья. Война с красотой. Почему современная архитектура стала уродливым лицом нашей жизни [Текст] / Яхья Мохаммед Яхья, Салил Мурад Яхья. – Молодой ученый. 2022. № 4 (399). – С. 465-469.
6. Рябушин, А.В. Творческие противоречия в новейшей архитектуре запада [Текст] / Рябушин А.В., Шукурова А.Н. // Монография. – Москва, 1985. – 272 с.
7. Живица В.В. Музеефикация археологических памятников в черте города. / Живица В.В. // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь: АСиА, 2018, – № 15(67) - 2019. – С. 37-508.
9. Попова, Д.Л. В поисках идентичности архитектуры России [Текст] / Попова Д.Л. – Евразийский союз ученых. 2018. № 7-1 (52). С. 8-10.
10. Рябушин, А.В. Творческие противоречия в новейшей архитектуре Запада [Текст] / Рябушин А.В., Шукурова А.Н. – Москва, 1985. – 272 с.
11. Бакалейник, А.С. Современная архитектура в контексте исторической застройки [Текст] / Бакалейник А.С., Одинцова Ю.А., Кокорина Е.В. – Студент и наука. 2020. № 2 (13). – С. 5-10.
12. Новах Б. Архитектура XX века в мире. [Электронный источник, 24.05.2021] / Богдан Новах. – Режим доступа: https://spravochnick.ru/arhitektura_i_stroitelstvo/epohi_arhitektury/arhitektura_xx_veka_v_mire/ (дата обращения: 12.01.2022).
13. Arquitectura Contemporánea De España: De La Postmodernidad A La Nueva Vanguardia / Shéleshneva-Solodóvnikova N.A. – Iberoamerica. 2021. № 4. С. 189-215.
14. К вопросу изученности проблемы интеграции современной и исторической архитектуры / Мигас Я.А. – Архитектура и дизайн. 2018. № 2. – С. 16-25.
15. Худин, А.А. Проблематика "перевода" в постмодернистской теории архитектуры [Текст] / Худин А.А. – Современная архитектура мира. 2019. № 1 (12). – С. 23-33.
16. Киричков, И.В. Антивитрувианская эстетика в произведениях современной архитектуры [Текст] / Киричков И.В. – ARTE: Электронный научно-исследовательский журнал Сибирского государственного института искусств имени Дмитрия Хворостовского. 2020. № 3 (4). – С. 34-41.

REFERENCES

1. Vuek, YA. Mify i utopii arhitektury XX veka [Tekst] / Per. s pol. M.V. Predtechenskogo; pod red. V.L. Glazycheva. – M.: Strojizdat, 1990. – 280 p.
2. Kirillova, L.I. Teoriya kompozicii v sovetskoj arhitekture [Tekst] / L.I. Kirillova, A.A. Strigalyov, S.O. Han-Magomedov i dr.; Pod red. L.I. Kirillovoj; CNIИ teorii i istorii arhitektury. – M.: Strojizdat, 1986. – 256 p.
3. Arnhejm R. Dinamika arhitekturnyh form [Tekst] / per. s angl. V.L. Glazycheva. – M.: Strojizdat, 1984. – 192 p.
4. Zobolev, A.I. Sovremennaya arhitektura kak otrazhenie transformacionnyh processov v kul'ture [Tekst] / Zobolev A.I. – Novaya nauka: Opyt, tradicii, innovacii. 2017. T. 1. № 4. – Pp. 208-210.
5. YAh'ya Mohammed YAh'ya. Vojna s krasotoj. Pochemu sovremennaya arhitektura stala urodlivym licom nashej zhizni [Tekst] / YAh'ya Mohammed YAh'ya, Salil Murad YAh'ya. – Molodoj uchenyj. 2022. № 4 (399). – Pp. 465-469.
6. Ryabushin, A.V. Tvorcheskie protivorechiya v novejshej arhitekture zapada [Tekst] / Ryabushin A.V., SHukurova A.N. // Monografiya. – Moskva, 1985. – 272 p.
7. ZHivica V.V. Muzeifikaciya arheologicheskikh pamyatnikov v cherte goroda. / ZHivica V.V. // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Simferopol': ASiA, 2018, – № 15(67). – 2019. – Pp. 37-508.
8. Popova, D.L. V poiskah identichnosti arhitektury Rossii [Tekst] / Popova D.L. – Evrazijskij soyuz uchenyh. 2018. № 7-1 (52). – Pp. 8-10.
9. Ryabushin, A.V. Tvorcheskie protivorechiya v novejshej arhitekture Zapada [Tekst] / Ryabushin A.V., SHukurova A.N. – Moskva, 1985. – 272 p.
10. Bakalejnik, A.S. Sovremennaya arhitektura v kontekste istoricheskoy zastrojki [Tekst] / Bakalejnik A.S., Odincova YU.A., Kokorina E.V. – Student i nauka. 2020. № 2 (13). – Pp. 5-10.
11. Novah B. Arhitektura XX veka v mire. [Elektronnyj istochnik, 24.05.2021] / Bogdan Novah. – Rezhim dostupa: https://spravochnick.ru/arhitektura_i_stroitelstvo/epohi_arhitektury/arhitektura_xx_veka_v_mire/ (data obrashcheniya: 12.01.2022).
12. Arquitectura Contemporánea De España: De La Postmodernidad A La Nueva Vanguardia / Shéleshneva-Solodóvnikova N.A. – Iberoamerica. 2021. № 4. – Pp. 189-215.
13. K voprosu izuchennosti problemy integracii sovremennoj i istoricheskoy arhitektury / Migas Ya.A. – Arhitektura i dizajn. 2018. № 2. – Pp. 16-25.
14. Hudin, A.A. Problematika "perevoda" v postmodernistskoj teorii arhitektury [Tekst] / Hudin A.A. – Sovremennaya arhitektura mira. 2019. № 1(12). – Pp. 23-33.
15. Kirichkov, I.V. Antivitruianskaya estetika v proizvedeniyah sovremennoj arhitektury [Tekst] / Kirichkov I.V. – ARTE: Elektronnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal Sibirskogo gosudarstvennogo instituta iskusstv imeni Dmitriya Hvorostovskogo. 2020. № 3 (4). – Pp. 34-41.

ABOUT THE FIGURATIVE DIRECTION OF MODERN CRIMEAN ARCHITECTURE

Suvorov¹ A.I., Volkova² N.N., Zhivitsa³ V.V.

Institute «Academy of Construction and Architecture» of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181, suv_a_i@mail.ru
E-mail: ¹suv_a_i@mail.ru; ²knatashe@list.ru; ³vzhivisa@mail.ru

Abstract. The authors of the article highlight the issue of the presence and competitive confrontation of two main trends in modern architecture: utilitarian-technological, denying the cultural achievements of past eras, on the one hand (modernism) and historical tradition, on the other hand, asserting the connection between the past and the present, calling for continuation and development national architectural heritage. The problem of influence on students and architectural youth of radical ideas of pseudo-advanced demagogic-revolutionary properties, unacceptable in architecture, inherited to us in the form of atavism of the Soviet past, is considered. A brief historical overview of the changes in the architecture of the 20th and early 21st centuries is made. Evaluative and analytical content in order to reveal the causes of the crisis in the formation of the environment at the present time. As a way out of this crisis, an example of solving a similar situation in the second half of the 19th century, in the era of national historicism and eclecticism, is offered. The unity of the ideological orientation of architecture with stylistic diversity is of national importance in two main aspects: national-ideological and economic. The economic aspect is disclosed and substantiated separately as a proposal to strengthen the bias of the imagery of the Crimean architecture towards the local historical tradition. This is a means of attracting tourists, and tourism is one of the main sources of filling the regional budget.

Goals of the work:

- to promote the formation of a unity of urban planning policy on the Crimean Peninsula, aimed at the reconstruction of architectural heritage objects and the development of historical traditions in architecture;
- to overcome the negative influence of the principles and methods of Soviet modernism on the work of Crimean architects;
- pay attention to the economic significance of the reconstructive and historical orientation of the architecture of the peninsula.

Subject of research: proposals on the figurative orientation of modern Crimean architecture are analyzed. As part of the argument, a critical review of experimental searches in Russia and the West in the 20th and 21st centuries is attached. The key moments of the emergence and development of these search areas, their characteristic features, advantages and disadvantages are highlighted. Particular attention is paid to the reaction of society to the artistic and compositional level of each trend; the importance of this level for the psychological health of the population and the upbringing of the younger generation is noted. The result of solving a similar situation in the middle of the 19th century in Russia, namely the use of the national historical tradition as the main direction in the architecture of a multinational country, is investigated. The interrelation of the figurative nature of the architecture of the Crimea with the development of tourism on the peninsula is also investigated; the economic impact of this relationship.

Materials and methods: A method of critical study of historical stages in the development of modern architecture, during which creative ideas and techniques stand the test of time; use of personal creative experience and other empirical data; method of logical analysis.

Results: On the basis of a historical review, the negative aspects and phenomena in the architectural search for modernism and their causes were identified; an alternative way of forming the figurative component of the Crimean architecture was proposed and substantiated; identified problems in the professional development of young architects; an attempt was made to programmatically approach the figurative orientation of architecture in order to identify like-minded people in the professional environment and achieve greater organization in the proposed direction; the economic effect of the development of the national-historical tradition in the Crimean architecture was revealed.

Conclusions: the result of the development of the modernist direction in architecture, which arose as a form of revolutionary transformation of this field of activity and brought it to a crisis state, indicates that the evolutionary path of development is the only correct one for architecture, as well as for society as a whole. The continuity of the thousand-year development of artistic culture must not be broken. This is the basis of the conviction of the authors of the article in the correctness of the reconstructive and traditional-historical direction of the Crimean architecture.

Key words: architectural image, orientation, modernism, historical tradition, cultural heritage, continuity, tourism development, museumification, economics.

Раздел 2. Строительство

УДК 624.072.33

Т-ОБРАЗНЫЕ УЗЛЫ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Перминов Д.А.

Институт «Академия строительства и Архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: dmitriy714@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются узлы из гнутых профилей прямоугольного сечения. Выполнен анализ распределения напряжений в элементах узла для двух конструктивных решений с усилением и без. Рассмотрен характер разрушения узлов.

Предмет исследования: Т-образные узлы, в которых сечение ригеля было значительно меньшим, чем сечение стойки. Было рассмотрено два типа узлов. Первый тип: с примыканием ригеля к сквозной (без выреза) стойке через специальную пластинку. Второй тип: с непосредственным примыканием ригеля к сквозной стойке и усилением узла двумя подкосами.

Материалы и методы: Расчет напряженно-деформированного состояния моделей узлов рамного каркаса выполнен с помощью ПК «ЛИРА-САПР», теоретической основой которой является метод конечных элементов, реализованный в форме перемещений.

Результаты: По результатам расчета в упругой стадии были получены данные о распределении продольных напряжений в наиболее напряженных сечениях элементов узла.

Выводы: Результаты исследования рамных узлов показали, разрушение узлов происходило или из-за образования трещин, или из-за потери местной устойчивости пластинками узлов. Разрушение всех узлов происходило после образования пластических зон, т.е. в упругопластической стадии работы узла. Также исследования узлов позволили оценить эффективность усиления узлов различными конструктивными элементами или их сочетаниями.

Ключевые слова: рамные узлы, замкнутый гнутый профиль, напряжения, подкос.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывно расширяющееся применение металла в строительных конструкциях связано с внедрением в практику строительства новых конструктивных форм и профилей металла. Рамные конструкции, достаточно широко использующиеся в качестве стальных каркасов зданий и сооружений, традиционно имели в основном двутавровое сечение. В последние годы в практику строительства во всё большей степени внедряются рамные конструкции, выполненные из стержней коробчатого сечения. Намечившаяся тенденция к использованию в таких конструкциях, замкнутых гнутосварных профилей объясняется их преимуществами не только перед традиционными горячекатаными, но и перед цилиндрическими трубчатыми профилями.

Основными преимуществами применения конструкций из замкнутых гнутых профилей, являются следующие: более рациональное распределение металла по сечению, связанное с характерным для замкнутых гнутых профилей наибольшим коэффициентом рациональности формы сечения и наименьшей удельной толщиной стенки; возможность более рационального, чем в открытых профилях, использования высокопрочных сталей; повышенная стойкость против коррозии; возможность встраивать конструкции из замкнутых гнутых профилей в качестве элементов современного интерьера благодаря их привлекательному внешнему виду; возможность изготовления профилей нетрадиционной конфигурации; по сравнению с цилиндрическими трубами прямоугольные замкнутые гнутые профили проще в обработке и при

компоновке узлов конструкций, их жесткость на кручение выше.

Вместе с тем, работа узлов стержневых конструкций из замкнутых гнутых профилей, особенно рамных узлов, изучена недостаточно.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Сквозные строительные конструкции, стержни которых выполнены из замкнутых гнутых профилей, принципиально ничем не отличаются от традиционных конструкций из горячекатаных профилей. Однако у них есть ряд особенностей, вытекающих из их геометрических характеристик и связанных прежде всего с их тонкостенностью.

Необходимость изучения действительной работы таких узлов привела к тому, что выполнено значительное количество исследований по изучению узлов из замкнутых гнутых профилей, в том числе работы И.В. Левитанского и др., Г.И. Кекса, Э.Ф. Гарфа, В.И. Новикова, В.А. Балдина и Н.М. Шейнфельда, Богданди, К. Силаши.

Все эти работы посвящены узлам, в которых стержни работают на центральную нагрузку (растяжение или сжатие).

Работа Шейнфельда является одной из первых, в которой описываются узлы в фермах, созданных ЦНИИСКом, ЦНИИпромзданий, ЦНИИПСК и Укрпроектстальконструкций.

В работе И. В. Левитанского и др. приведены результаты испытания узлов стропильной раскосной фермы, выполненных из замкнутых прямоугольных гнутых профилей с примыканием к поясу сжатого и растянутого раскосов К-образных узлам.

Исследовались узлы с непосредственным примыканием раскосов к поясу и узлы с различными видами усиления, выполненными таким образом, чтобы передать нагрузку от раскосов на большую часть периметра сечения пояса в узле. Применение этих усилений увеличило несущую способность узлов в среднем на 15%

В работах Гарфа и Новикова приводятся результаты исследования узлов ферм с примыканием одного, двух и более элементов решетки к поясу. Выявлены два основных вида разрушения узла:

1) местное деформирование вертикальных стенок пояса;

2) разрушение раскоса по зоне примыкания к поясу. Определены также основные факторы, влияющие на несущую способность узла:

- 1) полуразность в ширине пояса и раскосов;
- 2) толщина стенки пояса;
- 3) угол наклона раскоса к поясу;
- 4) размер продольных стенок раскоса.

На основании проведенных экспериментов были получены графики и эмпирические зависимости для расчета узлов такого типа.

В работе Г.И. Кекса приведены данные о испытании узлов с примыканием одного и двух элементов. Полученные данные в основном подтверждают результаты И.В. Левитанского и Э.Ф. Гарфа.

В работе К. Силаши также исследовались рамы с примыканием одного и двух элементов к поясу и получены аналогичные результаты.

В работе Богданди приводятся примеры различных узлов из замкнутых профилей, которые могут быть применены не только в фермах, но и в рамных конструкциях. Некоторые из этих узлов представляют несомненный интерес. Так, например, показан узел, пояс которого представляет собой замкнутый прямоугольный профиль, а раскосы – круглые полые профили.

Кроме описанных выше исследований интерес представляют исследования, проведенные западногерманской фирмой «Маннесман».

Исследовались узлы ферм, в которых усилия направлены по осям стержней, и рамные узлы, работающие на поперечный изгиб.

В работе Мехротра приведены рекомендации по конструированию Г-образных узлов с соединением ригеля и стойки со скосом их под углом 45° («на ус»), с применением подкосов из гнутого профиля, с применением диафрагмы, а также данные по испытанию Т-образных узлов с подкосами и без подкосов. Вводится понятие о коэффициенте прочности узла. Коэффициент прочности принимается равным отношению напряжения в растянутом раскосе (для решетчатых конструкций) при появлении текучести в узле к пределу текучести. Приводятся значения прочности для некоторых частных случаев.

Общие указания по конструированию узлов сводятся к следующему:

1) Для примыкающих профилей (диагонали, раскосы, ригели) следует выбирать наименьшую толщину стенки при большем периметре.

2) Для сквозных профилей (пояса, стойки) выгодна повышенная толщина стенки.

3) Угол примыкания должен быть не менее 30° .

4) Толщина стенок должна быть не менее 2.9 мм.

5) Отношение ширины примыкающего профиля к ширине стойки или пояса должно быть не менее 0.4.

Однако полученные в этой работе данные не являются достаточно проверенными и обоснованными.

Таким образом, в проведенных исследованиях узлов из гнутых профилей (за исключением выполненных фирмой «Маннесман») фактически не изучалась работа рамных узлов, а исследования, проведенные фирмой «Манесманн», относятся к очень ограниченному сортаменту профилей и носят чисто эмпирический характер.

Исследования коробчатых сечений посвящен ряд работ, в том числе работы Р.Де Бёра, К. Клёппеля и др., Э.Рейсснера, Дж. Хаджи-Арджириса и Г.Л. Кокса, Дж. Хорсвилла, С.А. Ильясевича.

В работах Р.Де Бёра, К.Клёппеля, Э. Рейсснера, Дж. Хорсвилла приводятся результаты исследований коробчатых металлических стержней, причем особое внимание обращено на неравномерность распределения напряжений по периметру сечения. Неравномерность распределения нормальных напряжений в горизонтальных гранях полого коробчатого сечения вызывается так называемым «запоздалым сдвигом». Сущность этого явления сводится к тому, что боковые пластинки коробчатого сечения препятствуют сдвигу других пластинок стержня, а это ведет к накоплению напряжений на участках сечения, примыкающих к боковым пластинкам.

Математическое описание этого явления дано Э. Рейсснером, который, исходя из предпосылки о параболическом распределении продольных напряжений в горизонтальных гранях сечения коробчатой балки, предложил дифференциальное уравнение, связывающее прогибы точек горизонтальных пластинок с изгибающими моментами и геометрическими характеристиками. Исходя из этого дифференциального уравнения, автор получил значения напряжений для некоторых частных случаев (балка, защемленная по краям, консоль с линейным изменением нагрузки). Решения представлены в виде суммы двух слагаемых: первое слагаемое представляет собой решение элементарной теории сопротивления материала, второе слагаемое – поправка, учитывающая влияние «запоздалого сдвига».

В работе Г.Л. Кокса решается аналогичная задача, но другим методом (в рядах), и решение не доводится до практического результата.

В работах Р.Д. Бёра и К. Клёппеля предлагается заменить фактическую площадь поперечного сечения с параболическим распределением напряжений эквивалентной площадью с

прямолинейным распределением напряжений максимальной величины.

В работе Р.Д. Бёра эта задача решается для коробчатой балки на двух опорах, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

В работе К. Клёппеля рассматривается сжато-изогнутая балка на двух опорах. Здесь параболическое распределение напряжений наблюдается по всем четырем сторонам коробчатого сечения. В этой работе размер эквивалентного участка находится путем решения системы уравнений, связывающих линейные размеры сечения и напряжения.

В работе Ильясевиича приводится методика расчета одно- и многосекционных коробчатых сечений на изгиб и кручение применительно к расчету коробчатых металлических мостов. Описываются также результаты экспериментального исследования тонкостенной коробчатой конструкции. Большим интерес представляют эпюры нормальных напряжений в верхнем листе профиля, максимальные значения которых соответствуют местам установки вертикальных ребер.

Стержни с полигональным замкнутым поперечным сечением имеют пока незначительное применение: в качестве осветительных мачт. В качестве элементов рамных конструкций такие стержни не использовались. В то же время, конструкции из стержней полигонального сечения несомненно заслуживают внимания, т.к. соединяют в себе качества конструкций с прямоугольным и круглым полым поперечным сечением.

Как видно из приведенного выше обзора работ, неравномерность распределения напряжений исследовалась многими авторами.

При исследовании работы замкнутого гнутого профиля, представляющего собой частный случай коробчатого сечения, важным является учет свойств криволинейных элементов гнутых профилей (ребер и гофров).

Особенностями гнутых профилей является наличие зон упрочнения в местах, где металл подвергался холодному гнутью, а также одинаковая толщина металла холодногнутого профилей по всему периметру сечения.

Исходя из выше сказанного, целью исследований является изучение напряженного состояния рамных узлов, выполненных из замкнутых гнутых профилей прямоугольного сечения.

Задачами исследования являются: исследование работы на поперечный изгиб рамных узлов, выполненных из замкнутых гнутых профилей; уточнить характер концентрации напряжений в узлах различной конструктивной формы; определить характер распространения зон пластичности в элементах узла; выявить прочностные свойства узлов в зависимости от их конструктивных особенностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретическое исследование распределения напряжений в зонах узловых соединений классическими методами теории упругости весьма затруднительно. Это вызвано разнообразием конструкций узлов, особенностями внешнего нагружения, а также крайне сложным взаимодействием элементов узла. В связи с этим, расчет напряженно-деформированного состояния модели узла рамного каркаса выполнен методом конечных элементов (МКЭ). Теоретической основой ПК «ЛИРА» является МКЭ, реализованный в форме перемещений. Выбор именно этой формы объясняется простотой ее алгоритмизации и физической интерпретации, наличием единых методов построения матриц жесткости и векторов нагрузок для различных типов конечных элементов, возможностью учета произвольных граничных условий и сложной геометрии рассчитываемой конструкции.

Таким образом, для проведения исследования были созданы численные модели узлов (рис. 1, 2).

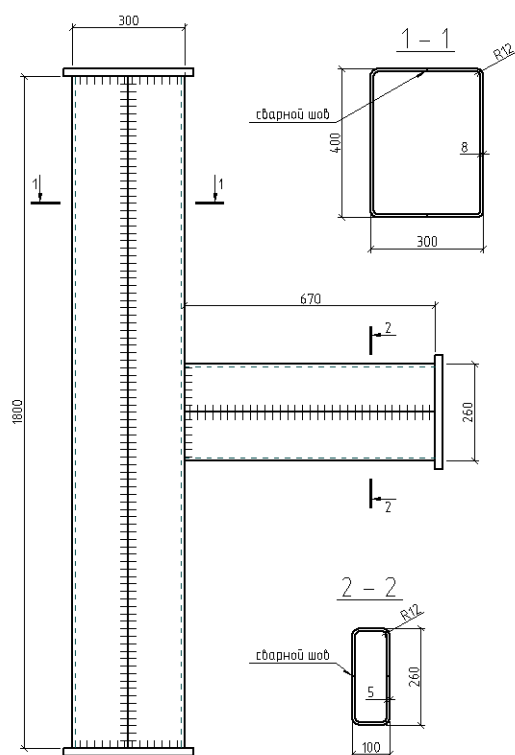


Рис. 1. Узел №1
Fig. 1. Knot No1

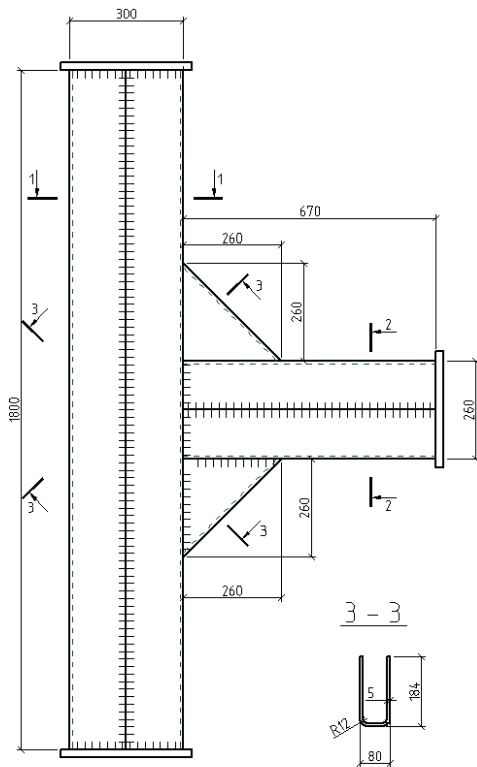


Рис. 2. Узел №2
Fig. 2. Knot No2

Узлы выполнялись при каждом типе поперечного сечения в нескольких вариантах конструктивного решения: Т-образные узлы, в которых сечение ригеля было значительно меньшим, чем сечение стойки:

- с примыканием ригеля к сквозной (без выреза) стойке через специальную пластинку;
- с непосредственным примыканием ригеля к сквозной стойке и усилением узла двумя подкосами или подкосом и диафрагмой.

Отличительной особенностью узла №2 является то, что в узле было установлено два подкрепляющих элемента в виде гнутого швеллера с высотой стенки 80 мм, с полками, вырезанными в виде прямоугольных треугольников с длиной катета 260 мм, прямые углы которого входили в углы Т-образного рамного узла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Анализ данных проведенных испытаний показал, что элементы узлов не теряют устойчивости в упругой стадии. Последовательность развития напряженного состояния наблюдалась такая: сначала рост концентрации напряжений в отдельных точках, затем появление пластических деформаций, после этого потеря местной устойчивости или образование трещин в местах концентрации напряжений.

В связи с этим основной проблемой при обеспечении несущей способности узла является не защита его элементов от потери устойчивости (т.к. это уже вторичное явление), а создание таких условий работы, при которых напряжения в узле не достигнут значений предела текучести.

Ниже приводятся данные о распределении продольных напряжений в наиболее напряженных сечениях узла (рис. 3 – 10).

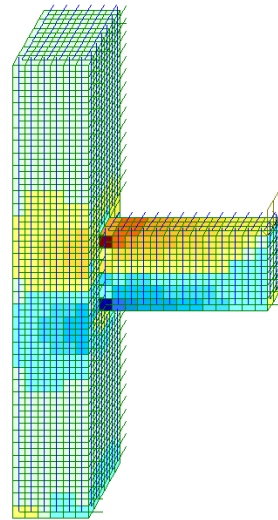


Рис. 3. Мозаика распределение напряжений σ_x в узле №1
Fig. 3. Mosaic stress distribution σ_x in node No1

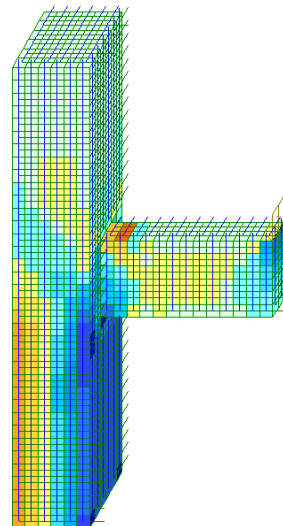


Рис. 4. Мозаика распределение напряжений σ_y в узле №1
Fig. 4. Mosaic stress distribution σ_y in node No1

Пики напряжений возникают на пластинке стойки по оси ригеля у верхней и нижней его граней. Пики обратного знака возникают на ребрах. Величины пиков на ребрах существенно ниже пиков на оси пластинки, что объясняется работой поперечного сечения стойки в месте стыка как П-образной. Пики локализируются на боковых пластинках, захватывая их на 3/4 (на 20÷22 см). Синусоидальный вид эпюры напряжений по оси пластинки и на ребрах перед разрушением заменяется эпюрами одного знака (растяжение по оси пластинки и сжатие на ребрах). Воздействие ригеля локализуется на расстоянии 40÷45 см от ригеля.

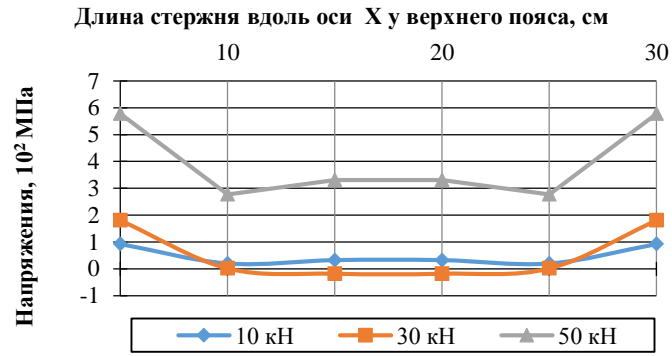


Рис. 5. Эпюра распределения напряжений σ_x узле №1

Fig. 5. Stress distribution diagram σ_x in node No1

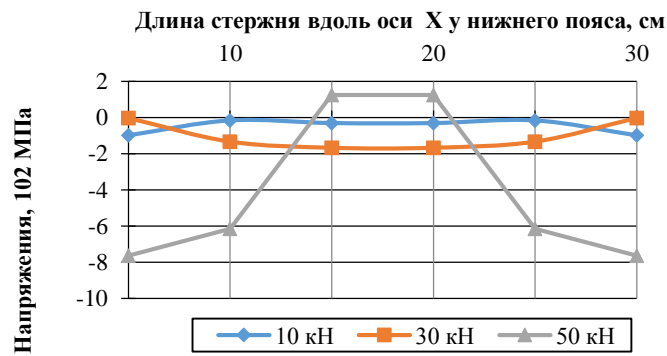


Рис. 6 - Эпюра распределения напряжений σ_x узле №1

Fig. 6. Stress distribution diagram σ_x in node No1

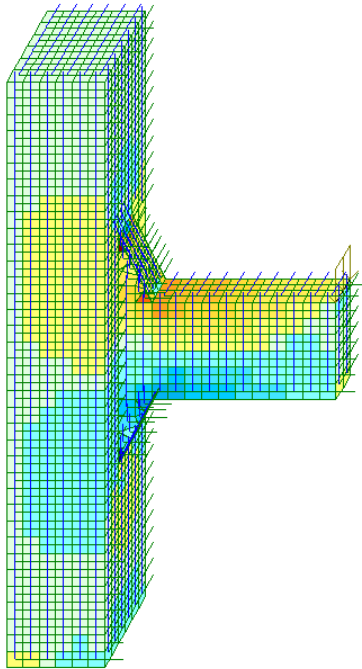


Рис. 7. Мозаика распределение напряжений σ_x в узле №2
Fig. 7. Mosaic stress distribution σ_x in node No2

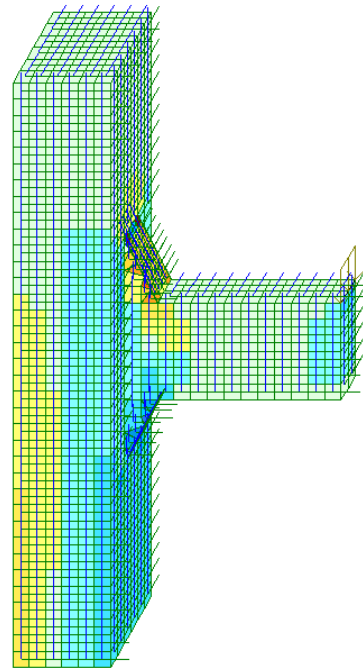


Рис. 8. Мозаика распределение напряжений σ_y в узле №2
Fig. 8. Mosaic stress distribution σ_y in node No2

Приведенные выше данные пиков напряжений и их локализации кратко показаны в таблице 1.

Из таблицы 1 видно следующее:

1) У Т-образных узлов без подкосов пики напряжений образуются непосредственно у сварных швов, соединяющих верх и низ ригеля с пластинкой стойки.

2) У Т-образных узлов с подкосами пики напряжений расположены у верхнего края верхнего подкоса и у нижнего края нижнего подкоса.

3) Величина пиков у Т-образных узлов без подкосов больше, чем у соответствующих узлов с подкосами.

4) Расстояние вдоль по пластинке, на котором локализуется пик напряжений, у Т-образных узлов с подкосами меньше, чем у соответствующих узлов без подкосов, но общая длина участка (вдоль стойки), на

котором локализуется воздействие ригеля, больше у узлов с подкосами (из-за дополнительной длины катетов подкосов).

Рассмотрение полученных экспериментальных данных показывает, что градиенты концентрации напряжений по горизонтальной и вертикальной осям имеют у Т-образных узлов (кроме узлов с гофрированным сечением) градиент по горизонтальной оси значительно больше. Объясняется это тем, что деформации пластинки стойки Т-образного узла по вертикали могут распространяться относительно свободно, а по горизонтали этому препятствуют ребра стойки.

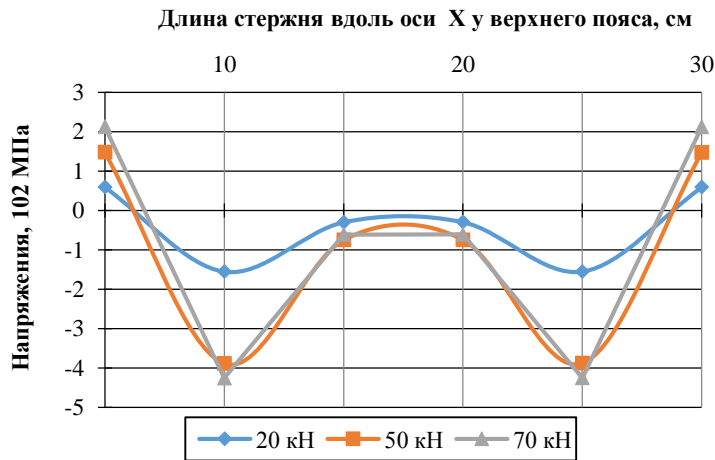


Рис. 9. Эпюра распределения напряжений σ_x узле №2
Fig. 9. Stress distribution diagram σ_x in node No2

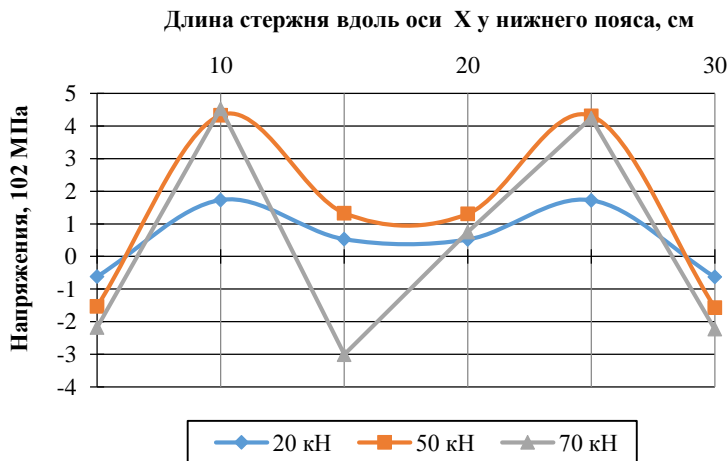


Рис. 10. Эпюра распределения напряжений σ_x в узле №2
Fig. 10. Stress distribution diagram σ_x in node No2

Таблица 1. Сводная таблица расположения пиков продольных нормальных напряжений в узлах
Table 1. Summary table of the location of the peaks of longitudinal normal stresses in the nodes

№ Узла	Место расположения пика напряжений	Локализация пика напряжений по периметру сечения элемента узла	Локализация пика напряжений вдоль по пластинке	Примечание
Узел №1	На уровне верха и низа ригеля (на пластине стойки)	3/4 боковых пластинок	40-45 см от ригеля (общая длина-105-115 см)	
Узел №2	У верхнего края верхнего подкоса и у нижнего края нижнего подкоса	3/4 боковых пластинок	25-30 см от края подкосов (общая длина-130-140 см)	

ВЫВОДЫ

Характер разрушения узлов следующий. При разрушении Т-образных узлов без подкосов в пластинках, к которым примыкали ригели, возникали максимальные деформации.

Т-образные узлы с двумя с подкосами имели существенно меньше деформации, а после снятия нагрузки ригели в значительной степени возвращались к исходному положению. Это свидетельствует о большей жесткости Т-образных узлов с подкосами по сравнению с узлами без подкосов.

Рассмотрение характера разрушения рамных узлов дает возможность сделать следующие выводы:

1) Разрушение узлов происходило или из-за образования трещин, или из-за потери местной устойчивости пластинками узлов. Разрушение всех узлов происходило после образование пластических зон, т.е. в упругопластической стадии работы узла.

2) В узлах №1 и №2 возникали большие деформации, но они не были разрушены.

Исследования узлов позволили оценить эффективность усиления узлов различными конструктивными элементами или их сочетаниями.

С точки зрения теоретических методов расчета можно оценить для каждого типа конструктивного решения стыка, какие силовые факторы изменяются при каждом усилении узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ажермачев Г.А., Перминов Д.А. Конструктивное решение рамного узла, обеспечивающее снижение влияния концентраторов напряжений // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Symferopol-Lublin : 2009. Том 11А. – С. 94-100.
2. Ажермачев Г.А., Остриков Г.М. Экспериментальное исследование узловых соединений рамных каркасов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1972. № 9. – С. 2-6.
3. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. – 344 с.

4. Лира 9.4. Примеры расчета и проектирования: Учебное пособие / Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д., Куценко А.Н. Киев: Факт, 2008. – 280 с.

5. Лихтарников Я.М. Исследование узлов рамного типа из гнутых профилей // Промышленное строительство. 1971. № 10. – С. 32–34.

6. FEMA-352. Recommended Postearthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded Steel Moment-Frame Buildings / Federal Emergency Management Agency, SAC Joint Venture. June 2000.

7. Choi Jaehyung, S.C. Goel, B. Stojadinovic. Development of Free Flange Moment Connection // Technical Report UMCEE 00-15, Dep. of Civil and Environmental Eng. The University of Michigan, 2000.

8. Молев И.В., Святошенко А.Е. Создание расчетной модели рамного узла и обоснование принятых упрощений // Технические науки : сб. тр. аспирантов и магистрантов. Н. Новгород, 2005. – С. 40-43.

9. Гузненков В.Н., Журбенко П.А. Компьютерное моделирование как основа геометрической подготовки в техническом университете // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, 2016. Вып. 4. – С.64-65.

10. Металлические конструкции. В 3 т. Т.3. Стальные сооружения / ред. В.В. Кузнецов. – М.: изд. АСВ, 1999. – 528 с.

11. Килимник Л.Ш., Лаврентьева Л.Э. Работа узлов стальных каркасов зданий при статических и циклических нагрузках // Промышленное строительство. 1970. № 9. – С. 28-32.

12. Перминов Д.А. Исследование напряженного состояния узлов из гнутых профилей замкнутого сечения // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, 2017. Вып. 7. – С.47-54.

REFERENCES

1. Agermachev G.A., Perminov D.A. Structural solution of the frame node, providing a reduction in the influence of stress concentrators // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Symferopol-Lublin : 2009. Том 11А. – Pp. 94–100.

2. Agermachev G.A., Ostrikov G.M. Experimental study of nodal joints of frame frames // News universities. Construction and architecture. 1972. No 9. – Pp. 2-6.
3. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Komputernie modeli konstrukcij [Computer models of structures]. K.: Fakt, 2005. – 344 p.
4. LIRA 9.4. Primery rascheta i proektirovaniya: Uchebnoe posobie [Examples of calculation and design: Tutorial] / Bogovis V.E., Genzerskiy U.V., Geraimovich U.D., Kucenko A.N. Kiev: Fakt, 2008. – 280 p.
5. Lihtarnikov I.M. Investigation of frame-type units from bent profiles // Industrial engineering. 1971. No 10. – Pp. 32-34.
6. FEMA-352. Recommended Postearthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded Steel Moment-Frame Buildings / Federal Emergency Management Agency, SAC Joint Venture. – June 2000.
7. Choi Jaehyung, S. C. Goel, B. Stojadinovic. Development of Free Flange Moment Connection // Technical Report UMCEE 00-15, Dep. of Civil and Environmental Eng. The University of Michigan, 2000.
8. Molev I.V., Sviatoshenko I.V. Creation of a calculation model of a frame node and justification of the accepted simplifications // Technical sciences: a collection of works of graduate students and undergraduates. N. Novgograd, 2005. – Pp. 40-43.
9. Guzenkov V.N., Gurbenko P.A. Computer modeling as the basis of geometric-graphic training at a technical university // Construction and industrial safety. Simferopol, 2016. Vol. 4. – Pp.64-65.
10. Metalicheskie konstrukcii [Metal structures]. In 3 volumes. Vol. 3. Steel structur / V.V. Kuznetsov. – M.: ed. ASV, 1999. – 528 p.
11. Kilimnik L.S., Lavrentieva L.E. Operation of steel frame node of buildings under static and cyclic loads // Industrial engineering. 1970. No 9. – Pp. 28-32.
12. Perminov D.A. Investigation of the stress state of nodes from bent profiles of a closed section // Construction and industrial safety. Simferopol, 2017. Vol. 7. – Pp.47-54.

T-SHAPED NODES FROM BENT PROFILES OF RECTANGULAR SECTION

Perminov D.A.

Academy of Construction and Architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Kievskaya str., 181, e-mail: dmitriy714@mail.ru

Abstract. In article knots from bent profiles of the closed section are considered. The analysis of distribution of tension in knot elements for two constructive decisions with strengthening is made and without. The nature of destruction of knots is considered.

Subject of research: T-shaped node, in which the cross section of the crossbar was significantly smaller than the cross section of the rack. Two types of nodes were considered. The first type: with the adjoining of the crossbar to the through (without cutout) rack through a special plate. The second type: with a direct adjoining of the crossbar to the through rack and strengthening the node with two struts.

Materials and methods: The calculation of the stress-strain state of the models of the frame nodes was performed using the LIRA-CAD software package, the theoretical basis of which is the finite element method, implemented in the form of displacements.

Results: Based on the results of the calculation in the elastic stage, data were obtained on the distribution of longitudinal stresses in the most stressed sections of the assembly elements.

Conclusions: The results of the study of frame nodes showed that the destruction of the nodes occurred either due to the formation of cracks, or due to the loss of local stability by the plates of the nodes. The destruction of all nodes occurred after the formation of plastic zones, i.e. in the elastoplastic stage of the node operation. Also, the studies of nodes made it possible to evaluate the effectiveness of strengthening the nodes with various structural elements or their combinations.

Key words: frame nodes, closed bent profile, stresses, strut.

УДК 624.014

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНОЙ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ РАМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МОРСКОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Синцов А.В., Данченко Н.В.

Институт «Академия строительства и Архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: sin59@bk.ru

Аннотация. Одним из ключевых регионов роста добычи нефти и газа в ближайшей перспективе для российской нефтяной промышленности является Северный Каспий. Шельф Каспийского моря разрабатывает компания ОАО «Лукойл». Самое крупное из разведанных в России за последние 20 лет, месторождение им. В. Филановского, в нем сосредоточены основные извлекаемые запасы нефти. Для освоения месторождения им. В. Филановского строится комплекс гидротехнических сооружений и одним из этих сооружений комплекса является ледостойкая морская платформа.

Предмет исследования: Опорные блоки и многоярусную стальную палубу морской стационарной платформы (МСП) изготавливают и оснащают на судоремонтном заводе. Для доставки таких крупногабаритных и тяжелых блоков МСП на место установки в море требуется стальная укрупнительная рама (СУР). СУР представляет собой сложное пространственное стержневое инженерное сооружение. Работа элементов и узлов СУР изучена недостаточно глубоко и требует уточнения.

Материалы и методы: ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах стержневых металлических конструкций. Для изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов СУР и узлов их сопряжения разработаны две конечно-элементные модели (КЭМ) с учетом особых нагрузок на различных этапах транспортировки.

Результаты: В результате исследований на статическое и динамическое воздействие от внешних нагрузок получены - деформированные и прочностные схемы с информацией по элементам СУР. По результатам анализа прочностных расчетов получены следующие данные - при нагрузке «волнение «вверх - вниз справа», усилия в элементах 2-й КЭМ по отношению к 1-й КЭМ ниже на 1 %; - при нагрузке «волнение «скручивание левое против часовой», усилия в элементах 2-й КЭМ по отношению к 1-й КЭМ ниже на 11-20 %; - устройство поясов вертикальных ферм (ВФ) в виде составного Н-образного профиля из стали 14Г2 снижает расход материала до 5 % по сравнению с альтернативными сечениями; устройство решетки ВФ трубчатого сечения и связевых элементов из стали 14Г2 снижает расход материала до 25 % для элементов решетки и до 10 % для связевых элементов по сравнению с альтернативными сечениями.

Выводы: СУР, которые соединяют между собой опорные блоки МСП, необходимо проектировать в виде пространственного стержневого бруса, состоящего из вертикальных ферм прямоугольного очертания, с подкосами в приопорных панелях. Для придания СУР более высокой жесткости вертикальные фермы объединяются между собой системой вертикальных и горизонтальных связей.

Ключевые слова: морская стационарная платформа, стальная укрупнительная рама, конечный элемент, прочность, устойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых регионов роста добычи нефти и газа в ближайшей перспективе для российской нефтяной промышленности является Северный Каспий. Шельф Каспийского моря разрабатывает компания ОАО «Лукойл». Самое крупное из разведанных в России за последние 20 лет, месторождение им. В. Филановского, в нем сосредоточены основные извлекаемые запасы нефти [1].

Для освоения месторождения им. В. Филановского строится комплекс гидротехнических сооружений (рис. 1.) и одним из этих сооружений комплекса является ледостойкая морская платформа (ЛСП-1).



Рис. 1. Комплекс сооружений для обустройства месторождения им. В. Филановского.
Fig. 1. A complex of facilities for the development of the field named after V. Filanovsky

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Тяжелые погодные условия в точке установке ЛСП, удаленность от берега, продолжительность закрепления платформы предъявляют к сооружениям данного типа требования высокой степени заводской готовности со сведением к минимуму объемов сборочно-монтажных работ, выполняемых непосредственно в открытом море. Изготовление элементов, блоков, секций, модулей осуществляется на специализированных береговых судоремонтных и судостроительных заводах [2, 3, 6].

Исходя из вышесказанного, опорные блоки и многоярусную стальную палубу морской стационарной платформы (МСП) изготавливают и оснащают на судоремонтном заводе. Для доставки таких крупногабаритных и тяжелых блоков МСП на место установки в море требуются стальные укрупнительные рамы (СУР). Работа элементов и узлов таких СУР изучена не достаточно глубоко. Стальная укрупнительная рама (СУР) представляет собой сложное пространственное стержневое инженерное сооружение.

На сегодняшний день в качестве руководства по проектированию СУР применяют рекомендации государственных и ведомственных строительных норм [9, 10], а также результаты исследований немногих авторов (Г. В. Симаков, Ш.Э. Булгаков, П.П. Бородавкин, В.С. Игнатович, П.П. Адамянц [5, 7, 8]). Интересная информация по данному вопросу представлена в работах [4, 11].



Рис. 2. Момент объединения опорных блоков платформы стальной укрупнительной рамой на строительной площадке

Fig. 2. The moment of combining the supporting blocks of the platform with a steel enlargement frame at the construction site

Напряженно-деформированное состояние (НДС) элементов СУР и узлов их сопряжения зависит от их конструктивного решения особых нагрузок при транспортировке. Информация о поведении таких конструкций под нагрузкой ограничена и требует дополнительных исследований. В этой связи возникла необходимость проверки металлических конструкций СУР с использованием рекомендуемого для этих целей ПК «ЛИРА САПР» [12].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для исследования поведения элементов СУР под нагрузкой были разработаны две пространственных конечно-элементных модели, представленные на рис. 3.

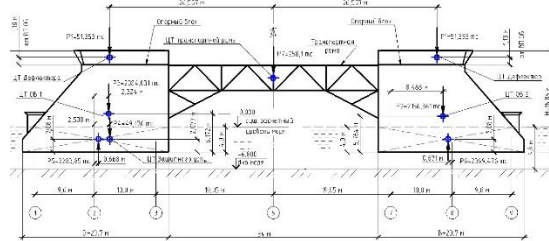


Рис.3. Общий вид расчетной модели стальной укрупнительной рамы
Fig. 3. General view of the design model of the steel enlargement frame

В моделях СУР основные вертикальные фермы выполнены прямоугольного очертания.

Отличие 2-ого вариант конечно-элементной модели (КЭМ) СУР от 1-ого состоит в следующем:

- в приопорных панелях ферм установлены подкосы для увеличения высоты ферм;
- фермы объединены между собой в единый пространственный стержневой блок вертикальными связями и системами горизонтальных связей в уровне верхних и нижних поясов ферм.

В результате проведенных расчетов на различные виды загрузки моделей определены максимальные перемещения узлов моделей и максимальные усилия в конечных элементах СУР. Результаты исследований представлены на рис. 4...10.

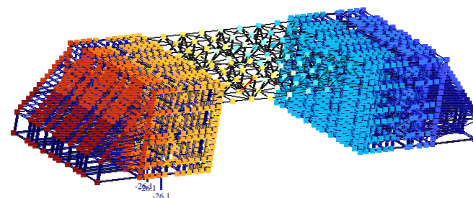
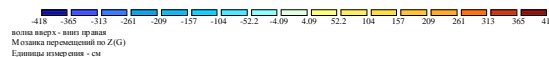


Рис. 4. Деформированная схема расчетной модели стальной укрупнительной рамы (волнение -верх-вниз правая).

Fig. 4. Deformed diagram of the design model of the steel consolidation frame (excitement-upside-down right).

Анализируя результаты деформационных расчетов по жесткости можно сделать следующие выводы.

- при волнении «вверх – вниз правая» жесткость второй КЭМ по отношению к первой КЭМ выше на 3 %;
- при волнении «скручивание левое против часовой» жесткость второй КЭМ по отношению к первой КЭМ выше на 35 %;

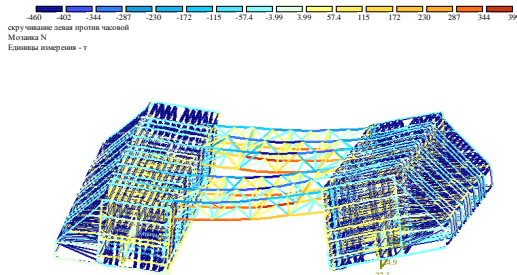
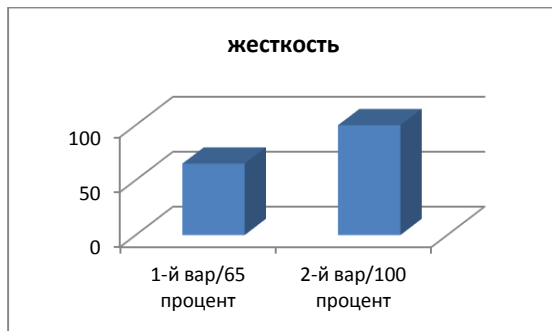


Рис. 5. Продольные усилия в элементах расчетной модели стальной укрупнительной рамы (скручивание левое против часовой)

Fig. 5. Longitudinal forces in the elements of the design model of a steel enlargement frame (twisting left counterclockwise)

А.



Б.

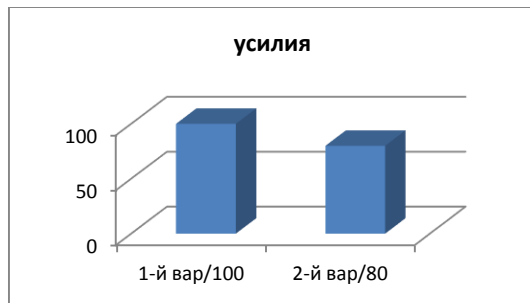


Рис. 6. Сравнение результатов расчетов моделей стальной укрупнительной рамы:

А – деформационных, Б – прочностных

Fig. 6. Comparison of the results of calculations of steel enlargement frame models:

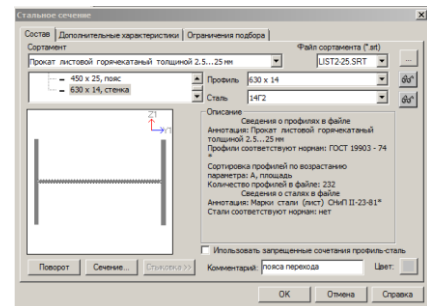
А – deformation, В – strength

Анализируя результаты прочностных расчетов можно сделать следующие выводы.

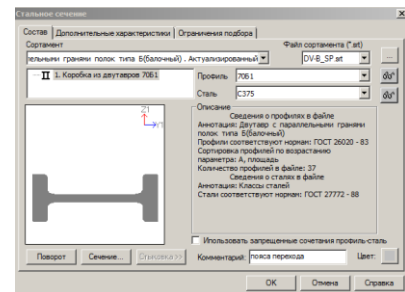
- при волнении «вверх – вниз правая» усилия в элементах второй КЭМ по отношению к первой КЭМ ниже на 1 %;
- при волнении «скручивание левое против часовой» усилия в элементах второй КЭМ по отношению к первой КЭМ ниже на 11-20 %.
- принимаем решение – для дальнейших исследований по подбору эффективного сечения элементов стальной укрупнительной рамы используем второй вариант СУР.

Дальнейшие исследования позволили определить эффективные сечения элементов усовершенствованного варианта стальной укрупнительной рамы – 2-я конечно-элементная модель.

Для сравнения рассматривались следующие сечения элементов стальной укрупнительной рамы А.



Б.



В.

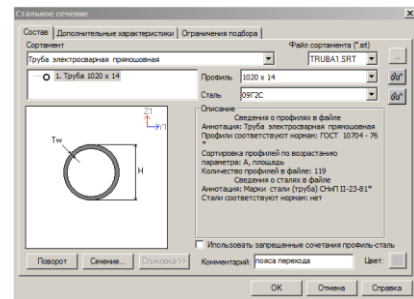


Рис. 7. Сечения элементов, принятые для сравнения:

А – составное Н-образное сечение, Б – составной короб из 2-х двутавров, В – трубчатое.

Fig. 7. Sections of elements taken for comparison:

А – composite H-shaped section, В – composite box of 2 I-beams, С - tubular.

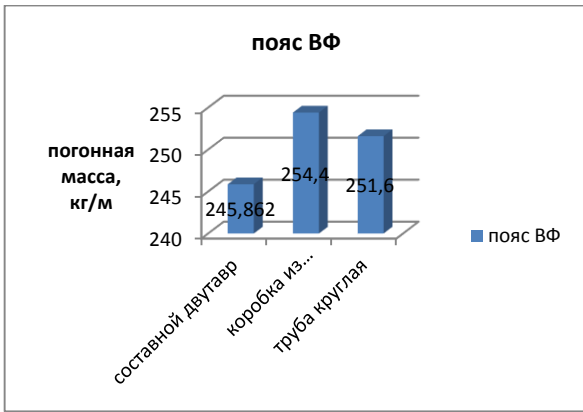


Рис. 8. Сравнение результатов подбора сечений поясов вертикальных ферм стальной укрупнительной рамы
Fig. 8. Comparison of the results of the selection of sections of the chords of vertical trusses of a steel enlargement frame

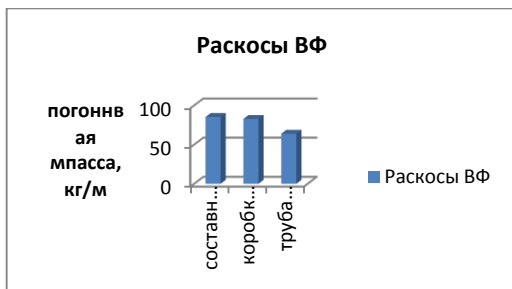


Рис. 9. Сравнение результатов подбора сечений раскосов вертикальных ферм стальной укрупнительной рамы
Fig. 9. Comparison of the results of selection of sections of braces of vertical trusses of a steel enlargement frame

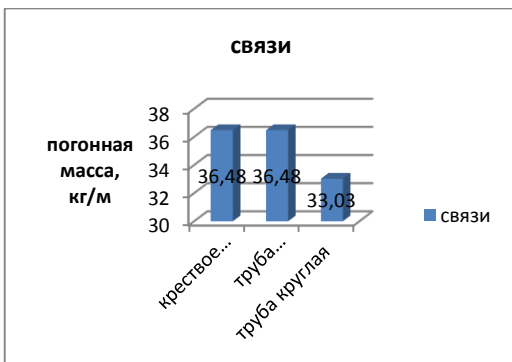


Рис. 10. Сравнение результатов подбора сечений связей стальной укрупнительной рамы
Fig. 10. Comparison of the results of the selection of cross sections of the steel enlargement frame ties

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы:

- устройство поясов вертикальных ферм в виде составного Н-образного профиля стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить

расход материала на 3,5...5 % по сравнению с альтернативными сечениями;

- устройство решетки вертикальных ферм трубчатого сечения из стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить расход материала на 22,8...25 % по сравнению с альтернативными сечениями;

- устройство решетки вертикальных ферм трубчатого сечения из стали высокой прочности 14Г2 позволило снизить расход материала на 3,9...9,5 % по сравнению с альтернативными сечениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Рекомендации по проектированию.

СУР – это конструкция, предназначенная для транспортировки по реке и морю и установке ледостойкой стационарной платформы (ЛСП) на точку добычи углеводородов и должна удовлетворять требованиям прочности, устойчивости, неизменяемости конструкции, а также технологическим требованиям – соблюдению разрывов между блоками и размеров блоков ЛСП по высоте.

Алгоритм проектирования СУР:

1. Вертикальные фермы СУР выполняются прямоугольного очертания. При этом расположение элементов должно быть выше уровня воды по пути следования и на месте установки на точку всех элементов СУР и их узлов крепления к опорным блокам с учетом несущих стоечно-балочных элементов опорных блоков ЛСП.

2. Для снижения усилий в опорных элементах СУР в приопорных панелях вертикальных ферм необходимо устанавливать подкосы для увеличения высоты ферм.

3. Для придания СУР высокой жесткости вертикальные фермы должны быть объединены между собой в единый пространственный стержневой блок вертикальными связями и системами горизонтальных связей в уровне верхних и нижних поясов ферм.

4. Исполнение узловых соединений связевых элементов с несущими вертикальными фермами СУР возможно, как в бесфасоночном исполнении, так и с вертикальными и горизонтальными ребрами.

5. При проектировании стальной укрупнительной рамы элементы вертикальных ферм и связей следует принимать по расчету следующих сечений:

- пояса вертикальных ферм – сварной Н - образный профиль;
- раскосы вертикальных ферм – труба круглая;
- стойки вертикальных ферм – труба круглая;
- опорный раскос – сварной двутавр;
- горизонтальные связи – труба круглая;
- вертикальные связи - труба круглая;
- распорки связей - труба круглая.

6. Компоновку конструкций и узлов сопряжения элементов СУР между собой проводить в соответствии с решениями, приведенными на рис. 11.

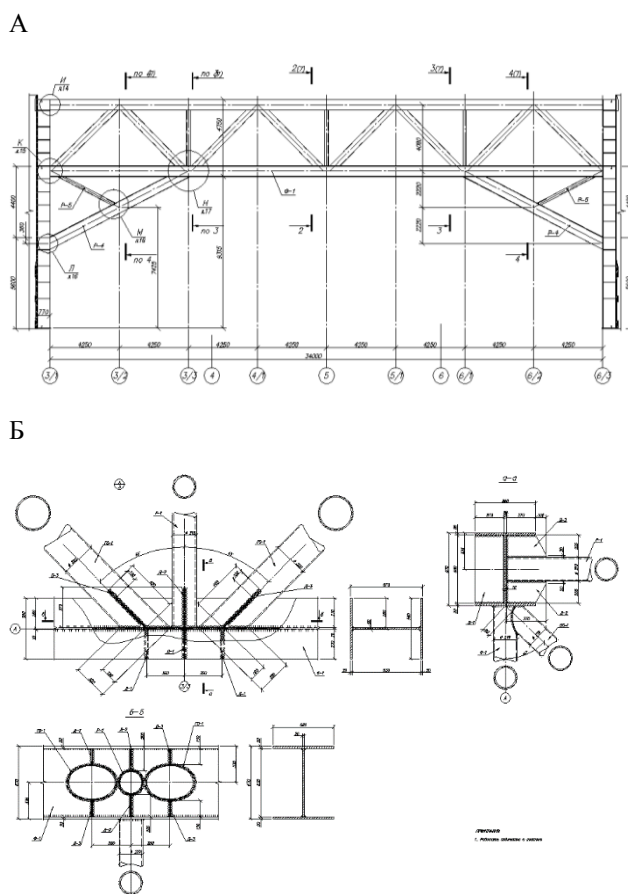


Рис. 11. Конструктивное решение стальной укрупнительной рамы. А - вид поперечной вертикальной несущей фермы; Б - решение узлов сопряжения связей с элементами фермы
Fig. 11. Structural solution of steel enlargement frame. А - a cross-sectional view of a vertical supporting truss; Б - solution of junctions of connections with farm elements

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов Р.А. Оценка сложности добычи нефти на российском шельфе // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-slozhnosti-dobychi-nefti-na-rossiyskom-shelfe>.
2. Дубинина Н.А. Перспективы развития проектов ОАО «Лукойл» на северном Каспии [текст] / Дубинина Н.А. // Вестник астраханского государственного технического университета. – 2015. – №1(59). – С.102-108.
3. <http://pasis20.ru/news/dsfasdexcv/>
4. Напряженно деформированное состояние монтажной рамы для транспортировки палубы ледостойкой стальной платформы для Каспийского моря [текст] / В. П. Синцов [и др.] //

Металлические конструкции. – 2012. – №4. – С. 255-265.

5. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование: Недра – Бизнесцентр, 2006. – 560 с.

6. <http://www.rs-class.org/ru/register/news/detail.php?ID=6662>.

7. Адамянц П.П. Проектирование обустройства морских нефтегазовых месторождений / П. П. Адамянц, Ч. С. Гусейнов, В. К. Иванец. – Москва: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, ООО ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. – 496 с.

8. Носков Б. Д. Сооружения континентального шельфа / Б. Д. Носков. – Москва: МИСИ, 1986. – 202 с.

9. НД 2-020201-012. РМРС. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Санкт-Петербург, 2012.

10. ВСН 41.88. Проектирование морских ледостойких стационарных платформ. – Москва: Миннефтепром, 1988.

11. Синцов В.П. К вопросу расчета узлов тяжелых ферм монтажной рамы для транспортировки палубных конструкций [текст] / Синцов В.П., Митрофанов В.А., Синцов А.В. // Промышленное и гражданское строительство. – Екатеринбург, 2014. – №6. – С. 72-76.

12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. – 344 с.

REFERENCES

1. Mochalov R.A. Assessment of the complexity of oil production on the Russian shelf // Interexpo Geo-Siberia. – 2015. – №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-slozhnosti-dobychi-nefti-na-rossiyskom-shelfe>.
2. Dubinina N.A. Prospects for the development of projects of OJSC "Lukoil" in the northern Caspian [text] / Dubinina N.A. // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. – 2015. – No. 1 (59). – Pp.102-108.
3. <http://pasis20.ru/news/dsfasdexcv/>
4. Stress-strain state of the mounting frame for transporting the deck of an ice-resistant steel platform for the Caspian Sea [text] / V.P. Sintsov [et al.] // Metal structures. – 2012. – №4. – Pp. 255-265.
5. Borodavkin P.P. Offshore oil and gas facilities. Part 1. Design: Nedra – Business Center, 2006 – 560 p.
6. <http://www.rs-class.org/ru/register/news/detail.php?ID=6662>.
7. Adamyants P.P. Designing the development of offshore oil and gas fields / P.P. Adamyants, Ch.S. Guseynov, V.K. Ivanets. – Moscow: Russian State University of Oil and Gas. I.M. Gubkina, CenterLitNefteGaz LLC, 2005. – 496 p.
8. Noskov B.D. Structures of the continental shelf / B.D. Noskov. – Moscow: MISI, 1986. – 202 p.

9. ND 2-020201-012. RMRS. Rules for the classification, construction and equipment of floating drilling rigs and fixed offshore platforms. St. Petersburg, 2012.

10. VSN 41.88. Designing offshore ice-resistant stationary platforms. – Moscow: Minneftprom, 1988.

11. Sintsov V.P. On the issue of calculating the knots of heavy trusses of the mounting frame for

transporting deck structures [text] / Sintsov V.P., Mitrofanov V.A., Sintsov A.V. // Industrial and civil construction. - Yekaterinburg, 2014. – No. 6. – Pp. 72-76.

12. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. K.: Fact, 2005.344 p.

FEATURES OF THE ELEMENTS OF THE STEEL ENLARGING FRAME FOR THE TRANSPORTATION OF THE OFFSHORE STEEL PLATFORM

Sintsov A.V., Danchenko N.V.

Institute «Academy of Civil Engineering and Architecture», V.I. Vernadsky Crimean Federal University, address: Simferopol, st. Kievskaya, 181, e-mail: sin59@bk.ru

Abstract. One of the key regions of oil and gas production growth in the near future for the Russian oil industry is the Northern Caspian. The Caspian Sea shelf is being developed by JSC "Lukoil". The largest of the explored in Russia over the past 20 years, the V. Filanovsky field, it contains the main recoverable oil reserves. A complex of hydraulic structures is being built for the development of the V. Filanovsky field, and one of these structures of the complex is an ice-resistant offshore platform.

Subject of research: The support blocks and the steel deck of the offshore stationary platform are manufactured and equipped at the ship repair plant. To deliver such large-sized and heavy blocks of the offshore platform to the installation site in the sea, a steel enlarging frame is required. The steel enlarging frame is a complex spatial rod engineering structure. The operation of elements and nodes has been little studied and requires clarification.

Materials and methods: The LIRA CAD software package allows you to get a picture of the stress distribution in the elements of rod metal structures. To study the stress-strain state of the elements of the steel enlarging frame and their coupling nodes, two finite element models have been developed taking into account special loads at various stages of transportation.

Results: As a result of studies of static and dynamic effects from external loads, deformed and strength schemes with information about the elements of the steel frame were obtained. According to the results of the analysis of strength calculations, the following data were obtained: - with the load "excitement" up and down on the right, "efforts decrease by 1%; - with the load "excitement", twisting to the left counterclockwise," efforts decrease by 11-20%; - the device of vertical truss belts (VF) in the form of a composite H-shaped profile made of high-strength steel reduces the material consumption by up to 5% compared to alternative sections; the device of a VF lattice of tubular cross-section and connecting elements made of high-strength steel reduces the material consumption by up to 25% for lattice elements and up to 10% for connecting elements.

Conclusions: The steel enlarging frame, which connects the supporting blocks of the offshore steel platform, must be designed in the form of a spatial rod beam consisting of vertical trusses of rectangular shape, with struts in the support panels and a system of vertical and horizontal connections.

Key words: offshore platform, steel enlarging frame, final element, strength, stability.

УДК 691.168

МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Енджиевская¹ И.Г., Галкин² М.А., Демина³ А.В., Клиндух⁴ Н.Ю., Гофман⁵ О.В.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», инженерно-строительный институт,
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82,
E-mail: ¹icaend@mail.ru; ²gal.makcim2014@yandex.ru; ³nastia_95@mail.ru; ⁴NKlindukh@sfu-kras.ru;
⁵oksana_slakova@mail.ru

Аннотация. Одним из факторов увеличения негативного воздействия на окружающую среду являются суммарные объемы образования отходов на фоне низкого уровня их переработки. В статье представлены исследования твердого отхода промышленного производства АО «РУСАЛ Красноярск» - лома кирпичной футеровки (ЛКФ) алюминиевых электролизёров, его химического и минералогического составов, с целью использования в производстве дорожно-строительных материалов в качестве минерального порошка. Полученный помол тонкодисперсный порошок ЛКФ изучен на соответствие требованиям ГОСТ по зерновому и химическому составу. Подобрано оптимальное соотношение смеси для марки минерального порошка МП-1 - тонкодисперсного ЛКФ и молотого известняка, соответствующее ГОСТ по полупроцентным окислам. Изучены гранулометрические составы тонкодисперсного отхода ЛКФ в сравнении с традиционным минеральным порошком из молотого известняка. На основе подобранной смеси минерального порошка получена асфальтобетонная смесь с повышенными физико-механическими характеристиками.

Предмет исследования: состав и свойства твердого отхода промышленного производства – лома кирпичной футеровки (ЛКФ) алюминиевых электролизёров АО «РУСАЛ» с целью дальнейшего использования в производстве минерального порошка МП-1 для повышения физико-механических свойств асфальтобетонной смеси и сокращения накопленных объемов твердых отходов промышленности, уменьшения площадей полигонов.

Материалы и методы: исследование выполнено с применением лазерного анализатора, рентгеновского дифрактометра и рентгенофлуоресцентного спектрометра.

Результаты: в ходе исследования были определены химический, гранулометрический и минералогический составы тонкодисперсного ЛКФ – твердого отхода промышленного производства АО «РУСАЛ Красноярск», что позволило усовершенствовать процесс диспергирования отхода в промышленной мельнице с применением интенсификаторов помола. С помощью лазерного анализатора определены гранулометрические составы тонкодисперсного ЛКФ и молотого известняка и проведен сравнительный анализ полидисперсности, который выявил более развитую поверхность минерального порошка на основе отхода промышленности, что очевидно связано с большей твердостью и хрупкостью частиц ЛКФ. Пленка нагара, присутствующая на всех элементах отхода ЛКФ, несколько повышает pH среды минерального порошка на основе тонкодисперсного ЛКФ, который при смешении с нефтяным битумом приводит к образованию прочной пленки на поверхности частиц, как в сухом, так и во влажном состоянии. Физико-механические характеристики уплотненной асфальтобетонной смеси типа Б марки П на основе подобранной смеси минерального порошка не уступают, и даже превосходят, аналогичные характеристики смеси на основе традиционного минерального порошка марки МП-1.

Выводы: Минеральный порошок марки МП-1 на основе твердого отхода промышленного производства АО «РУСАЛ Красноярск» - лома кирпичной футеровки (ЛКФ) алюминиевых электролизёров возможно использовать в производстве асфальтобетона с высокими физико-механическими характеристиками. Применение отходов ЛКФ в производстве дорожно-строительных материалов позволит сократить накопление отходов, уменьшить площади полигонов и улучшить экологическую обстановку города.

Ключевые слова: промышленные отходы, минеральный порошок, асфальтобетон, лом кирпичной футеровки.

ВВЕДЕНИЕ

Динамика основных экологических показателей развития России показывает на увеличение негативного воздействия на окружающую среду. Одним из факторов являются суммарные объемы образования отходов на фоне низкого уровня их переработки. В России на протяжении многих лет формировались экологически неблагоприятные полюса, особенно в регионах с развитой промышленностью, которая влияет на качество жизни людей, их здоровье и продолжительность жизни. К регионам с неблагоприятной экологической обстановкой относится Красноярский край, на территории которого развернуты интересы таких промышленных гигантов как АО «РУСАЛ Красноярск», ПАО «Норникель», АО «Полюс Красноярск». Конкретная деятельность промышленных компаний

в области защиты окружающей среды демонстрирует их ответственность за регион, город, в котором они работают.

Современным направлением в развитии промышленного производства являются безотходные и малоотходные технологии, которые обеспечивают полный жизненный цикл продукции. При наличии потребительских свойств, – возможности дальнейшего использования, – отход может изменять статус и становится материалом либо продукцией. Отходы IV-V класса опасности должны подвергаться необходимой технологической доработке, чтобы приобрести потребительские свойства. Игнорирование подобных мероприятий не позволяет отходу стать стабильным сырьем для повторного использования с возможностью перехода в стадию готовой продукции.

К одному из наиболее накапливаемых твердых отходов в Красноярском крае является лом

кирпичной и угольной футеровки алюминиевых электролизёров, которые занимают большие площади при утилизации. Годовое накопление таких отходов достигает объемов в 15 тыс. тонн в год. При этом наличие значительного количества примесей, образующихся в процессе эксплуатации, затрудняет возможность применения его в цементобетонных строительных материалах, поскольку твердение их связано со сложными процессами гидролиза и гидратации, на которые может негативно повлиять множество факторов.

Наибольшего потребления твердых промышленных отходов можно достичь в дорожно-строительных материалах в качестве дорожных одежд и минеральной части асфальтобетонов.

Поэтому поиск возможности переработки твердых отходов крупных предприятий с дальнейшим их комплексным использованием в производстве дорожно-строительных материалов является весьма актуальной задачей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Индустрия строительных материалов уже сейчас способна использовать различные отходы промышленности, примеры, применения которых в отечественной и зарубежной практике.

В ряде зарубежных трудов применяют такие отходы как разный бытовой мусор, золы, мусор из глубин рек для отсыпки оснований дорог разного назначения, тем самым полностью или частично заменяя природные минеральные заполнители [2, 3, 4].

В трудах зарубежных исследователей такие отходы как летучая зола, диатомит и красный шлам сравнивают с традиционным известняковым порошком, сравнивая свойства асфальтобетонных смесей [5].

Достаточно широко в дорожно-строительных материалах применяют отходы резины, бытовых отходов, а также золы от сжигания углей [6, 7, 8].

Помимо неорганических отходов, так же набирает обороты применение полимерных отходов, таких как бытовой пластик, который вводят в состав неорганических вяжущих для их модификации [9, 10].

Так же при реконструкциях дорожных сетей старое асфальтобетонное покрытие становится промышленным отходом. Восстановленный асфальтобетон повторно используют в строительных целях [11].

Известны работы, где авторами используют отходы ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» для улучшения свойств битума путём получения серобитумного вяжущего [12] и применение отвальных хвостов в виде минерального порошка и гранулированного шлака в качестве инертного заполнителя для асфальтобетона [13].

В работе Сомова В.В. исследовались отходы РУСАЛа, такие как угольная футеровка алюминиевых электролизёров, а также приведен обзор способов переработки [14].

Дефицит встречающихся в природе материалов, таких как минеральные компоненты, которые используются для производства асфальтовых бетонов, увеличивает стоимость дорожного строительства, что требует поиска альтернативных и устойчивых материалов [15, 16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследовали возможность использования лома кирпичной футеровки (ЛКФ) в качестве минерального порошка (МП). Была получена лабораторная проба тонкодисперсного ЛКФ на лабораторной мельнице дисковой вибрационной для сверхтонкого помола. Затем в промышленных условиях в трапециевидной мельнице «МТМ» из 2-х тонн отхода была получена партия тонкодисперсного ЛКФ.

Для сравнения в работе использовали минеральный порошок на основе тонкодисперсного известняка Мазульского месторождения (традиционно используемый асфальтобетонными заводами г. Красноярска).

Порошковые рентгенограммы лома кирпичной футеровки снимали на рентгеновском дифрактометре D8-ADVANCE (фирма Bruker) при комнатной температуре. Длина волны излучения (CuK_α) равна $1,54\text{Å}$. Идентификация материалов проводилась с использованием информационно-поисковой системы (ИПС ФИ).

Химический состав лома кирпичной футеровки получали на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARLOPTIM'X и традиционными нормативными методами.

Термическая устойчивость – определяли методами термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Термограмма ЛКФ была получена на приборе синхронного термического анализа Yupiter STA 449 F1 (производитель NETZSCH, Германия). Нагревание проводили в интервале температур от $0(25)^\circ\text{C}$ до 1000°C со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин}$. Масса исследуемой навески 20 мг.

Анализ примесей выполнялся на приборе спектрального анализа LabCenterXRF1800 (производитель Shimadzu, Япония).

Дисперсность минеральных порошков определяли на лазерном анализаторе «FRITSCH ANALYSETTE 22 MicroTec».

Наличие водорастворимых кислот и щелочей проводили на рН-метре – мод.Н1 8314. Для определения средней плотности, тонкодисперсный ЛКФ уплотняли в форме объемом 100 см^3 под нагрузкой 40 МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Одним из эффективных путей превращения твердых отходов в продукцию для расширения возможностей их использования в дорожной отрасли является помол, который переводит лом в

тонкодисперсное состояние с последующей доработкой до готовой продукции в виде минерального порошка (МП). Поскольку поверхность отхода – лома кирпичной футеровки покрыта черной пленкой - наличие примесей, которые накапливаются в значительном количестве на поверхности отработанного кирпича в процессе эксплуатации в виде нагара, могут повлиять на

свойства дорожного органического вяжущего, поэтому проводились исследования порошка ЛКФ, измельченного на лабораторной мельнице без пленки нагара, механически отделенного от поверхности и самой пленки. Результаты исследования нагара приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты спектрального анализа нагара
Table 1. Results of spectral analysis of carbon deposits

Элементы	Результат, %	Элементы	Результат, %	Элементы	Результат, %
Al ₂ O ₃	43,9381	MgO	0,1945	Cl	0,0262
Fe ₂ O ₃	19,0643	K ₂ O	0,1771	P	0,0224
Cr ₂ O ₃	12,1575	NiO	0,0700	BaO	0,0153
SiO ₂	11,7658	Co ₂ O ₃	0,0590	Ga ₂ O ₃	0,0107
C	7,3227	CuO	0,0461	As ₂ O ₃	0,0084
CaO	2,8542	ZnO	0,0416	ZrO ₂	0,0078
S	1,8765	V ₂ O ₅	0,0369	SrO	0,0047
TiO ₂	0,2647	PbO	0,0355		

Как видно из таблицы, в составе пленки присутствуют оксиды CaO 2,85% и MgO 0,19%, которые усиливают щелочную среду и увеличивают общее содержание основных оксидов CaO+MgO – активных соединений, значение которых в ЛКФ составило 0,46, что не превышает 3% по массе и соответствует требованиям ГОСТ. Повышенная

щелочная среда, образуемая присутствием нагара в ЛКФ, позволит обеспечить более прочное сцепление с нефтяным битумом.

Результаты определения химического и фазового состава ЛКФ, представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2. Химический состав отхода лома кирпичной футеровки, % масс.
Table 2. Chemical composition of brick lining scrap waste, % mass

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	NiO	MnO ₂	ZnO	CuO	PbO	F ⁻
24,91	63,48	1,63	0,13	0,08	1,58	6,12	0,0013	0,005	0,005	0,0095	0,0006	2,04

Как видно из результатов таблицы 2, ЛКФ имеет в своём составе большое количество твердых оксидов – кремнезёма и глинозёма, что необходимо учитывать при расчете времени помола в промышленной мельнице по отношению к карбонатным породам.

По данным рентгенофазового анализа (РФА) (рисунок 1, таблица 3) ЛКФ состоит в основном из муллита (81,05%), остальную его часть составляют минералы SiO₂ (кristобалит), SiO₂ (кварц), Fe₃O₄ (магнетит).

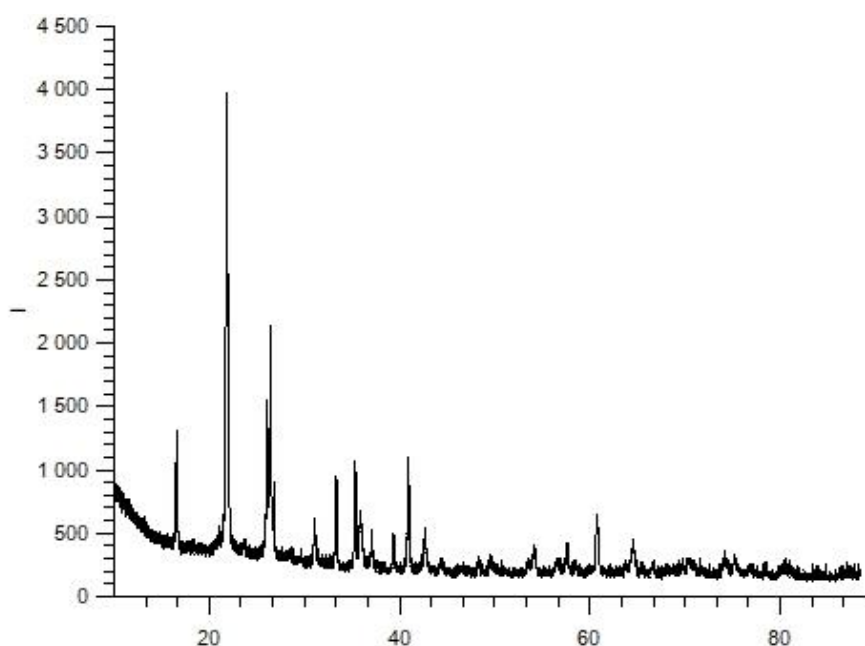


Рис. 1. Дифрактограмма ЛКФ
Fig. 1. Diffractogram of BLS

Таблица 3. Результаты рентгенофазового анализа
Table 3. X-ray phase analysis results

Формула	Название минерала	% масс.
SiO ₂	Кристаллит	4,95%
Al _{4,857} O _{9,571} Si _{1,143}	Муллит	81,05%
SiO ₂	Кварц	10,76%
Fe ₃ O ₄	Магнетит	3,24%

Для проведения дальнейших исследований лом кирпичной футеровки в количестве 2-х тонн измельчали до тонкодисперсного состояния в промышленной мельнице на предприятии по изготовлению минерального порошка. Время помола задавали определением дисперсности по проходу через сито 0,063 на соответствие требованиям ГОСТ. Процесс диспергирования лома кирпичной футеровки более продолжительный по времени, чем при помоле карбонатных горных пород, поэтому для оптимизации процесса,

сохранности оборудования и уменьшения затрат при помоле использовали интенсификатор процесса помола «MC-GrindingPro 01» производства компании MC-Bauchemie, который позволил сократить время помола на 10 минут. Продукт помола гидрофобизировали, используя олеиновую кислоту, которую вводили в процессе помола.

У измельченного материала определяли зерновой состав на соответствие требованиям ГОСТ 32761-2014, который представлен в таблице 4.

Таблица 4. Зерновой состав измельченного материала, % масс.
Table 4. Grain composition of the crushed material, % wt.

№ сита, мм	2,00	0,125	0,063
Фактические показатели, % по массе	100	94	85
Требуемые ГОСТ для МП-3, % по массе, не менее	100	75	60

Термограмма продукта помола приведена на рисунке 2. Потеря массы в интервале температур 30-150 °С связана с удалением адсорбированной влаги, что также подтверждается эндоэффектом при 93,4 °С. Эндоэффект при 577,3 °С соответствует

полиморфному превращению кварца, при 657,4 °С - переходу Fe₃O₄ в FeO. Экзотермический эффект в интервале 300-400 °С скорее всего связан с выгоранием чёрной плёнки, отработанного кирпича.

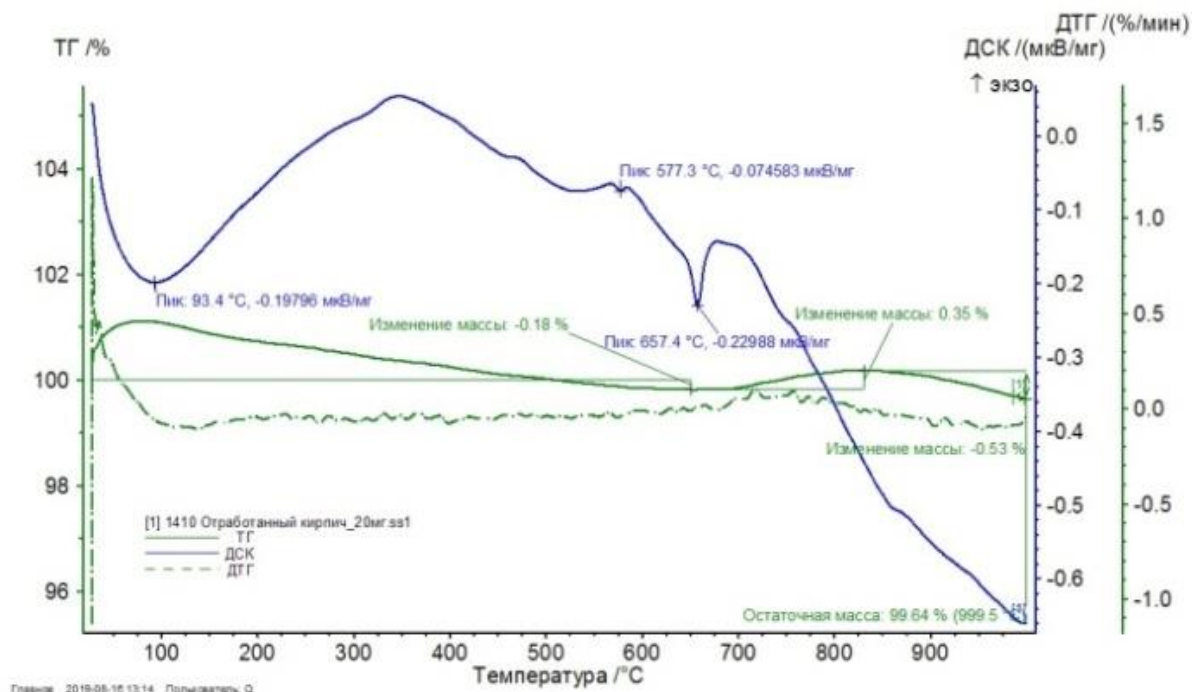


Рис. 2. Термограмма тонкодисперсного ЛКФ, изготовленного помоллом в промышленной мельнице
Fig. 2. Thermogram of finely dispersed BLS made by grinding in an industrial mill

Далее продукт помола лома кирпичной футеровки испытывали как минеральный порошок на соответствие требованиям ГОСТ. Одним из основных требований является содержание полуторных окислов Al₂O₃+Fe₂O₃, в промышленных

отходах производства, используемых при приготовлении минеральных порошков, которое для активированных не должно превышать 7 % по массе. Суммарное содержание полуторных окислов в продукте помола ЛКФ - 9,2% по массе. Поэтому,

для обеспечения возможности применения лома кирпичной футеровки при приготовлении минеральных порошков составляли смеси его с материалом, полученным помолом известняка

Мазульского месторождения, в различном процентном соотношении, и определяли суммарное содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3 (таблица 5).

Таблица 5. Суммарное содержание полуторных окислов в зависимости от соотношения тонкодисперсного ЛКФ и известнякового минерального порошка

Table 5. The total content of sesquioxides depending on the ratio of finely dispersed BLS and limestone mineral powder

Соотношение ЛКФ/известняк, масс., %	Суммарное содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3
50/50	8,1
40/60	7,8
30/70	6,6

Как видно из таблицы 5 оптимальный состав смеси ЛКФ/ тонкодисперсный известняк = 30/70% при содержании полуторных окислов в комплексном минеральном порошке МП-1 - 6,6%.

Поскольку нефтяные битумы содержат основные поверхностно-активные вещества, необходимо определить водородный показатель тонкодисперсного ЛКФ, так как минеральные порошки не должны быть кислыми, иначе на поверхности частиц образуется неустойчивая плёнка, способная легко вытесняться водой [17]. Определяли рН среды проб тонкодисперсных порошков ЛКФ, - измельченного на лабораторной мельнице без пленки нагара, механически отделенного от поверхности, и на промышленной – с нагаром, которые оказались щелочными при рН=7,5 и 7,7, соответственно.

Из полученных результатов видно, что тонкодисперсный лом кирпичной футеровки может при смешении с нефтяным битумом образовывать прочную пленку на поверхности, которая будет удерживаться в сухом и влажном состоянии.

Пикнометрическим методом определили истинную плотность тонкодисперсного комплексного минерального порошка, величина которой - 2,15 г/см³, рассчитали среднюю

плотность, которая составила 1,39 г/см³ и пористость - 35 %, в сравнении с традиционным известняковым - 32 %.

Асфальтовые бетоны, являются гетерогенной дисперсной системой, устойчивость структуры которой основном обусловлена внутренними силами, сосредоточенными на поверхностях раздела различных контактируемых тел, и поэтому важным фактором является форма, размер и рельеф частиц минерального порошка, так как от этих параметров зависит прочность сцепления - адгезия с вяжущим [17, 18, 19]. В этой системе основным назначением минерального порошка является повышение вязкости и прочности битума путём перевода его из объёмного в плёночное состояние, а также заполнение пор и пространства между более крупными частицами заполнителя в асфальтобетоне.

Определялась гранулометрия продукта помола ЛКФ в промышленной мельнице в сравнении с минеральным порошком на основе Мазульского известняка. На рисунке 3 представлены результаты определения гранулометрического состава ЛКФ в виде интегральных кривых и дифференциальных распределений.

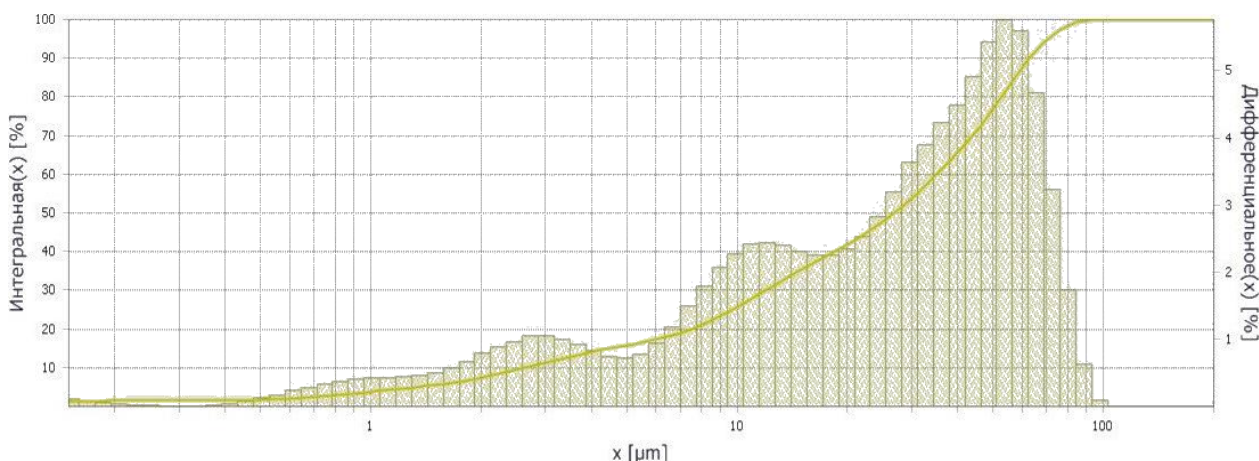


Рис. 3. Интегральные кривые распределения частиц ЛКФ и гистограммы дифференциального распределения фракций по размерам

Fig. 3. Integral curves of the BLS particle distribution and histograms of the differential distribution of fractions by size

Как видно из интегральной кривой распределения частиц, продукт помола ЛКФ в промышленной мельнице представляет собой полидисперсную смесь частиц с размерами от 0,4 до

100 мкм и преобладанием частиц размером 50 мкм. В таблице 6 приведены средние значения размеров исследуемых частиц и их поверхности, на рисунке 6 накопленная доля порошка по размерам частиц.

Таблица 6. Средние значения размеров исследуемых частиц и их поверхности
Table 6. Average values of the sizes of the investigated particles and their surface

Вид пробы	Размах величины фракционного состава (%), со средним размером частиц (мкм)							
	≤5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-90	90-95	95-99
Продукт помола ЛКФ в промышленной мельнице	1,31	2,64	9,70	26,79	48,22	62,86	70,40	82,74

Из таблицы 6 видно, что наибольший фракционный размах >50% имеют частицы размером от 26,79 мкм до 82,74 мкм, а наименьший <50% от 1,31 до 9,70.

Из рисунка 4 видно, что наибольшая накопленная доля >50% частиц по размерам составляет от 30 мкм до 100 мкм.

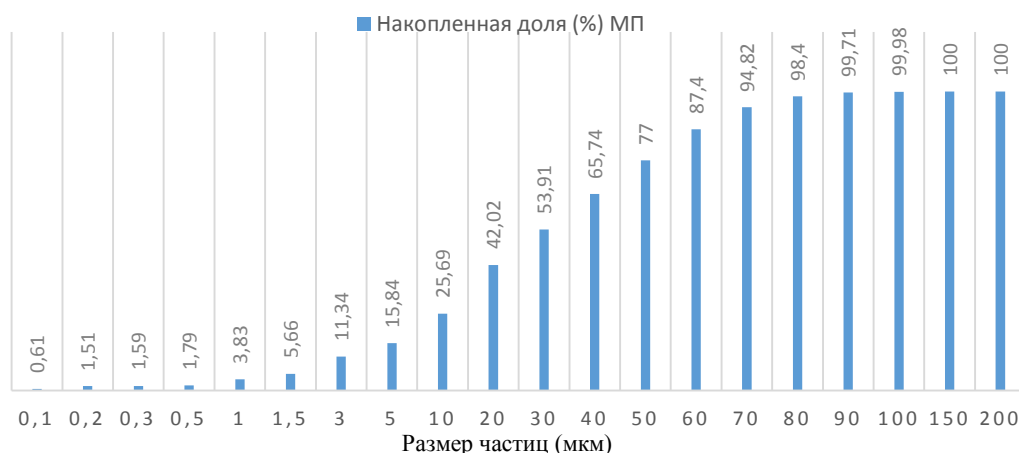


Рис. 4. Накопленная доля, % и статистика данных гранулометрического состава ЛКФ
Fig. 4. Accumulated share, % and Data Statistics on granulometric composition of BLS

Из статистики данных гранулометрического состава в таблице 7 видно, что среднеарифметический диаметр частиц порошка

равен 30 мкм, а средний геометрический диаметр составляет 17,81.

Таблица 7. Статистики данных гранулометрического состава ЛКФ
Table 7. Data Statistics on granulometric composition of BLS

Арифметический ср. диаметр (мкм)	30,099
Геометрический ср. диаметр (мкм)	17,810
Квадратичный ср. диаметр (мкм)	37,727
Гармонический ср. диаметр (мкм)	3,755
Модальная величина (мкм)	55,801
Средний (мкм)	26,807
Средний коэф.	1,123
Расхождение (мкм ²)	522,615
Среднеквадратичное отклонение (μm)	22,861
Среднее отклонение (μm)	19,594
Коэф. расхождение (%)	76,0
Асимметрия	0,457
Экссесс	-0,910
Диапазон	2,244
Монотонность	0,726
Специфическая площадь поверхности (см ² /см ³)	15980,512

На рисунке 5 представлен анализ дисперсности минерального порошка на основе Мазульского известняка. Как видно из кривых, его дисперсность

не настолько развита, – это полидисперсная смесь частиц с размерами от 0,1 до 35 мкм с преобладанием частиц размером 20 мкм.

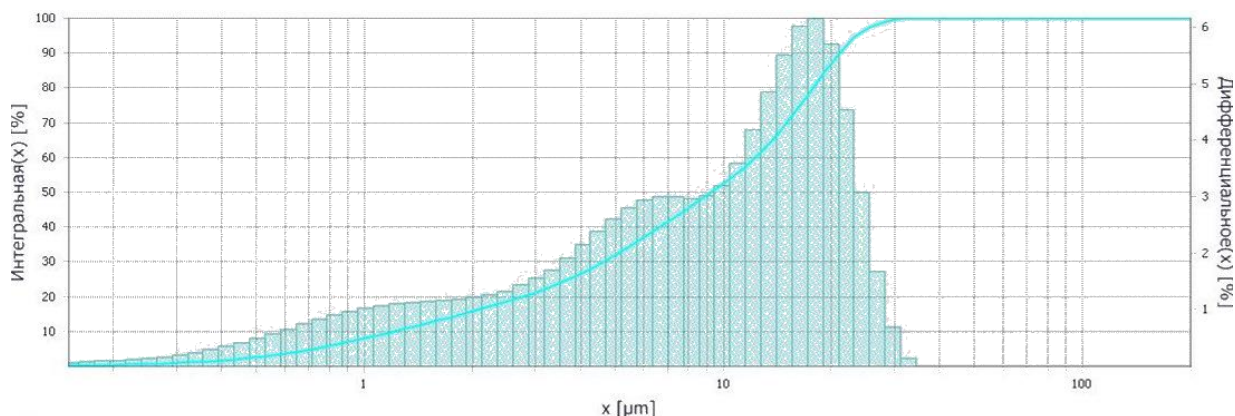


Рис. 5. Интегральные кривые распределения частиц и гистограммы дифференциального распределения фракций минерального порошка из известняка по размерам

Fig. 5. Integral distribution curves of particles and histograms of differential distribution of mineral powder fractions from limestone by size

В таблице 8 представлены средние значения размеров частиц минерального порошка из известняка и размах величины фракционного состава, где более 50% имеют частицы размером от 9,24 мкм до 27,89 мкм.

Таблица 8. Средние значения размеров исследуемых частиц и их поверхности
Table 8. Average values of the sizes of the investigated particles and their surface

Вид пробы	Размах величины фракционного состава (%), со средним размером частиц (мкм)							
	≤5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-90	90-95	95-99
Молотый известняк	0,72	1,20	3,70	9,24	16,32	20,96	23,54	27,89

Из рисунка 6 видно, что наибольшая накопленная доля >50% частиц по размерам составляет от 10 мкм до 100 мкм.

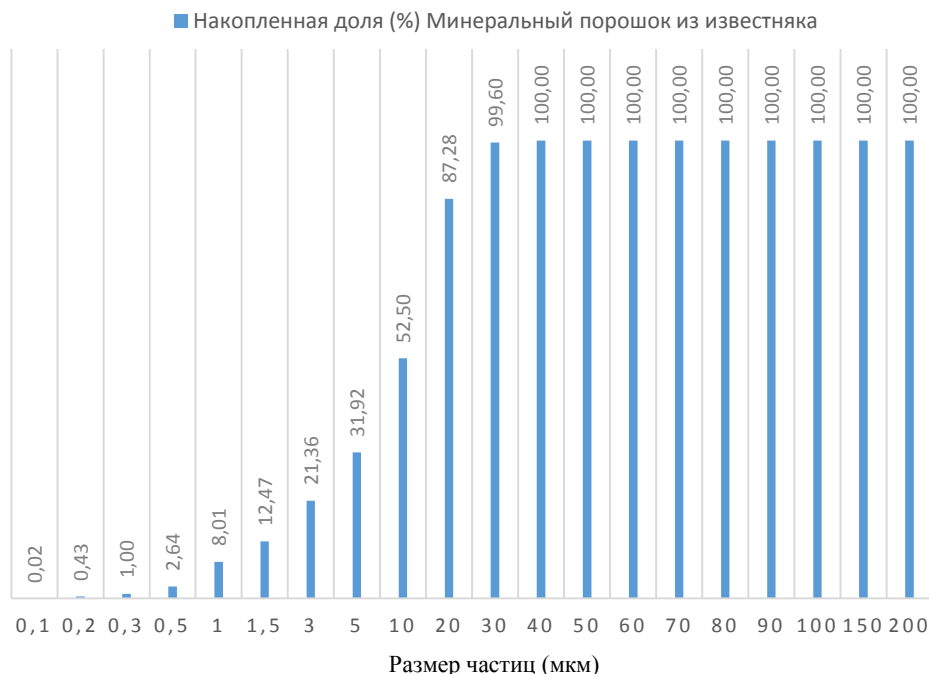


Рис. 6. Накопленная доля, % и Статистики данных granulометрического состава минерального порошка из известняка

Fig. 6. Accumulated fraction, % and Data Statistics on granulometric composition of mineral powder from limestone

Из статистики данных granulометрического состава в таблице 9 видно, что среднеарифметический диаметр частиц порошка равен 10,3 мкм, а средний геометрический диаметр составляет 6,7.

Таблица. 9. Статистики данных гранулометрического состава минерального порошка
Table. 9. Data statistics on granulometric composition of mineral powder

Арифметический ср. диаметр (мкм)	10,379
Геометрический ср. диаметр (мкм)	6,777
Квадратичный ср. диаметр (мкм)	12,803
Гармонический ср. диаметр (мкм)	3,009
Модальная величина (мкм)	17,903
Средний (мкм)	9,235
Средний коэф.	1,124
Расхождение (мкм ²)	56,773
Среднеквадратичное отклонение (μm)	7,535
Среднее отклонение (μm)	6,468
Коэф. расхождение (%)	72,6
Асимметрия	0,437
Экссесс	-0,880
Диапазон	2,139
Монотонность	0,696
Специфическая площадь поверхности (см ² /см ³)	19940,576

Таким образом, продукт помола ЛКФ в промышленной мельнице имеет более широкий диапазон размеров частиц по сравнению с минеральным порошком на основе известняка, что позволит получить более плотную и прочную структуру. Степень полидисперсности составляет 63,16, в сравнении с 38,73 для минерального порошка на основе известняка.

На основе комплексного минерального порошка марки МП-1 оптимального состава была изготовлена асфальтобетонная смесь типа Б марки II и отформованы образцы-цилиндры, которые исследовали на соответствие требованиям ГОСТ. Полученные физико-механические характеристики уплотненной асфальтобетонной смеси представлены в таблице 10.

Таблица. 10. Физико-механические характеристики уплотненной асфальтобетонной смеси
Table. 9. Physical and mechanical characteristics of the compacted asphalt concrete mixture

Показатель	Фактические результаты определения показателей асфальтобетонной смеси на основе		Требования ГОСТ 9128-2013
	МП-1	Известнякового минерального порошка	
Средняя плотность асфальтобетона, гр/см ³	2,37	2,37	Не нормируется
Водонасыщение, %	2,45	2,54	От 1,5 до 4,0
Предел прочности при сжатии, МПа, при:			
50°C	1,35	1,37	не менее 0,9
20°C	2,81	2,78	не менее 2,2
0°C	6,92	6,45	не более 10
Коэффициент водостойкости	0,96	0,95	не менее 0,90
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,92	0,91	не менее 0,85
Предел прочности на растяжение при расколе при 0°C, МПа	4,6	4,4	не менее 2,5 не более 6

Таким образом из полученных данных видно, что уплотненная асфальтобетонная смесь типа Б марки II соответствует требованиям ГОСТ.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе исследования были определены химический, гранулометрический и минералогический составы лома кирпичной футеровки (ЛКФ) алюминиевых электролизёров производства АО «РУСАЛ Красноярск». Усовершенствован процесс диспергирования его в промышленной мельнице с применением интенсификаторов помола. С помощью лазерного анализатора определены гранулометрические составы тонкодисперсного отхода ЛКФ и молотого

известняка и проведен сравнительный анализ полидисперсности, который выявил более развитую поверхность минерального порошка на основе отхода промышленности, что очевидно связано с большей твердостью и хрупкостью материала ЛКФ. Нагар, покрывающий поверхность частиц отхода ЛКФ, несколько повышает pH среды комплексного минерального порошка марки МП-1, что даёт при смешении с нефтяным битумом образование прочной пленки на поверхности, которая будет удерживаться в сухом и влажном состоянии.

Составлена оптимальная смесь тонкодисперсных ЛКФ и известняка Мазульского месторождения для получения комплексного минерального порошка марки МП-1. Физико-механические характеристики уплотненной

асфальтобетонной смеси типа Б марки II на основе комплексного минерального порошка не уступают, и даже превосходят, аналогичные характеристики смеси на основе традиционного известнякового.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Федосов, С.В. Вторичные материальные ресурсы для строительной индустрии / С.В. Федосов, Ю.А. Щепочкина, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – 188 с.

2 Mkahal Z., Mamindy-Pajany Y., Maherzii W., Abriak NE. Recycling of Mineral Solid Wastes in Backfill Road Materials: Technical and Environmental Investigations // Waste and Biomass Valorization. 2021.

3 Rodrigues R., Kozusny-Andreani DI., Frias DFR. Use of waste from civil construction in repairs of rural roads // revista eletrônica em gestao educacao e tecnologia ambiental. 2019. V.23. – Pp. 01-10.

4 Townsend SW., Spreadbury CJ., Laux SJ., Ferraro CC., Kari PER., Townsend TG., Blending as a Strategy for Reusing Municipal Solid Waste Incinerator Ash in Road-Base Construction // Journal of environmental engineering. 2020. V.146. 04020106.

5 Tian Y., Sun LJ., Li H., Zhang HJ., Harvey J., Yang B., Zhu YT., Yu B., Fu KM. Laboratory investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture // Construction and building materials. 2021. V.279. 122436.

6 Romeo E., Mantovani L., Tribaudino M., Montepara, A, Reuse of Stabilized Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash in Asphalt Mixtures // Journal of Materials in Civil Engineering. 2018. V.30(8).

7 Ding, Z (Ding Zhan), Li, PL (Li Pei-long), Yao, YL (Yao Yi-liang) Environmental Impact Analysis and Comprehensive Utilization of Waste Rubber and Old Asphalt Mixture // Applied Mechanics and Materials. V. 34-35. 2010. – Pp. 1526-1531.

8 Xue, YJ (Xue, Yongjie), Hou, HB (Hou, Haobo), Zhu, SJ (Zhu, Shujing), Zha, J (Zha, Jin) Utilization of municipal solid waste incineration ash in stone mastic asphalt mixture: Pavement performance and environmental impact // Construction and Building Materials. V. 23 (2). – Pp. 989-996.

9 Dalhat, MA (Dalhat, M. A.), Al-Abdul Wahhab, HI (Al-Abdul Wahhab, H. I.) Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia // International journal of pavement engineering. 2017. V. 18 (4). – Pp. 349-357.

10 Mahmuda, Sumiati, Flaviana TL. Asphalt Modified Plastic Waste To Defend Damage In Asphalt Concrete (Ac-Wc) // 2nd forum in research, science, and technology. 2019. – Pp. 1-9.

11 Pokorny J., Sevcik R., Sal J. The Design and Material Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement Enriched Concrete for Construction Purposes // Materials. 2020. V. 13 (21).

12 Васильевская Г.В., Назиров Д.Р. Сераасфальтобетон // Журнал Сибирского

федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т. 4. № 6. – С. 696-703.

13 Васильевская Г.В., Шевченко В.А., Киселёв В.П. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3 (98). – С. 130-134.

14 Сомов В.В., Немчинова Н.В., Пьявкина А.А. О способах утилизации отработанной футеровки электролизёров алюминиевого производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 5 (100). – С. 155-161.

15 Olugbenga, Oyedepo J. Utilization of Industrial Waste Products in the Production of Asphalt Concrete for Road Construction // Slovak Journal of Civil Engineering. 2019. V. 27. No. 4. – Pp. 11-17.

16 Din IMU., Mohammad SM. Study of warm mix asphalt using reclaimed asphalt pavement and copper slag: a review // Canadian Journal of Civil Engineering. 2020. V. 47(4). – Pp. 355-362.

17 Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны. Учеб. пособие для строительных ВУЗов. Москва: «Высшая школа». 1969. – 399 с.

18 Васильевская Г.В., Назиров Д. Р. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). – С. 153-157.

19 Li F., Yuyou Y. Understanding the temperature and loading frequency effects on physicochemical interaction ability between mineral filler and asphalt binder using molecular dynamic simulation and rheological experiments // Construction and Building Materials. 2020. V. 244. 118311.

REFERENCES

1 Fedosov, S.V. Secondary material resources for the construction industry / S.V. Fedosov, Yu.A. Shchepochkina, V.E. Rummyantsev, V.S. Kononov. - Ivanovo: IVGPU, 2017. – 188 p.

2 Mkahal Z., Mamindy-Pajany Y., Maherzii W., Abriak NE. Recycling of Mineral Solid Wastes in Backfill Road Materials: Technical and Environmental Investigations // Waste and Biomass Valorization. 2021.

3 Rodrigues R., Kozusny-Andreani D.I., Frias DFR. Use of waste from civil construction in repairs of rural roads // revista eletrônica em gestao educacao e tecnologia ambiental. 2019.V.23. – Pp. 01-10.

4 Townsend SW., Spreadbury CJ., Laux SJ., Ferraro CC., Kari PER., Townsend TG., Blending as a Strategy for Reusing Municipal Solid Waste Incinerator Ash in Road-Base Construction // Journal of environmental engineering. 2020. V.146. 04020106.

5 Tian Y., Sun LJ., Li H., Zhang HJ., Harvey J., Yang B., Zhu YT., Yu B., Fu KM. Laboratory investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture // Construction and building materials. 2021. V.279. 122436.

- 6 Romeo E., Mantovani L., Tribaudino M., Montepara, A. Reuse of Stabilized Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash in Asphalt Mixtures // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018. V.30(8).
- 7 Ding, Z (Ding Zhan), Li, PL (Li Pei-long), Yao, YL (Yao Yi-liang) Environmental Impact Analysis and Comprehensive Utilization of Waste Rubber and Old Asphalt Mixture // *Applied Mechanics and Materials*. V. 34-35. 2010. – Pp. 1526-1531.
- 8 Xue, YJ (Xue, Yongjie), Hou, HB (Hou, Haobo), Zhu, SJ (Zhu, Shujing), Zha, J (Zha, Jin) Utilization of municipal solid waste incineration ash in stone mastic asphalt mixture: Pavement performance and environmental impact // *Construction and Building Materials*. v. 23(2). – Pp. 989-996.
- 9 Dalhat, MA (Dalhat, M. A.), Al-Abdul Wahhab, HI (Al-Abdul Wahhab, H. I.) Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia // *International journal of pavement engineering*. 2017. V. 18(4). – Pp. 349-357.
- 10 Mahmuda, Sumiati, Flaviana TL. Asphalt Modified Plastic Waste To Defend Damage In Asphalt Concrete (Ac-Wc) // 2nd forum in research, science, and technology. 2019. – Pp. 1-9.
- 11 Pokorny J., Sevcik R., Sal J. The Design and Material Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement Enriched Concrete for Construction Purposes // *Materials*. 2020. V. 13(21).
- 12 Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Sulfur asphalt concrete // *Journal of the Siberian Federal University. Series: Technics and technologies*. 2011. V. 4. No. 6. – Pp. 696-703.
- 13 Vasilovskaya G.V. Shevchenko V.A., Kiselev V.P. Application of industrial wastes of MMC "Norilsk Nickel" in the production of road asphalt concrete // *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2015. No. 3 (98). – Pp. 130-134.
- 14 Somov V.V. Nemchinova N.V., Piavkina A.A. On the methods of utilization of the spent lining of aluminum production electrolyzers // *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2015. No. 5 (100). – Pp. 155-161.
- 15 Olugbenga, Oyedepo J. Utilization of Industrial Waste Products in the Production of Asphalt Concrete for Road Construction // *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2019. V. 27. No. 4. – Pp. 11-17.
- 16 Din IMU., Mohammad SM. Study of warm mix asphalt using reclaimed asphalt pavement and copper slag: a review // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2020. V. 47(4). – Pp. 355-362.
- 17 Rybiev, I.A. asphalt concrete. Proc. allowance for construction universities. Moscow: "High School". 1969. - 399 p.
- 18 Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Application of industrial waste as a mineral powder in asphalt concrete // *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2013. No. 10 (81). – Pp. 153-157.
- 19 Li F., Yuyou Y. Understanding the temperature and loading frequency effects on physicochemical interaction ability between mineral filler and asphalt binder using molecular dynamic simulation and rheological experiments // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 244. 118311.

MINERAL POWDER BASED ON INDUSTRY SOLID WASTE

Endzhievskaya¹ I.G., Galkin² M.A., Demina³ A.V., Klindukh⁴ N.Yu.,
Gofman⁵ O.V.

FSAEI of HE «Siberian Federal University», Civil Engineering Institute,
660041, Krasnoyarsk, pr. Svobodny, 82,

E-mail: ¹licaend@mail.ru; ²gal.makcim2014@yandex.ru; ³nastia_95@mail.ru; ⁴NKlindukh@sfu-kras.ru;
⁵oksana_slakova@mail.ru

Abstract. One of the factors increasing the negative impact on the environment is the total volume of waste generation against the background of a low level of their recycling. The article presents studies of solid waste industrial production of JSC "RUSAL Krasnoyarsk" - brick lining scrap (BLS) of aluminum electrolyzers, its chemical and mineralogical compositions, with the aim of using it in the production of road building materials as a mineral powder. The finely dispersed BLS powder obtained by grinding was studied for compliance with the requirements of GOST in terms of grain and chemical composition. The optimal ratio of the mixture for the brand of mineral powder MP-1 - finely dispersed BLS and ground limestone, corresponding to GOST for sesquioxides, was selected. The granulometric compositions of the finely dispersed BLS waste were studied in comparison with the traditional mineral powder from ground limestone. Based on the selected mixture of mineral powder, an asphalt concrete mixture with improved physical and mechanical characteristics was obtained.

Subject of research: composition and properties of industrial solid waste - brick lining scrap (BLS) of aluminum electrolytic cells of RUSAL JSC for the purpose of further use in the production of mineral powder MP-1 to improve the physical and mechanical properties of the asphalt concrete mixture and reduce the accumulated volumes of industrial solid waste as well as the area of landfills

Materials and methods: the study was performed using a laser analyzer, X-ray diffractometer and X-ray fluorescence spectrometer.

Results: in the course of the study, the chemical, granulometric and mineralogical compositions of finely dispersed BLS, a solid industrial waste produced by RUSAL Krasnoyarsk JSC, were determined, which made it possible to improve the process of waste dispersion in an industrial mill using grinding intensifiers.

Using a laser analyzer, the granulometric compositions of finely dispersed BLS and ground limestone were determined, and a comparative analysis of polydispersity was carried out, which revealed a more developed surface of the mineral powder based on industrial waste, which is obviously associated with greater hardness and brittleness of the BLS particles. The soot film present on all BLS waste elements somewhat increases the pH of the mineral powder environment based on finely dispersed BLS, which, when mixed with petroleum bitumen, leads to the formation of a strong film on the particle surface, both in dry and wet states. The physical and mechanical characteristics of the type B grade II compacted asphalt concrete mixture based on a selected mixture of mineral powder are not inferior and even superior to similar characteristics of a mixture based on a traditional MP-1 mineral powder.

Conclusions: mineral powder grade MP-1 based on industrial solid waste produced by RUSAL Krasnoyarsk JSC - brick lining scrap (BLS) of aluminum electrolyzers can be used in the production of asphalt concrete with high physical and mechanical characteristics. The use of BLS waste in the production of road construction materials will reduce the accumulation of waste, reduce the area of landfill, and improve the ecological situation in the city.

Key words: industrial waste, mineral powder, asphalt concrete, brick lining scrap.

УДК 691.3

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ОТ ВИДА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ.

Когай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.

Институт «Академия строительства и архитектуры» КФУ им. В.И. Вернадского",
г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: kogay_emil@mail.ru

Анотация: в статье рассматривается влияние вида известняковых заполнителей из известняков месторождений Крыма на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов, дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном.

Предмет исследования: физико-механические характеристики дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе известняков различного генезиса.

Материалы и методы: в качестве объектов исследования использованы известняки различного генезиса и дисперсно-армированные стекловолокном и базальтовым волокном мелкозернистые бетоны на их основе. Физико-механические свойства бетонов определяли по стандартным методикам.

Результаты: получены экспериментальные результаты, свидетельствующие о получении качественных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от вида известняковых пород.

Выводы: применение известняковых заполнителей различного генезиса в производстве мелкозернистых бетонов, дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном, позволяют получить материал с пределом прочности при сжатии 20,0 – 26,75 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 4,10 – 5,21 МПа.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, известняковые заполнители, дисперсное армирование, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Республике Крым существенно возрос объём строительства жилых и общественных зданий. Рост объёмов всех видов строительства связан в первую очередь, с реализацией федеральных целевых программ в Крыму, развитием рекреационного строительства и т.п.

Отсутствие в республике кварцевых песков, пригодных для изготовления качественного бетона, вызывает необходимость использования привозных заполнителей из других регионов России, что существенно осложняет логистику процесса строительства и приводит к его удорожанию.

В тоже время, в Крыму широко используются строительные материалы из различного вида пыльных известняков. Широкое использование в строительстве известняковых камня и блоков, добываемых в карьерах многочисленных месторождений региона, требует утилизации значительного объёма известняковых отходов камнепиления.

Известно, что бетоны на известняковых заполнителях обладают пониженной прочностью и повышенной деформативностью. Для улучшения их физико-механических характеристик необходимо увеличивать расход дорогостоящего цемента, что приводит к удорожанию изделий и строительства, в целом.

Одним из путей повышения физико-механических свойств бетона и экономии цемента является его дисперсное армирование различными волокнами. Влияние дисперсного армирования на

свойства бетона с известняковыми заполнителями, на наш взгляд, исследовано недостаточно. Необходимость проведения таких исследований определяется, также, разнообразием известняков Крыма как по генезису, так и по свойствам.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На протяжении многих десятилетий многими исследователями решались проблемы повышения прочности бетона. Одним из путей решения этой проблемы является дисперсное армирование бетонов различными видами волокон. Использование же волокон в качестве арматуры с целью преодоления недостаточной прочности при растяжении и сжатии бетонных изделий на основе известняковых заполнителей дает возможность получать бетоны с более широкими возможностями их применения в строительстве [1 – 4]. Впервые результаты многолетних исследований в области конструктивных бетонов на основе заполнителей из известняков и известняков-ракушечников и применение этих бетонов в железобетонных конструкциях зданий и сооружений были обобщены в монографии Р.Л. Маиляна [5]. Исследованиями бетонов на карбонатных заполнителях занимались многие ученые в нашей стране и за рубежом – П.Е. Еременок, В.Е. Ящука, М.А. Якубович, Б.Г. Скрамтаев, А.И. Конопленко и др [6]. Многочисленными экспериментами эти исследователи доказали, что бетоны на основе высокопрочных карбонатных пород не уступают по прочности бетонам с заполнителем из изверженных пород (гранит, габбро и др.). Особенности карбонатных заполнителей позволяют использовать

как плотные, так и пористые их разновидности для приготовления конструктивных бетонов и железобетонных конструкций, в том числе предварительно напряженных. К тому же, широкое применение местных материалов в частности карбонатных пород, запасы которых практически неисчерпаемы на территории России, приведут к удешевлению готовых изделий. Сравнивая различные виды армирования, можно отметить, что общими являются требования долговечности и технико-экономической целесообразности. Одним из аспектов, влияющих на долговечность бетона, является способность конструкций сохранять или увеличивать прочность при неблагоприятных физико-механических и химических воздействиях.

Дисперсное армирование позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. Одним из главных элементов дисперсно-армированного бетона являются армирующие волокна (минеральные, полимерные и др.). Благодаря этому становится возможным усиление участков, находящихся в непосредственной близости к поверхности и достигается меньшая чувствительность к механическим воздействиям.

Введение дисперсных волокон в бетон обеспечивает перераспределение напряжений в бетонной матрице. На этом принципе основывается использование дисперсного армирования. Рассматривая дисперсно-армированный бетон можно отметить, что этот материал представляет собой две матрицы, которые воспринимают на себя нагрузку. Это бетонная матрица – основная, и вспомогательная – матрица из армирующих волокон. Эти матрицы взаимодействуют друг с другом. На стадии упругих деформаций активно воспринимает нагрузку бетон. Волокна на этой стадии в меньшей степени участвуют в работе бетона. При значительном увеличении нагрузки в работу активно включается матрица, образуемая волокнами.

Бетон, дисперсно-армированный волокнами, является типичным композиционным материалом с характерными для него особенностями и свойствами. Упрочнение волокнами основывается на предположении, как и в традиционном армированных структурах, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих на поверхности и, если модуль волокна больше модуля матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиции пропорциональна их объёмному содержанию.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы являлось исследование влияния дисперсного армирования на физико-механические свойства карбонатного

бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучены физико-механические свойства известняков различного генезиса;
- изготовлены лабораторные образцы бетона с несколькими видами дисперсного армирования с карбонатными заполнителями из известняков различного генезиса;
- определены прочностные свойства бетона в зависимости от вида армирующих волокон и известняковых заполнителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Известняки Крымского полуострова представлены различными видами разного генезиса. По своему происхождению их можно разделить на органогенные – осадочные (нуммулитовые, мшанковые, известняки-ракушечники), хемогенные – химического осаждения (оолитовые) и метаморфические перекристаллизованные (мраморовидные) [7].

В настоящем исследовании использованы известняки следующих месторождений Крыма:

- мшанковый известняк Альминского месторождения;
- нуммулитовый известняк Скалистого месторождения;
- известняк-ракушечник Бешараньского месторождения;
- оолитовый известняк Евпаторийского месторождения;
- мраморовидный известняк месторождения Мраморное.

По своему генезису мшанковый известняк представлен породой датского яруса верхнего мела. Известняк частично перекристаллизованный, с тонкими выщелоченными прослойками. Нуммулитовый известняк месторождения представлен мощной толщей породы симферопольского яруса среднего эоцена. По своей структуре плотный, частично перекристаллизованный.

Известняк-ракушечник Бешараньского месторождения представляет собой желто-бурую породу понтического яруса (нижний ярус плиоценового отдела). Известняк перекристаллизован, с кавернами и пустотами. Верхние слои состоят, в основном, из остатков моллюсков в виде ядер и отпечатков. Моллюски представлены кардидами дрейссенсиями.

Оолитовый известняк представлен оолитовой и оолито-детритовой породой понтического яруса, раковинно-детритовыми и брекчиевидными известняками мэотического яруса, раковинными (мактровыми) и пелитоморфными известняками верхнего сармата.

Мраморовидный известняк представляет собой породу, состоящую из рифовых мраморовидных

известняков кимеридж-титонского яруса верхней юры. Он представлен двумя разновидностями мраморизованных известняков, серыми – массивной текстуры, содержащими перекристаллизованные остатки кораллов, прожилки и гнезда кальцита, и красно-бурых, сложенных разновидностями

пятнистых (коралловых) и брекчиевидных известняков.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства крымских известняков указанных выше месторождений, а в таблице 2 их химический состав.

Таблица 1. Физико-механические свойства Крымских известняков различного генезиса.

Table 1. Physical and mechanical properties of Crimean limestones of various genesis.

Вид известняка	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициенты	
						размягчения	морозостойкости
Мшанковый известняк	2,7 – 2,72	1,5 – 2,1	23,3 – 44,3	8,2 – 20,8	5,3 – 37,6	0,54 – 0,94	0,54 – 0,96
Нуммулитовый известняк	2,7 – 2,73	1,5 – 2,1	23,0 – 44,3	6,9 – 19,3	4,1 – 34,6	0,46 – 0,97	0,55 – 0,99
Известняк-ракушечник	2,7 – 2,72	0,85 – 1,9	30,2 – 66,9	7,4 – 33,3	0,4 – 2,6	0,56 – 0,96	0,51 – 0,98
Оолитовый известняк	2,71 – 2,78	1,5 – 1,8	36,9 – 45,0	9,1 – 11,2	8,0 – 18,0	0,63 – 0,96	0,87 – 0,93
Мраморовидный известняк	2,7 – 2,75	2,6 – 2,7	1,4 – 4,0	0,05 – 1,3	35,7 – 182,3	0,75 – 1,0	0,74 – 0,99

Таблица 2. Химический состав Крымских известняков различного генезиса

Table 2. Chemical composition of Crimean limestones of various genesis

Вид известняков	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PO ₅	R ₂ O ₃
Мшанковый известняк	37,10 – 42,92	0,12 – 8,08	0,11 – 2,86	0,01 – 0,61	44,28 – 55,07	0,18 – 1,77	0,00 – 0,30	0,23 – 0,80	0,01 – 0,04
Нуммулитовый известняк	38,51 – 43,50	1,00 – 10,1	0,11 – 1,02	0,11 – 0,72	46,65 – 54,90	0,30 – 2,04	следы – 0,50	0,30 – 1,80	0,01 – 0,07
Известняк-ракушечник	33,60 – 44,00	0,01 – 3,56	1,10 – 3,21	0,10 – 1,14	42,2 – 56,0	0,19 – 1,74	0,10 – 4,10	0,05 – 1,16	0,11 – 0,65
Оолитовый известняк	38,63 – 42,41	1,7	0,21	0,32	53,1	0,49	0,54	–	–
Мраморовидный известняк	42,24 – 43,90	0,92 – 1,96	0,02 – 1,67	0,12 – 0,80	48,08 – 56,00	0,01 – 2,96	0,28 – 0,81	–	–

В качестве сырьевых материалов для проведения экспериментальных исследований нами использовало стекловолокно и базальтовое волокно. Основные характеристики волокон приведены в таблице 3. В качестве вяжущего применяли портландцемент марки М 400 Бахчисарайского цементного завода. Мелким заполнителем служили известняки месторождений Крыма различного генезиса.

Испытания экспериментальных образцов для определения предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе производили на прессе П-125 по ГОСТ 10180-2012 на образцах-кубах с размером ребра 10 см и

образцах-балочках размером 4×4×16 см в 28-суточном возрасте. Уплотнение бетонной сырьевой смеси осуществляли на виброплощадке СМЖ-739. Исследование влияния дисперсного армирования на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов были проведены на исходной смеси состава "цемент-песок" – 1:3. Состав смеси соответствовал подвижности по глубине проникновения стандартного конуса 4 см, что обеспечивало необходимую удобоукладываемость бетонной смеси.

Таблица 3. Основные характеристики волокон

Table 3. Main characteristics of fibers

№ п/п	Вид волокна	Диаметр, мм	Длина, мм	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение, %
1	Стекловолокно	0,3	15	2540	2700 – 3500	76 – 78	4,5 – 4,9
2	Базальтовое волокно	05	15	2670	3000 – 3500	70 – 90	3,0 – 3,2

На первом этапе было исследовано влияние количественного содержания волокон на предел прочности бетона на растяжение при изгибе. Количественное содержание волокон изменялось в пределах 1 – 7 % от массы цемента. Результаты

определения предела прочности на растяжение бетона при изгибе на известняковых заполнителях различного вида в зависимости от количественного содержания волокон приведены на рисунке 1.

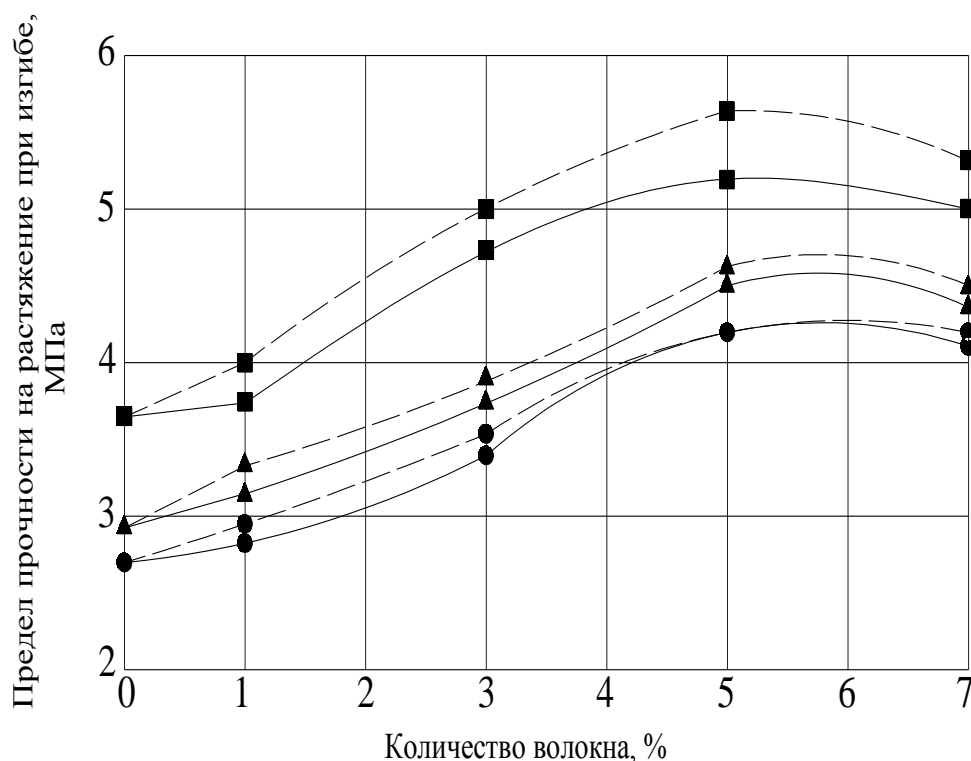


Рис.1. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов на различных известняковых заполнителях от количества стекловолокна (—) и базальтового волокна (- - -). ● – мшанковый известняк, ▲ – известняк-ракушечник, ■ – мраморовидный известняк

Fig.1. The dependence of the tensile strength during bending of concrete samples on various limestone aggregates on the amount of fiberglass (—) and basalt fiber (- - -). ● - mossy limestone, ▲ - limestone-shell rock, ■ - marble limestone

При увеличении содержания волокон с 1 до 5 % прочность бетона на всех видах известнякового заполнителя возрастает. Для стекловолокна она увеличивается в 1,45 – 1,57 раза, для бетона на базальтовом волокне – в 1,51 – 1,62 раза. Наблюдается некоторое снижение предела прочности бетона на растяжение при изгибе при увеличении количества волокон более 5 %. Это связано с ухудшением процесса перемешивания бетонной смеси. В дальнейших экспериментальных исследованиях количество вводимых в бетонную смесь волокон было принято равным 5 %.

Результаты исследования влияния дисперсного армирования волокнами на прочностные свойства мелкозернистого бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей, отличающихся различными генезисом, приведены в таблице 4.

Анализируя результаты экспериментальных исследований (таблица 4) можно заключить, что

прочностные характеристики дисперсно-армированного бетона существенно зависят от вида используемых известняковых заполнителей. Максимальной прочностью обладают бетоны с использованием в качестве заполнителя мраморовидного известняка, что объясняется более высокой прочностью зёрен этого известняка по сравнению с другими разновидностями заполнителя, независимо от вида применяемых армирующих волокон. Предел прочности при сжатии бетона на мраморовидном заполнителе на 9,4 – 15,5 % больше, чем, например, у бетона на мшанковом известняке, а предел прочности на растяжение при изгибе на 18,4 – 21,9 %.

Прочность бетонных образцов на базальтовом волокне для всех типов используемых известняков в 1,02 – 1,22 раза больше, чем на стекловолокне, что объясняется более высокой прочностью при растяжении базальтовых волокон (таблица 3).

Таблица 4. Физико-механические свойства мелкозернистого дисперсно-армированного бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей
Table 4. Physical and mechanical properties of fine-grained dispersed reinforced concrete depending on the type of limestone aggregates

№ п/п	Вид известняковых заполнителей	Вид волокна	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа
1.	Мшанковый известняк	Контрольный образец	18,1	2,69
		Базальтовое волокно	24,4	4,81
		Стекловолокно	20,0	4,40
2.	Нуммулитовый известняк	Контрольный образец	18,4	2,71
		Базальтовое волокно	24,7	4,92
		Стекловолокно	21,5	4,63
3.	Известняк-ракушечник	Контрольный образец	20,3	2,90
		Базальтовое волокно	25,0	4,25
		Стекловолокно	23,3	4,44
4.	Оолитовый известняк	Контрольный образец	20,0	3,00
		Базальтовое волокно	24,3	4,10
		Стекловолокно	22,8	3,91
5.	Мраморовидный известняк	Контрольный образец	21,4	3,54
		Базальтовое волокно	26,7	5,02
		Стекловолокно	23,1	5,21

Ввод в бетонную смесь стекловолокна увеличивает предел прочности бетона на растяжение при изгибе в 1,3 – 1,7 раз по сравнению с контрольными образцами без армирования, а предел прочности при сжатии в 1,07 – 1,17 раз. Ввод базальтового волокна приводит к увеличению этих прочностных показателей в 1,36 – 1,81 и 1,22 – 1,34 раз, соответственно. Базальтовое волокно существенно увеличивает прочность бетона на сжатие и растяжение по сравнению со стекловолокном для всех видов используемых известняковых заполнителей. Причем, максимальный прирост прочностных показателей наблюдается у мелкозернистых бетонов на мшанковом и нуммулитовом известняках, обладающих минимальным пределом прочности при сжатии (таблица 1). Это объясняется тем, что при приложении нагрузки, волокна при свободной ориентации в материале воспринимают усилия практически любого направления на более ранней стадии у бетона на менее прочных известняковых заполнителях. Низкий предел прочности при сжатии оолитового известняка и известняка-ракушечника (таблица 1) связан с их высокой пористостью. Пески же из этих известняков, ввиду высокой прочности слагающих их раковин, обладают также высокой прочностью зёрен. Поэтому, прочностные показатели бетона из этих известняков выше, чем на мшанковых и нуммулитовых, но ниже, чем на мраморовидных.

Полученные экспериментальные результаты физико-механических характеристик мелкозернистого дисперсно-армированного бетона на известняковых заполнителях свидетельствуют о возможности получения качественных строительных материалов независимо от генезиса известняковых пород.

ВЫВОДЫ

1. Применение известняковых заполнителей различного генезиса в производстве мелкозернистых бетонов дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном позволяет получить материал с пределом прочности при сжатии 20,0 – 26,75 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 4,10 – 5,21 МПа.

2. Использование дисперсного армирования мелкозернистых бетонов на известняковых заполнителях крымских месторождений даст возможность существенно расширить сырьевую базу строительства и уменьшить стоимость возводимых зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

- Корнеева И.Г. К вопросу оптимального армирования мелкозернистого бетона базальтовыми волокнами / И.Г. Корнеева, Н.А. Емельянова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. №4(19). – С. 122-128.
- Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: дис. ... кандидаты техн. Наук: 05.23.05 / Бучкин Андрей Викторович – Москва, 2011, 130 с.
- Ставров Т.Н. Влияние фибрового армирования на прочность бетона при динамических нагружениях / Т.Н. Ставров, В.П. Романов, И.Д. Захаров // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов. Межвуз. темат. сб. трудов. – Л., 1986. – С.49-57.
- Дервянко В.Н. Теоретические основы повышения стойкости и технология дисперсно-армированных покрытий: дис. ...доктора техн. наук:

05.23.05 / Деревянко Виктор Николаевич – Днепропетровск. – 2002. – 335 с.

5. Маилян Р.Л., Бетон на карбонатных заполнителях / Р.Л. Маилян // Изд-во Ростовского университета. – Ростов-на-Дону. – 1967. – 271 с.

6. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами: обзор / Ф.Н. Рабинович // М. – 1976. – 73 с.

7. Любомирский Н.В. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Крыма: Справочник / авт. – соис. Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин. – Симферополь: ИТ "Ариал", 2021. – 540 с.

REFERENCES

1. Korneeva I.G. On the issue of optimal reinforcement of fine-grained concrete with basalt fibers / I.G. Korneeva, N.A. Emelyanova // News of universities. Investment. Construction. Realty. – 2016. №4(19). – Pp.122-128.

2. Buchkin A.V. Fine-grained concrete of high corrosion resistance reinforced with thin basalt fibers: dis. ...tenx candidates. Sciences: 05.23.05 / Buchkin Andrey Viktorovich - Moscow, 2011, 130с.

3. Stavrov T.N. The influence of fiber reinforcement on the strength of concrete under dynamic loads / T.N. Stavrov, V.P. Romanov, I.D. Zakharov // Manufacturing technology and properties of new composite building materials. Inter-university. temat. sb. trudov. – L., 1986. – Pp.49-57.

4. Derevyanko V.N. Theoretical foundations of increasing durability and technology of dispersed-reinforced coatings: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.23.05 / Derevyanko Viktor Nikolaevich - Dnepropetrovsk. – 2002. – 335 p.

5. Mailyan R.L., Concrete on carbonate aggregates / R.L. Mailyan // Publishing House of the Rostov University. – Rostov-on-Don. – 1967. – 271 p.

6. Rabinovich F. N. Concrete, dispersion-reinforced fibers: a review / F. N. Rabinovich // М. – 1976. – 73 p.

7. Lubomirski N. In. Mineral resources of the construction industry of the Crimea: a Handbook / ed. – соис. N.In. Lyubomirsky, S. I. Fedorkin. – Simferopol: IT "Arial", 2021. – 540 p.

DEPENDENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DISPERSED-REINFORCED FINE-GRAINED CONCRETE ON THE TYPE OF LIMESTONE AGGREGATES.

Kogay E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I.

Institute «Academy of Construction and Architecture» of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Kievskaya str., 181
email: kogay_emil@mail.ru

Abstract. The article examines the influence of the type of limestone aggregates from limestone deposits of the Crimea on the physical and mechanical properties of fine-grained concrete, dispersed-reinforced with fiberglass and basalt fiber.

Subject of research: physical and mechanical characteristics of dispersed-reinforced fine-grained concrete based on limestones of various genesis.

Materials and methods: limestones of various genesis and fine-grained concretes based on them, reinforced with glass fiber and basalt fiber, were used as objects of research. The physical and mechanical properties of concrete were determined by standard methods.

Results: experimental results have been obtained, indicating the production of high-quality dispersed-reinforced fine-grained concrete, depending on the type of limestone rocks.

Conclusions: the use of limestone aggregates of various genesis in the production of fine-grained concrete dispersed reinforced with fiberglass and basalt fiber allows to obtain a material with a compressive strength of 20.0 - 26.75 MPa and a tensile strength of 4.10 – 5.21 MPa.

Key words: fine-grained concrete, limestone aggregates, dispersed reinforcement, compressive strength, flexural tensile strength.

УДК 692.522.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С ВКЛАДЫШАМИ ИЗ КАРТОНА, ПЛАСТМАССЫ И МЕСТНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шаленный В.Т.¹, Щегула Р.В.²

Институт «Академия строительства и Архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: v_shalennyj@mail.ru¹, romanschegula@gmail.com²

Аннотация: в работе проведен анализ прогрессивных конструктивно-технологических систем устройства монолитных и сборно-монолитных перекрытий гражданских зданий. Показаны примеры и целесообразность использования всевозможных вкладышей из пластмассы и других лёгких материалов и изделий для замены в конструкциях части монолитного железобетона. Предложены оригинальные способы устройства сборно-монолитных междуэтажных и чердачных перекрытий гражданских объектов. Для подтверждения эффективности использования инновационных способов устройства сборно-монолитного перекрытия, выполнено калькулирование прямых затрат и налоговых отчислений при возведении такого перекрытия на одном и том же объекте, но по различным конкурирующим технологиям.

Предмет исследования: технологии возведения монолитных железобетонных перекрытий с вкладышами.

Материалы и методы: использовалась оценка сравнительной экономической эффективности внедрения изложенных инноваций в технологии устройства междуэтажных перекрытий на конкретных примерах проектирования и строительства гражданских объектов в Крыму; для определения достоверной стоимости сборно-монолитных перекрытий пользовались методом конъюнктурного анализа рынка: запрос предложений, мониторинг.

Результаты: установлено существенное сокращение материальных и трудовых затрат на устройство перекрытия с заполнением из пластмассовых труб или из блоков ракушечника по сравнению со сплошными монолитными и сборными многослойными плитами заводского изготовления.

Выводы: разработана и представлена конструкция сборно-монолитной плиты перекрытия с пластмассовыми вкладышами в виде труб круглого сечения, позволяющая экономить почти 45% монолитного железобетона.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии, сборно-монолитное перекрытие, замена железобетона вкладышами, пластмасса, блоки ракушечника, себестоимость.

ВВЕДЕНИЕ

С начала нынешнего столетия, в Российской Федерации, прослеживается тенденция увеличения удельного веса сборно-монолитных конструкций в общей структуре возводимых гражданских объектов, особенно, в малоэтажном и многоэтажном гражданском строительстве. Эта же тенденция замечена при проектировании и возведении железобетонных конструкций междуэтажных перекрытий подобных объектов. Поэтому и наша настоящая статья имеет целью дальнейшую популяризацию, совершенствование конструкции и оценку сравнительной экономической эффективности внедрения предложенных инноваций в технологии устройства междуэтажных перекрытий на конкретных примерах проектирования и строительства гражданских объектов в Крыму.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Обратили внимание и развивают данное направление специалисты из Санкт Петербурга [1, 2], Москвы [3, 4], Сибири [5] и других регионов России [6 – 8], стран ближнего [9] и дальнего зарубежья [10 – 12]. Имеются и уже опубликованные результаты анализа сравнительной экономической эффективности проектирования и применения известных и инновационных

конструктивных систем гражданских зданий из монолитного, сборного и сборно-монолитного железобетона [13]. Например, публикация 2020 г. в авторитетнейшем российском научно-техническом строительном журнале, обобщая опыт проектирования и строительства, утверждает, что «... при налаженном производстве себестоимость строительства каждого квадратного метра общей площади с монолитным каркасом на 60 – 100 USD выше, чем такого же здания со сборно-монолитным каркасом АРКОС за счет различий в материалоемкости, трудозатратах и темпе строительства» [14, с. 17]. Любой завод сборного железобетона, развернув самостоятельное строительство жилых и общественных зданий такой системы, может оказать серьезную конкуренцию подрядчикам, ориентированным на применение монолитных каркасов» [там же, с. 19].

Но, как известно, существенное влияние на конечную себестоимость возведения объекта оказывает при этом и его местоположение, а также связанная с этим логистика поступления и переработки материалов и конструкций, наличие в регионе и расстояние доставки других ресурсов (машины и оборудование, горюче-смазочные материалы, рабочая сила и пр.). С учетом такого предположения, применительно к Крыму, как части Южного федерального округа, нами предложено и реализовано на практике, применение усовершенствованной конструкции сборно-монолитного перекрытия с вкладышами из

известняка-ракушечника, как местного строительного материала [15].

Развитием таких экспериментально-теоретических разработок затем стало проектирование двух новых конструкций инновационных сборно-монолитных перекрытий. Первое из них представляет собой усовершенствованное сборно-монолитное железобетонное перекрытие по базовой технологии VELOX [16, 17]. Инновационная плита этого перекрытия представляет собой в конструктивном плане несущую ребристую систему с взаимно-перпендикулярно расположенными ребрами одной высоты и сплошной тонкой горизонтальной плитой сверху. Такое перекрытие формируется с применением несъемной опалубки и приклеенных вкладышей из пенополистирола на ней. Второе перекрытие является монолитным с пластиковыми вкладышами оригинальной конструкции [18–20, патент на полезную модель по заявке №2021102271 от 01.02.2021 г.].

Следует признать, что доведенная к настоящему времени до совершенства зарубежная технология с вкладышами из пластика также имеет свои аналоги в странах ближнего зарубежья, где, например, были предложены и уже реализованы сборно-монолитные конструкции перекрытий с вкладышами из пенополистирола в форме параллелепипедов и картонных труб, и вообще произвольной формы, причем не только в конструкциях перекрытий, но и в вертикальных несущих стенах и колоннах. Последние системы получили названия «РАМПА», «ИКАР», «ДОБОЛ» и «Монофант», разрабатывались преимущественно в Харьковском национальном университете городского хозяйства им. академика А. Н. Бекетова под руководством профессора Шмуклера В. С. [21].

Логичным продолжением изложенных разработок представляется использование вкладышей из легких непроницаемых для воды материалов в виде труб, в теле будущей железобетонной плиты перекрытия. Ссылаясь на патент Республики Беларусь на полезную модель №7667 U [22] как на прототип, доцент Пушкарев Борис Александрович в 2017 г. получил патент РФ

на изобретение №2634156 С2 «способа изготовления монолитных железобетонных балочных плит перекрытий с круглыми пустотами, с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустообразователей» [23]. Далее эта система была доработана автором и он получил новый, ныне действующий патент РФ на изобретение №2664087 С2 «Способа непрерывного изготовления монолитных железобетонных опирающихся по контуру пустотных плит перекрытий с применением неизвлекаемых трубчатых картонно-полиэтиленовых пустообразователей» [24]. По опубликованным расчетным данным самого автора, замена железобетона шаровидными вкладышами предполагает его экономию до 29%, трубами круглого сечения – 43,5% и трубами овального сечения – до 50% [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предварительно проведенный и представленный в предыдущем разделе анализ известных конструктивно-технологических решений перекрытий позволил выявить наиболее перспективные направления их совершенствования. И, учитывая относительную простоту изготовления круглых картонных труб с последующим покрытием их поверхности полиэтиленовой пленкой для водонепроницаемости и сохранности при производстве плит перекрытий, далее и нами предложено использование труб именно круглого сечения. Однако, в обоих случаях указанных патентов доцента Б.А. Пушкарева, просматривается отсутствие точной фиксации положения пустообразователей в опалубке плиты. Для ликвидации этого недостатка, разработано усовершенствованное конструктивно-технологическое решение монолитной железобетонной балочной плиты перекрытий с пустотами, представленное на рис. 1. В разработке принимал участие магистрант Шевчук Константин (заявка на полезную модель №2021120258 от 08.07.2021 г.).

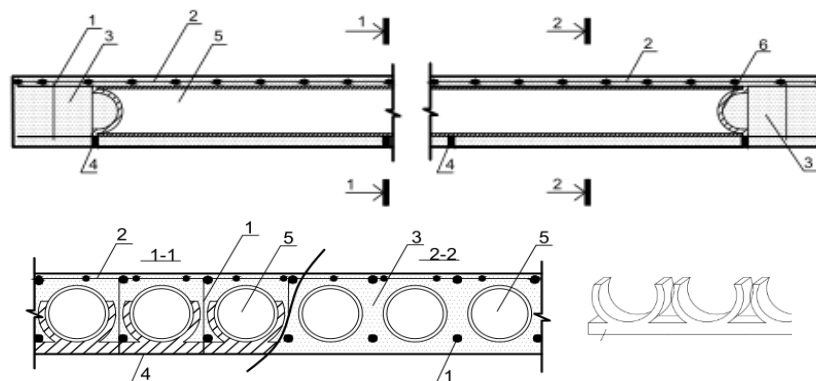


Рис. 1. Продольный и поперечные разрезы плиты перекрытия: 1 – вертикальная арматура; 2 – горизонтальная сетка арматуры; 3 – монолитный бетон; 4 – подкладка; 5 – труба-вкладыш; 6 – заглушки по торцам будущей плиты
Fig. 1. Longitudinal and transverse sections of the floor slab: 1 – vertical reinforcement; 2 – horizontal reinforcement mesh; 3 – monolithic concrete; 4 – lining; 5 – pipe-liner; 6 – plugs on the ends of the future plate

Затем выполнялась оценка сравнительной экономической эффективности внедрения изложенных инноваций в технологии устройства междуэтажных перекрытий на конкретных примерах проектирования и строительства гражданских объектов в Крыму. По нашим предположениям, эффективность внедрения предложенной полезной модели перекрытия с пластмассовыми или картонными трубами-вкладышами, как и другим легком заполнении, заключается в существенном уменьшении собственного веса при неизменной полезной нагрузке, а возможность обеспечить точное положение пустотообразователей позволит уменьшить сечения бетонной части плиты с той же ресурсосберегающей целью.

Сравнение технико-экономических показателей предлагаемой конструкции сборно-монолитного перекрытия с вкладышами из блоков ракушечника проведено с конструкцией из сборных многпустотных плит ПК 60-12-8АтVс-9

(5980x1190x220 мм) /бетон В20 (М250), объем 0,86 м³, расход арматуры 37,67 кг/ м³ (серия 1.141-19с). С целью определения достоверной стоимости сборно-монолитных перекрытий, пользовались методом конъюнктурного анализа рынка: запрос предложений, мониторинг. Транспортная составляющая усреднена до расстояния 30 км. Заготовительно-складские расходы приняты в размере 2% от оптовой стоимости строительных материалов. В расчете принято, что фактически необходимо было перекрыть два помещения конкретного усадебного дома в поселке Пионерское: первое имеет габариты 6×7 м, второе – 7×8 м, тогда их суммарная расчётная площадь составила бы 98 м². Стоимость предлагаемой конструкции перекрытия с вкладышами из блоков известняка посчитана путём фактического хронометража и составления индивидуальной калькуляции (работу выполнил аспирант Леоненко Кирилл, табл.1, [25]).

Таблица 1. Пример расчёта стоимости сборно-монолитного перекрытия с заполнением из блоков ракушечников ресурсным методом на основании индивидуальных калькуляций

Table 1. An example of calculating the cost of a prefabricated monolithic floor filled with shell blocks using the resource method based on individual calculations

№	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость в уровне цен 2020 г., руб.
1	Индивидуальная калькуляция	Устройство монолитной части сборно-монолитного перекрытия из монолитного бетона	м ³	7,35	19 446,89
2	04.1.02.05-0007	Бетон тяжёлый, класс В20 (М250)	м ³	7,46	33 726,88
3	08.4.03.04-0001	Горячекатаная арматурная сталь класса: А400С, А240С	т	1,091	43 923,9
4	Индивидуальная калькуляция	Укладка сборной части сборно-монолитного перекрытия из известняковых блоков	м ³	15,19	34 04,23
5	Конъюнктура рынка с учётом логистики	Камни стеновые известняковые, тип I, размер 390x190x188 мм, марка 125-250	м ³	15,19	22 321,6
Итого					143 565
В том числе:					
Материалы					111 014
Машины и механизмы					333,37
Фонд оплаты труда					11 560,14
Накладные расходы					12 716,9
Сметная прибыль					8 024,72
Итого из блоков-известняка					143 565
НДС 20%					28 713
ВСЕГО с НДС					172 278,1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На примере перекрытий жилого дома по ул. Проездная 32, в г. Симферополь, получен объем всего бетона на этаж перекрытия – 108,9 м³. За вычетом ячеек с лестничной клеткой и шахтой лифта, где установка вкладышей из труб не предусматривалась, объем железобетона сплошного перекрытия толщиной 200 мм составляет: 108,9 - 16,89 = 92 м³. В результате расчета и проектирования мест установки вкладышей из пластика, их объем в пределах перекрытия одного этажа (Ø140 мм, длина от 5,4 м до 5,6 м) оказался 41,25 м³. Это и есть ожидаемая экономия

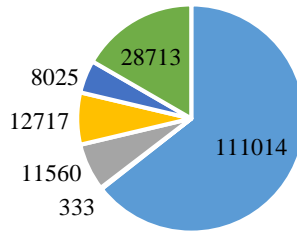
железобетона на перекрытие типового этажа одного из объектов исследования, или 41,25:92×100 = 44,8 %. Это почти не отличается от результатов расчетов, изложенных в упомянутой выше статье [7]. Дополнительным ресурсосберегающим эффектом будет также утилизация в термоформуемые трубы вторичного полиэтилена твердых пластиковых отходов, обычно загрязняющих окружающую природную среду.

По изложенной ранее методике были выполнены расчёты и для других возможных конструктивно-технологических решений междуэтажного перекрытия одного и того же объекта, на рис. 2 представлены статьи затрат по двум возможным конструктивно-технологическим системам

перекрытий для указанного объекта. Требуемая существенно больших затрат живого труда система с перекрытиями из блоков ракушечника в итоговой

себестоимости оказалась более эффективной чем монтаж из сборных многопустотных плит высокой заводской готовности.

Из блоков ракушечника



Из сборных многопустотных плит

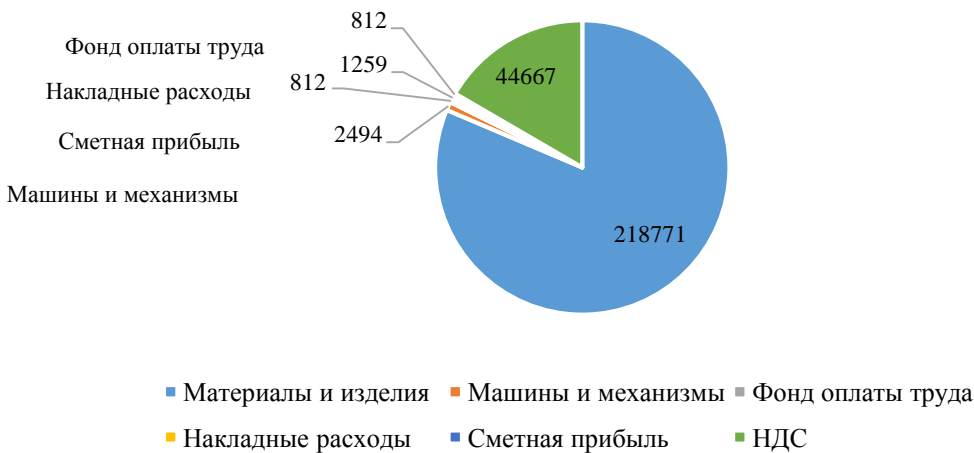


Рис. 2. Себестоимость устройства 1 кв. м междуэтажного перекрытия, руб.
 Fig. 2. The cost of the device 1 square. m of interfloor overlap, rub.

Конечные результаты моделирования практически по всем известным технологиям себестоимости производства междуэтажных перекрытий для одного и того же объекта сведены в итоговую диаграмму на рис. 3.

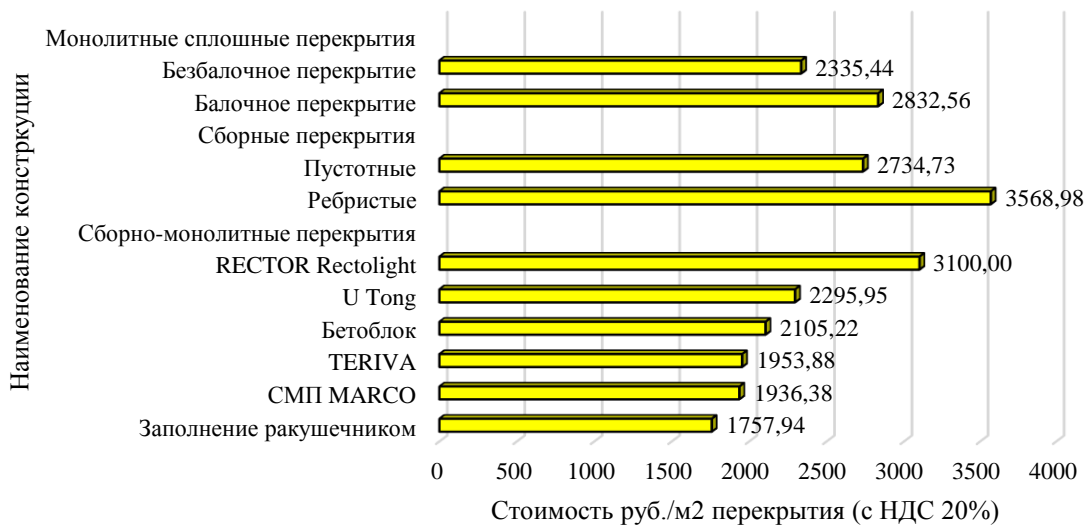


Рис. 3. Экономический анализ рассмотренных возможных вариантов возведения междуэтажного перекрытия при загородном строительстве в Крыму
 Fig. 3. Economic analysis of the considered possible options for the construction of an interfloor overlap in suburban construction in the Crimea

Таким образом, произведённое проектирование и экспериментальное изготовление предложенной конструктивно-технологической сборно-монолитной системы в условиях малоэтажной загородной застройки Республики Крым (см. Рис. 3) показано снижение себестоимости с 1936,36 до 1757,94 руб./м², т.е. примерно на 10% по сравнению с ближайшей известной сборно-монолитной системой МАРКО, что позволяет рекомендовать её для дальнейшего использования в строительстве. Показатели всех других монолитных и сборно-монолитных конструкций перекрытий оказались существенно дороже и более трудоёмкими. Например, относительно более распространённая конструктивная система с плоскими железобетонными плитами из монолитного железобетона оказалась дороже примерно на треть.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и представлена конструкция сборно-монолитной плиты перекрытия с пластмассовыми вкладышами в виде труб круглого сечения, позволяющая экономить почти 45% монолитного железобетона. За счет установки вкладышей в конструкции инновационных перекрытий получаем также снижение собственного веса и, как следствие, снижение затрат на устройство некоторых фундаментов и других несущих элементов каркаса. Основным же общепризнанным эффектом от снижения собственного веса всего каркаса является уменьшение инерционных сейсмических нагрузок, что особенно актуально для Крымского региона.

2. Использование вкладышей из мелких блоков ракушечника обеспечивает 10 % снижения себестоимости по сравнению с наиболее экономной сборно-монолитной российской системой МАРКО, что позволяет рекомендовать их для дальнейшего использования в малоэтажном сейсмостойком строительстве Крыма.

3. Но мало изученными при этом остаются еще и вопросы положительного изменения трудоемкости, эргономики и сроков возведения объектов с предложенными инновационными системами сборно-монолитных междуэтажных и чердачных перекрытий. Что и предполагается исследовать и апробировать в нашей дальнейшей работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватин, Н.И., Величкин, В.З., Козинец, Г.Л., Курсун, В.И., Рыбаков, В.А., Жувак, О.В. Технология сборно-монолитных балочных железобетонных перекрытий с керамзитобетонными блоками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 7(70). – С. 43-59. DOI: 10.18720/CUBS.70.4.

2. Недвига, Е.С., Виноградова, Н.А. Системы сборно-монолитных перекрытий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. – №4(43). – С.87-102.

3. Afanasyev, G. Replacement of floor structures in capital repair with the use of not extractable void formers /E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) and Serafima Selviyan Perfohttps://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045.

4. Гайдуков, П.В., Пугач, Е.М. Перспективы применения несъемной опалубки для устройства перекрытий малоэтажных зданий в стесненных условиях // Вестник Евразийской науки. 2020, №1.

5. Коянкин, А.А., Митасов, В.М. Напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного изогнутого элемента // Инженерно-строительный журнал, 2020, 97(5). № 9706. DOI: 10.18720/MSE.97.6.

6. Пушкарев, Б.А., Кореньков, П.А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции, сферы применения и особенности расчёта // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – №46. – С.30-35.

7. Пушкарев, Б.А., Буренина, Н.Б. Целесообразность выбора картонно-полиэтиленовых труб круглого сечения как неизвлекаемых пустообразователей для монолитных железобетонных балочных плит перекрытий // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – №2. – С 86-91.

8. Брюсов, В.А., Панфилов, А.В. Междуэтажные перекрытия в каменных домах // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2018. – №11-12(238-239). – С. 20-23.

9. Буцкая, Е.Л., Зезюков, Д.М., Махинько, Н.Н., Зинкевич, О.Г. Обоснование оптимального вида пустообразователя в монолитном плоском перекрытии // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2019. – №3. – С.10-18.

10. Bubble Deck Technology Uses Less Concrete by Filing The Slab With Beach Balls <https://www.treehugger.com/green-architecture/bubble-deck-technology-uses-less-concrete-filing-slab-beach-balls.html>.

11. Sameer, Ali, Manoj, Kumar. Analytical Study of Conventional Slab and Bubble Deck Slab under Various Support and Loading Conditions Using Ansysworkbench 14.0 // International Research Journal of Engineering and Technology. Volume: 04 Issue: 05. (2017). - p.1467-1472.

12. Grutzeck, M.W. Cellular concrete // Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications. M. Scheffler and P. Colombo, Eds., John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, 2005. – Pp. 193-223.

13. Шмелев, Г.Д. Сравнительный анализ современных систем возведения зданий гражданского назначения / Г.Д. Шмелев, Н.А. Фоменко, В. Н. Гаврилова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 3(6). – С. 9-19.

14. Терновский, И.А., Карякин, А.А., Сонин, С.А., Мордич, Г.А., Лозакович, О.В. и Мордич, А.И. Сопоставление затрат на возведение монолитных и

сборно-монолитных несущих конструкций многоэтажных зданий //Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – №1. – С.12-20.

15. Шаленный, В.Т., Леоненко, К.А. Возможности снижения себестоимости малоэтажного строительства в Крыму путём совершенствования частично-ребристых сборно-монолитных перекрытий //Экономика строительства и природопользования. – 2019. – №3. – С 125–130.

16. Пат. 190006 U1, Российская Федерация, СПК E04B 5/36 (2020.01), E04G11/40 (2020.01). Сборно-монолитное железобетонное перекрытие /В.Т. Шаленный, С.Ф. Акимов, К.А. Леоненко, И.М. Долгошапко, В.Д. Малахов. – заявка № 2019 141926. – Заявл. 13.12.2019; опубл. 13.02.2020, Бюл. №5. – 5 с.

17. Акимов, С.Ф., Леоненко, К.А., Малахов, В.Д. и Шаленный В.Т. Ресурсосберегающее развитие VELOX-технологии при строительстве и реконструкции сборно-монолитных перекрытий // FORM-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869 (2020) 072043 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/869/7/072043.

18. Пат. 185868 U1, Российская Федерация, МПК E04B5/02, МПК E04B1/98 (2006.01). Конструкция монолитного перекрытия /В. Т. Шаленный, О.Л. Балакчина, А.А. Смирнов. – заявка № 2017 147103. – Заявл. 29.12.2017; опубл. 20.12.2018, Бюл. №35.

19. Andronov A.V., Balakchina O.L., Leonenko K.A., Shalenny V.T. Improving the manufacturability of the reinforced concrete structures production by using lightweight filling materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» - Organisation and Technology of Construction Production. 2019. 055019. DOI https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/5/055019.

20. Шаленный, В.Т., Смирнов, А., Леоненко, К. Усовершенствованная конструктивно-технологическая система перекрытий с пластмассовыми вкладышами, частично заменяющими монолитный железобетон //Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №16(68). – С.45-54.

21. Шмуклер, В.С., Климов, Ю.А., Буряк, Н.П. Каркасные системы облегченного типа. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.

22. Пат. №7667 U, Республика Беларусь, МПК E04B1/04 (2006.01). Многопустотная железобетонная плита перекрытия / И.А. Котенков. – заявка № u 2011 0141. – Заявл. 03.03.2011; опубл. 30.10.201. – 3 с.

23. Пат. 2634156 C2, Российская Федерация, МПК E04B1/44 (2006.01), МПК E04C2/00 (2006.01), МПК B27B7/28 (2006.01). Способ изготовления монолитных железобетонных балочных плит перекрытий с круглыми пустотами, с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустообразователей /Б. А. Пушкарев. - заявка

№2015 143846. – Заявл. 14.10.2015; опубл. 24.10.2017, Бюл. №30.

24. Пат. 2664087 C2 Российская Федерация, СПК B28B1/445 (2018.05), E04C2/00 (2018.05), B28B7/28 (2018.05). Способ непрерывного изготовления монолитных железобетонных опирающихся по контуру пустотных плит перекрытий с применением неизвлекаемых трубчатых картонно-полиэтиленовых пустообразователей /Б. А. Пушкарев. – заявка № 2017102030. – Заявл. 23.01.2017; опубл. 27.07.2018. Бюл. № 21.

25. Ресурсоэкономное производство строительных конструкций из мелких блоков крымского ракушечника: монография / К.А. Леоненко, Н.В. Любомирский, Н.В. Цопа, В.Т. Шаленный; под общ. ред. В.Т. Шаленного. - Москва: РУСАЙНС, 2022. – 192 с.

REFERENCES

1. Vatin, N.I., Velichkin, V.Z., Kozinets, G.L., Korsun, V.I., Rybakov, V.A., Zhuvak, O.V. Technology of prefabricated-monolithic reinforced concrete beam ceilings with expanded clay concrete blocks // Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 7(70). – pp. 43-59. DOI: 10.18720/CUBS.70.4.

2. Nedviga, E.S., Vinogradova, N.A. Systems of prefabricated monolithic ceilings // Construction of unique buildings and structures. 2016. – No. 4 (43). – Pp. 87-102.

3. Afanasyev, G. Replacement of floor structures in capital repair with the use of not extractable void formers /E3S Web of Conferences 97, 06045 (2019) and Serafima Selviyan Perfo https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706045.

4. Gaidukov, P.V., Pugach, E.M. Prospects for the use of fixed formwork for the installation of floors of low-rise buildings in cramped conditions // Bulletin of the Eurasian Science. 2020, No. 1.

5. Koyankin, A.A., Mitasov, V.M. Stress-strain state of a precast-monolithic curved element // Civil Engineering Journal, 2020, 97(5). No. 9706. DOI: 10.18720/MCE.97.6.

6. Pushkarev, B.A., Korenkov, P.A. Precast-monolithic reinforced concrete structures, areas of application and features of the calculation // Construction and technogenic safety. – 2013. – № 46. – P.30-35.

7. Pushkarev, B.A., Burenina, N.B. The expediency of choosing round-section cardboard-polyethylene pipes as non-removable void formers for monolithic reinforced concrete beam floor slabs. Economics of construction and nature management. – 2020. – № 2. – Pp. 86-91.

8. Bryusov, V.A., Panfilov, A.V. Interfloor ceilings in stone houses // Building materials, equipment and technologies of the XXI century. – 2018. – № 11-12 (238-239). – Pp. 20-23.

9. Butskaya, E.L., Zezyukov, D.M., Makhinko, N.N., Zinkevich, O.G. Justification of the optimal type of void former in a monolithic flat ceiling. Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture. – 2019. – № 3. – Pp. 10-18.
10. Bubble Deck Technology Uses Less Concrete by Filing The Slab With Beach Balls <https://www.treehugger.com/green-architecture/bubble-deck-technology-uses-less-concrete-filing-slab-beach-balls.html>.
11. Sameer, Ali, Manoj, Kumar. Analytical Study of Conventional Slab and Bubble Deck Slab under Various Support and Loading Conditions Using Ansysworkbench 14.0 // International Research Journal of Engineering and Technology. Volume: 04 Issue: 05. (2017). – Pp. 1467-1472.
12. Grutzek, M.W. Cellular concrete // Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications. M. Scheffler and P. Colombo, Eds., John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, 2005. – Pp. 193-223.
13. Shmelev, G.D. Comparative analysis of modern systems for the construction of civil buildings / G.D. Shmelev, N.A. Fomenko, V. N. Gavrilova // Housing and communal infrastructure. – 2018. – № 3(6). – Pp. 9-19.
14. Ternovsky, I.A., Karyakin, A.A., Sonin, S.A., Mordich, G.A., Lozakovich, O.V. and Mordich, A.I. Comparison of costs for the construction of monolithic and precast-monolithic load-bearing structures of multi-storey buildings // Industrial and civil construction. – 2020. – № 1. – Pp.12-20.
15. Shalenny, V.T., Leonenko, K.A. Opportunities to reduce the cost of low-rise construction in the Crimea by improving partially-ribbed prefabricated monolithic ceilings // Economics of construction and nature management. – 2019. – № 3. – Pp. 25-130.
16. Pat. 190006 U1, Russian Federation, SPK E04B 5/36 (2020.01), E04G11/40 (2020.01). Prefabricated monolithic reinforced concrete floor / V.T. Shalenny, S.F. Akimov, K.A. Leonenko, I.M. Dolgoshapko, V.D. Malakhov. – Application No. 2019 141926. – Appl. 12/13/2019; publ. 02/13/2020, Bull. No. 5. – 5 p.
17. Akimov, S.F., Leonenko, K.A., Malakhov, V.D. and Shalenny V.T. Resource-saving development of VELOX technology in the construction and reconstruction of prefabricated monolithic floors // FORM-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869 (2020) 072043 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/869/7/072043.
18. Pat. 185868 U1, Russian Federation, IPC E04B5/02, IPC E04B1/98 (2006.01). Construction of a monolithic ceiling /V. T. Shalenny, O.L. Balakchin, A.A. Smirnov. – Application No. 2017 147103. – Appl. 12/29/2017; publ. 12/20/2018, Bull. No. 35.
19. Andronov A.V., Balakchina O.L., Leonenko K.A., Shalenny V.T. Improving the manufacturability of the reinforced concrete structures production by using lightweight filling materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" - Organization and Technology of Construction Production. 2019. 055019. DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/5/055019>.
20. Shalenny, V.T., Smirnov, A., Leonenko, K. Improved structural and technological system of ceilings with plastic inserts, partially replacing monolithic reinforced concrete // Construction and technogenic safety. – 2019. – № 16 (68). – Pp.45-54.
21. Shmukler, V.S., Klimov, Yu.A., Buryak, N.P. Lightweight frame systems. – Kharkov: Golden Pages, 2008. – 336 p.
22. Pat. 7667 U, Republic of Belarus, IPC E04B1 / 04 (2006.01). Multi-hollow reinforced concrete floor slab / I.A. Kittens. – Application № u 2011 0141. – Appl. 03/03/2011; publ. 10/30/201. – 3 c.
23. Pat. 2634156 C2, Russian Federation, IPC E04B1 / 44 (2006.01), IPC E04C2 / 00 (2006.01), IPC B27B7 / 28 (2006.01). A method for manufacturing monolithic reinforced concrete beam floor slabs with round voids, using non-removable cardboard-polyethylene void formers / B.A. Pushkarev. – Application № 2015 143846. – Appl. 10/14/2015; publ. 24.10.2017, Bull. № 30.
24. Pat. 2664087 C2 Russian Federation, SPK B28B1/445 (2018.05), E04C2/00 (2018.05), B28B7/28 (2018.05). A method for the continuous production of monolithic reinforced concrete hollow-core floor slabs supported along the contour using non-removable tubular cardboard-polyethylene void formers /B. A. Pushkarev. – Application № 2017102030. – Appl. 01/23/2017; publ. 07/27/2018. Bull. № 21.
25. Resource-saving production of building structures from small blocks of the Crimean shell rock: monograph / K.A. Leonenko, N.V. Lyubomirsky, N.V. Tsopa, V.T. Crazy; under total ed. V.T. Crazy. – Moscow: RUSSIGNS, 2022. – 192 p.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF THE CONSTRUCTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FLOORS WITH INSERTS MADE OF CARDBOARD, PLASTIC AND LOCAL STONE MATERIALS

Shalenny V.T., Shchegula R.V.

Academy of Construction and Architecture of the «V.I. Vernadsky Crimean Federal University»
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181

Abstract: the paper analyzes progressive structural and technological systems for the installation of monolithic and precast-monolithic floors of civil buildings. Examples and expediency of using all kinds of inserts made of plastic and other light materials and products to replace part of monolithic reinforced concrete in structures are shown. Original ways of constructing prefabricated monolithic interfloor and attic floors of civil objects are proposed. To confirm the effectiveness of the use of innovative methods for constructing a prefabricated monolithic floor, the direct costs and tax deductions were calculated for the construction of such a floor at the same facility, but using different competing technologies.

Subject of research: technologies for the construction of monolithic reinforced concrete floors with liners.

Materials and methods: an assessment of the comparative economic efficiency of the implementation of the above innovations in the technology of interfloor construction was used on specific examples of the design and construction of civil facilities in the Crimea; to determine the reliable cost of prefabricated monolithic ceilings, the method of market analysis was used: request for proposals, monitoring.

Results: a significant reduction in material and labor costs for the installation of flooring with filling from plastic pipes or from shell rock blocks was established compared to solid monolithic and prefabricated multi-hollow slabs of factory production.

Conclusions: the design of a prefabricated monolithic floor slab with plastic liners in the form of round pipes was developed and presented, which allows saving almost 45% of monolithic reinforced concrete.

Key words: resource-saving technologies, precast-monolithic overlap, replacement of reinforced concrete with liners, plastic, shell blocks, cost.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 628.1+612.0

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОЕК

Николенко¹ И.В., Котовская² Е.Е., Котовский³ А.Е.

Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского»,
Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
E-mail: ¹nikoshi@mail.ru; ²elevkot@gmail.com; ³kotovskiialex@yandex.ru

Аннотация. В работе выполнена количественная оценка расходов воды на мытье транспортного средства на автомойках, работающих по принципу самообслуживания, определены качественные показатели стока, определены требования, предъявляемые к очищенным сточным водам для участия в оборотном цикле, перечислены требования, предъявляемые к сточным водам для выпуска в городскую канализационную сеть. Рассмотрены существующие технологические схемы обработки сточных вод, образованных от мытья автомобилей. Выполнены натурные наблюдения и лабораторные анализы по определению фактического содержания взвешенных веществ. Для локальных очистных сооружений разработана технологическая схема очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта на автомойках, работающих по принципу самообслуживания.

Предмет исследования: Технологическая схема очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта на автомойках, работающих по принципу самообслуживания.

Материалы и методы: Натурные наблюдения и лабораторные анализы по определению фактического содержания взвешенных веществ в сточной воде автомоек самообслуживания. Исходная концентрация взвешенных веществ в сточной воде определена весовым методом. Седиментационный анализ в статических условиях выполнен для получения параметров загрязнений для выбора физико-химических методов очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта. Серия пробного коагулирования показала, что физико-химические методы обеспечивают очистку сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта.

Результаты: Установлено, что система очистки сточных вод автомойки в водооборотных схемах должна обеспечить качество воды, допустимое для последующего мытья транспортных средств. Определены основные параметры исследуемой сточной жидкости автомоек самообслуживания: исходная концентрация взвешенных веществ, кривая седиментации в статических условиях. Экспериментально установлена зависимость эффективности осаждения загрязнений от продолжительности отстаивания, а также выполнено пробное коагулирование, что явилось основой разработки технологической схемы очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта на автомойках, работающих по принципу самообслуживания.

Выводы: Выполнена количественная оценка расходов воды на мытье транспортного средства на автомойках самообслуживания, определены качественные показатели сточной воды, определены требования, предъявляемые к очищенным сточным водам для участия в оборотном цикле, проведены натурные наблюдения и лабораторные анализы, результаты, которых позволили разработать технологическую схему очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта на автомойках, работающих по принципу самообслуживания.

Ключевые слова. автомойка самообслуживания, взвешенные вещества, концентрация, седиментационная кривая, отстойники, локальные очистные сооружения, технологическая схема.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение в мире численности автомобилей со второй половины XX века привело к качественному изменению городских геосистем, так как транспортные средства являются причиной одного из мощных источников загрязнения природной среды. При эксплуатации автомобилей в результате воздействия внешних и внутренних факторов происходят необратимые ухудшения их технического состояния. К внешним факторам относятся технический уровень эксплуатации, обслуживания и ремонта, дорожные, климатические и сезонные условия, а также агрессивность окружающей среды и др. Мойка автомобиля является одной из основных технологических операций в комплексе работ по поддержанию его работоспособного состояния, обеспечению надежности, экономичности работы, безопасности

движения и защите окружающей среды. Поэтому бизнес в области мойки автомобилей в настоящее время один из рентабельных, что обуславливает широкий спектр предложений на рынке как автомоек, так и оборудования для них.

Сточные воды, образованные от мытья автомобильного транспорта, представляют собой сложную компонентную смесь, в составе которой включены минеральные примеси, илестые и глинистые частицы, смываемые с колесных шин автомобиля, а также частицы пыли и налипленной грязи, смываемой с кузова. В результате мойки транспортных средств образуются сточные воды, которые по составу идентичны первым порциям поверхностного дождевого стока, что определяется общими источниками формирования химического и бактериологического состава загрязнений, которые накапливаются на транспортных магистралях и городских территориях [1, 2]. В последнее время обеспечивается устойчивая тенденция к

увеличению числа автомоек, которые функционируют в соответствии с действующим экологическим законодательством по замкнутому циклу водоснабжения. С учетом того, что объекты автомобильного сервиса являются одними из прибыльных и распространенных видов бизнеса, основными критериями работы технологических схем очистных сооружений является их качество, технико-экономическая эффективность на разных режимах эксплуатации, а также надежное обеспечение экологической безопасности.

Очистить автомобиль от загрязнений только с помощью воды с высокой производительностью, качеством и малыми затратами невозможно. Поэтому автомойки оснащены системой подачи специальных моющих средств, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые попадают в сточные воды. Опаснейшими веществами, которые содержатся в сточных водах автомоек, и могут наносить значительный вред окружающей среде, в частности водным объектам, являются нефтепродукты, соли тяжелых металлов, ПАВ, автошампуни, биологические загрязнения и т.д. По действующим нормативным документам воды от мойки автомашин допускается сбрасывать в городскую сеть дождевой канализации только после их очистки на локальных очистных сооружениях. При этом состав сточных вод, их свойства зависят от времени года, метеорологических и климатических условий, состояния дорог, технического состояния автомобиля, а также технологических схемы мойки. Системная и качественная очистка сточных вод автомоек в настоящее время является важной составляющей экологической безопасности. Поэтому исследование процессов распространения загрязнений в окружающей среде, которые содержатся в сточных водах автомоек, для урбанизированных территорий является одной из актуальных и приоритетных экологических задач [1, 3].

Дефицит водных ресурсов в настоящее время является глобальной мировой проблемой. В большинстве индустриально развитых стран мира действуют жесткие экологические законы, правила и нормативы, предъявляемые к промышленным предприятиям и объектам городского хозяйства для обеспечения ими определенных стандартов качества воды, для осуществления выпуска очищенных сточных вод в окружающую среду. Наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды является многократная переработка и повторное использование воды. Законы о борьбе с загрязнением не только помогли в индустриально развитых странах снизить антропогенную нагрузку на водные объекты, но и способствовали сохранению и более эффективному использованию водных ресурсов. По мере того как чистая пресная вода превращается во все больший дефицит, водосберегающие технологии часто становятся наименее дорогостоящим и наиболее

экологически безопасным способом удовлетворения потребностей предприятий в воде [4].

В результате, наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения экологических законов, норм и требований, а также предотвращения рисков загрязнения окружающей среды являются оборотные циклы с повторным использованием воды. Сопоставление качества воды с ее целевым использованием открывает способ управления водой, который превращает сточные воды из проблемы утилизации в ценный источник водоснабжения, а также экономический стимул для внедрения оборотных циклов. В большинстве предприятий решения о применении рециклинга принимаются на основе анализа объемов и структуры водопотребления с оценкой затрат на получение воды и ее очистку перед сбросом, с затратами на добавление оборудования для доочистки и повторного использования сточных вод внутри предприятия. Несмотря на то, что вода является только частью глобальной системы природопользования, но в ней основное влияние имеют локальные системы управления, то есть то, как водные ресурсы используются и управляются на местном и региональном уровнях [3, 4]. В данной работе рассмотрены проблемы обоснования параметров систем рециркуляции в системах водоснабжения автомоек самообслуживания в рамках разработки комплекса мер по решению проблем дефицита водных ресурсов в Крыму.

ПОСТАНОВКА И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» в Российской Федерации по состоянию на 1 января 2021 зарегистрировано порядка 60 млн. единиц автотранспортных средств. Структурное распределение транспортных средств по их видам представлено на рис. 1. Анализ представленной диаграммы, показывает, что основная часть автотранспортных средств находится в личном пользовании, их число по данным представленным агентством «АВТОСТАТ» за последние десять лет выросло на 31%. В настоящее время на 1000 россиян приходится 313 автомобилей. Владение личным автомобильным транспортом накладывает свои эксплуатационные обязательства по поддержанию работоспособного состояния, к которому относится регулярная мойка колес и кузова, очистка салона, а также периодическая химчистка. Все указанные эксплуатационные обязательства повышают надежность и повышает комфорт, получаемый автовладельцем от использования личного средства передвижения. Многие автолюбители с большим удовольствием осуществляют этот уход за автомобилем. С распространением личного транспорта среди населения растет и сопутствующий сервис, в частности мойки самообслуживания, появляющиеся в каждом

городе, в каждом микрорайоне и ни одна из них не находится в простое, их эксплуатация осуществляется в непрерывающемся режиме.

Состав сточных вод, их свойства зависят от времени года, метеорологических и климатических условий, состояния дорог, технического состояния автомобиля, а также технологических схемы мойки. На качество и производительность технологической операции - мойки большое влияние оказывают состав, концентрация и температура моющих растворов; давление раствора и угол наклона струи относительно промываемой поверхности; расстояние от насадки до промывочной поверхности и продолжительность воздействия струи на очищаемый участок поверхности автомобиля. Поэтому технологические схемы мойки автомобилей отличаются составом, температурой и давлением воды, способом ее подачи и отведения, уровнем автоматизации, системой подачи воды на очищаемую поверхность,

качеством и временем мойки. Мойка автомобиля может выполняться при низком (до 0,2 МПа), среднем (до 0,9 МПа) и высоком (до 15 МПа) давлении. Максимальную производительность обеспечивают автомойкам струйные установки высокого давления. Способ струйной очистки более производителен, снижает ее себестоимость, а также способствует сохранности лакокрасочных покрытий. При мойке в установках высокого давления насосные агрегаты могут быть оборудованы системами нагрева воды, подачи моющих веществ, защиты и автоматики. На качество и производительность технологической операции - мойки большое влияние оказывают состав, концентрация и температура моющих растворов; давление раствора и угол наклона струи относительно промываемой поверхности; расстояние от насадки до промывочной поверхности и продолжительность воздействия струи на очищаемый участок.

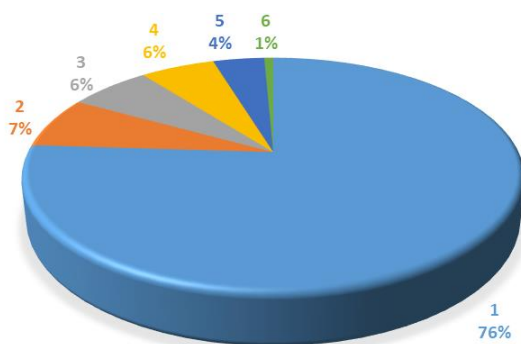


Рис. 1. Структурное распределение автотранспортных средств: 1 – легковые; 2 – легковые коммерческие; 3 – грузовые; 4 – прицепы(полуприцепы); 5 – мототранспорты; 6 – автобусы
Fig. 1. Structural distribution of motor vehicles: 1 – cars; 2 – passenger cars; 3 – cargo; 4 – trailers (semi-trailers); 5 – motor vehicles; 6 – buses

Технологические схемы очистки сточных вод автомоек включают разные варианты их реализации по структуре, составу, а также техническим средствам. В комплекс очистных сооружений, как правило, входят сооружения механической очистки. В зависимости от необходимой степени очистки технологические схемы дополняются сооружениями физико-химической и биологической очистки. Технологическая схема очистки сточных вод на автомойке должна планироваться комплексно, с учетом ее производительной мощности, количества используемых водных ресурсов, типа попадающих в жидкость загрязнителей, их состава и концентрации. Система очистки сточных вод автомойки в водооборотных схемах должна обеспечить качество воды, допустимое для последующего мытья транспортных средств. Существующие технологические схемы, методы и технологии, которые используются для очистки стоков автомоек, не всегда удовлетворяют требованиям, которые установлены нормативными документами. Модернизация и совершенствование существующих, разработка принципиально новых технологических схем очистных сооружений для

автомоек представляет важную научную и прикладную задачу [1, 3].

Полуостров Крым относится к числу вододефицитных регионов Российской Федерации. При этом водные ресурсы по территории Крыма распределены неравномерно, что объясняется различными причинами. К числу объективных факторов возникновения дефицита водных ресурсов на полуострове Крым относятся применение водоемких технологий, недостаток комплексных и системных мероприятий по водосбережению и водоэффективности [5]. Поэтому закономерно возникают вопросы экономии воды во всех секторах хозяйственной деятельности и возможных сферах ее потребления в Крыму: хозяйственно-питьевое водоснабжение, сельскохозяйственное производственное, в том числе автомобильного сервиса.

По данным ГИБДД Крыма, с 2014 года, количество автомобилей, зарегистрированных в городе Симферополе, увеличилось в четыре раза: на каждую тысячу жителей крымской столицы приходится 400 автомобилей [6]. Несложно подсчитать, что ориентировочное количество автомобилей в городе составляет более 136 тысяч и

в Симферопольском районе – более 65 тысяч и прирост в год составляет до 20 тысяч автомобилей [6]. Из средств массовой информации известно, что суммарное потребление воды всех автомоек города Симферополя составляет в летний период 800 м³/сутки и в два раза меньше в зимний. В период строгих ограничений водопользования в 2020 и 2021 годах 800 м³ составляло до 1 % от суточной подачи воды в городе Симферополь, также данная величина полностью обеспечивает водопотребление небольшого микрорайона. В результате, в период ограничений подачи воды автомойки города Симферополя в основном не работали. Известно, что из всего количество автомоек города только 10% оборудованы системами очистки и возврата сточных вод в технологический цикл этих предприятий. Это несмотря на то, что согласно требований ведомственных норм РФ – ВСН 01-89 «использование для производственного водоснабжения воды питьевого качества допускается в виде исключения при отсутствии

технического водопровода и при технико-экономическом обосновании нецелесообразности устройства системы оборотного водоснабжения». Для региона с дефицитом водных ресурсов такая норма является особо актуальной, так как каждый кубометр воды следует беречь и повторно использовать во всех сферах деятельности.

Сточные воды, образованные от мытья автомобильного транспорта, имеют сложный и разнородный состав загрязнений. Обоснование возможного использования сточных вод в оборотном цикле водоснабжения подразумевает тщательный анализ показателей качественного состава воды, используемой в оборотном цикле водоснабжения. Строго регламентируется состав осветленной производственной сточной водой, концентрация механических примесей, нефтепродуктов и тетраэтилсвинца регламентируется показателями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Сводные данные значений, приведенных для воды, образованной от мытья автомобильного транспорта, сточной воды, прошедшей очистку на ЛОС перед выпуском в хозяйственно-бытовую канализацию и воды, предназначенной для участия в оборотном цикле

Наименование загрязнений	Состав сточных вод от мытья автомобильного транспорта	Состав сточных вод, допустимый для выпуска в хозяйственно-бытовую канализацию сеть после очистки на ЛОС	Состав очищенных сточных вод для участия в оборотном цикле
Концентрация взвешенных веществ, мг/л	3000...700	<300	70...40
Концентрация нефтепродуктов, мг/л	900...75	<15	20..15
Концентрация БПК ₅ , мг/л	80	<300	Регламент не найден
Концентрация СПАВ, мг/л	Регламент не найден	10	Регламент не найден

Проанализировав данные, представленные в таблице 1, можно заключить, что необходимая степень очистки по указанным параметрам составляет для взвешенных веществ – 90 %; для нефтепродуктов - 80...98 % - для воды, прошедшей очистку на ЛОС 98,7 % и 80...95% соответственно по взвешенным веществам и БПК₅. При использовании восстановленной воды в открытых системах технического водоснабжения эпидемиологическая безопасность является важным критерием ее качества и степени очистки. Применяемая вода должна иметь хорошие органолептические свойства и быть безопасной по химическому составу. В нормативах приведены общие требования по качеству воды, при любом сочетании методов очистки, доочистки и обеззараживания по гигиеническим критериям [7].

Состав загрязнений сточных вод автомоек, а также требования по качеству воды для ее повторного использования обуславливает применение несколько этапов очистки в

технологических схемах очистных сооружений. Первичная очистка в автомойке с механическим отделением нерастворимых загрязнений от воды возможна с применением простейших методов, включающих отстаивание и фильтрование. Наиболее простые схемы очистки сточных вод автомоек содержат фильтры грубой очистки, на которых удаляются взвешенные вещества и частично нефтепродукты. Доочистка выполняется на фильтрах тонкой очистки, после чего вода подается на вторичное использование. В этом случае фильтр тонкой очистки представляет собой корпус с последовательно установленными в нем кассетами, с синтетическим нетканым материалом. Промывочная вода фильтров поступает в специальный сборник, откуда после отстаивания направляется в голову очистных сооружений, а осадок удаляется. Такая простая технологическая схема обеспечивает очистку нефтесодержащих сточных вод транспортных предприятий с показателями качества - 1...3 мг/л по

нефтепродуктам и $5...10$ мг/л по взвешенным веществам при исходной концентрации сточных вод до 300 мг/л по нефтепродуктам и до 1000 мг/л по взвешенным веществам. Существенным недостатком такой технологической схемы очистки является сохранение в сточной воде растворимых и биологических загрязнений, которые накапливаются в оборотной воде автомойки.

В рекомендуемых в специальной литературе технологических схемах очистки сточных вод, образованных от мойки автомобиля, устанавливаются следующие элементы: отстойник, оборудованный маслосборником; сетчатый фильтр; гидроциклон. Для извлечения мелких взвешенных частиц в процессе механической очистки применяется коагуляция, с оптимальной дозой коагулянта (сернокислый алюминий) 50 мг/л. Для ускорения реакции вводят флокулянт - полиакриламид с дозой $0,5...1$ мг/л.

В случае использования для мойки легковых автомобилей синтетических моющих средств предусматривается флотация с последующим удалением пены. Традиционно в состав таких очистных сооружений входят: отстойник-фильтр; насосная станция; реагентное хозяйство; бункер для осадка. Очистное оборудование серии «*Мойдодыр-М*» предназначено для очистки сточных вод в системах оборотного водоснабжения автомоек с применением специальных ПАВ. Эти очистные сооружения для автомоек состоят из гидроциклона, тонкослойного полочного отстойника, фильтра с плавающей загрузкой, системы дозирования коагулянта и блока управления. Данное очистное сооружение оборудовано нефтеотделителем, флотатором, системой дозирования коагулянта и автоматическим дозатором хлора для автомоек.

Стоки от моечных установок самотеком поступают на заглубленные очистные сооружения, располагаемые вне здания на расстоянии 6 м от него. Скорость потока в отстойнике принимают $4...5$ мм/с. Длина отстойника составляет $10...18$ м, ширина секции 2 м. В конце отстойника вода проходит нефтеудерживающую стенку и поступает в сборную камеру перед фильтрами. Фильтрование предусматривается снизу вверх, скорость фильтрования $5...10$ м/ч. Фильтры заполняются неткаными материалами типа сипрона и поролон. Регенерация фильтров осуществляется путем механического отжима фильтрующего материала. После фильтров вода через сливную стенку поступает в водозаборную камеру, откуда насосами возвращается на моечную установку. Типовые проекты данной комплектации разработаны на производительность 10 , 20 , и 30 л/с – для сточных вод от механизированной мойки автомобиля и $1,5$ л/с и 3 л/с для ручной шланговой мойки.

В технологической схеме очистки сточных вод автомоек НПП «*Полипром*» существующие оборотные системы снабжены блоком, включающим бактерицидную обработку воды. Блок состоит из 2-х секционного фильтра с

регенерируемой пенополиуретановой загрузкой и сертифицированным ультрафиолетовым стерилизатором, который обеспечивает практически полное уничтожение биологических загрязнений. Выбор бактерицидной обработки обусловлен запретом на использование реагентных методов очистки в случае возможности отведения стоков на городские сооружения биологической очистки. Недостаток такой оборотной системы водоснабжения является несовершенство пенополиуретанового фильтра при его эксплуатации, что не позволило данной технологической схеме получить широкое применение.

В технологической схеме оборотного водоснабжения, которая применяется в оборудовании автомойки **HEO - KARCHER** (Германия) сточная вода после мойки насосом высокого давления скапливается в отстойнике, где механически оседают крупные частицы грязи. Затем с помощью насоса вода поступает в бак-смеситель установки, где встряхиваемая дозирующая система добавляет необходимое количество специального реагента и антибактериального вещества. После интенсивного перемешивания в смесителе происходит отделение грязи и масел. При этом тяжелые частички оседают на его дне, а легкие фракции загрязнений и минеральные масла собираются наверху. Очищенная вода накапливается в буферном баке, затем проходит через специальные фильтры в сборный резервуар, откуда через клапан и насос высокого давления снова подается на мойку. Так как мойка выполняется при высоком давлении воды с созданием эффекта тумана, то происходят естественные потери воды. Для компенсации потерь воды при мойке из системы водоснабжения используется подвод свежей воды, которая используется в основном на ополаскивание после мойки с применением моющих средств. Расход свежей воды, на ополаскивание, не превышает 15% от общего расхода. После определенного периода (до 50 циклов) отработанная вода в оборотной схеме удаляется для утилизации. Вывоз отходов из отстойника, смесителя и буферного бака возникает не чаще одного двух раз в год. Существенным недостатком повсеместно внедренных систем автомойки **KARCHER**, в которых применяется подача под давлением водовоздушной смеси, является то, что смывание загрязнений с поверхности автомобиля вызывает разбивание частиц грязи на тонкодисперсную суспензию, плохо удаляющуюся на последующих ступенях очистки.

Технологическая схема очистки сточных вод автомойки предприятий автомобильного транспорта представлена на рисунке 2 [8]. Для обеспечения нескольких этапов очистки в данной технологической схеме установлены: грязеотстойник; флотатор (нефтеловушка); многоярусный полочный отстойник, и вторичный отстойник.

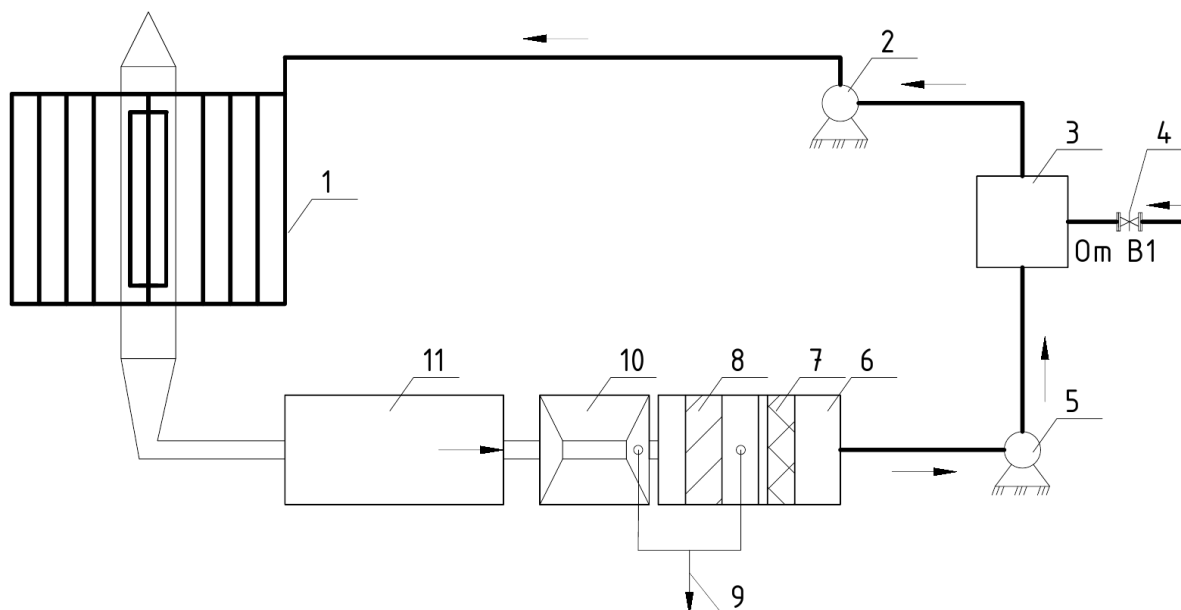


Рис. 2. Технологическая схема очистки сточных вод автомоек [6]: 1 – пост мойки; 2 – насос высокого давления; 3 – сборный резервуар; 4 – подпитка из водопровода; 5 – насос для перекачки; 6 – вторичный отстойник; 7 – фильтр; 8 – многоярусный отстойник; 9 – сброс в маслоборник; 10 – флотатор (нефтеловушка); 11 – грязеотстойник

Fig. 2. Technological scheme of wastewater treatment of car washes [6]: 1 – washing post; 2 – high pressure pump; 3 – collection tank; 4 – make-up from the water supply; 5 – pump for pumping; 6 – secondary sump; 7 – filter; 8 – multi-tiered sump; 9 – discharge into the oil collector; 10 – flotator (oil trap); 11 – mud sump

Для предприятий автомобильного транспорта может применяться и модифицированная технологическая схема, в состав которой включены: грязеотстойник, нефтеловушка с полочными блоками; электрохимическая очистка сточных вод; фильтр из нетканых материалов. На рисунке 3 представлена технологическая схема очистки сточных вод предприятий автомобильного транспорта «Свяга», разработанная украинскими учеными. В составе данной технологической схемы присутствует: пескоулавливающий лоток; блок очистки, состоящий из флотатора, грязеотстойник; осветлительного и адсорбционного фильтровальных модулей.

Анализ описанных технологических схем автомоек со схемами оборотного водоснабжения, показывает, что для малой производительности оптимальной схемой является схема, включающая грязеотстойник, флотатор, фильтр при необходимости вторичный отстойник или грязеотстойник, отстойник, оборудованный тонкослойными модулями, фильтр, вторичный отстойник с отдувкой биогенных примесей.

Увеличившееся количество личного автотранспорта создает пробки на дорогах,

затрудняет движение всего транспорта в городе, а также загрязняет воздух. Кроме, перечисленных негативных факторов, возникающих вследствие увеличения числа автомобилей, необходимо учитывать увеличение количества воды, которое расходуется на мойку автомобилей, и загрязнения сточных вод, образующиеся после мытья автомобиля. Кроме личного автомобильного транспорта на полуострове, работают автотранспортные предприятия, необходимые для транспортного обеспечения различных предприятий, государственных и коммерческих структур, система регламентных работ, которых включают мойку. Благодаря автоматизированным процессам мойки и отсутствию обслуживающего персонала, такой вид автосервиса становится наиболее привлекательным для автовладельцев. Благодаря более низким ценам мойки самообслуживания получают все более широкое распространение в виде частных предприятий на 2...8 постов. Владелец частного автотранспорта привлекает функциональность и доступность автомоек, а опыт зарубежных стран показывает, что этот вид бизнеса в обозримом будущем будет только процветать.

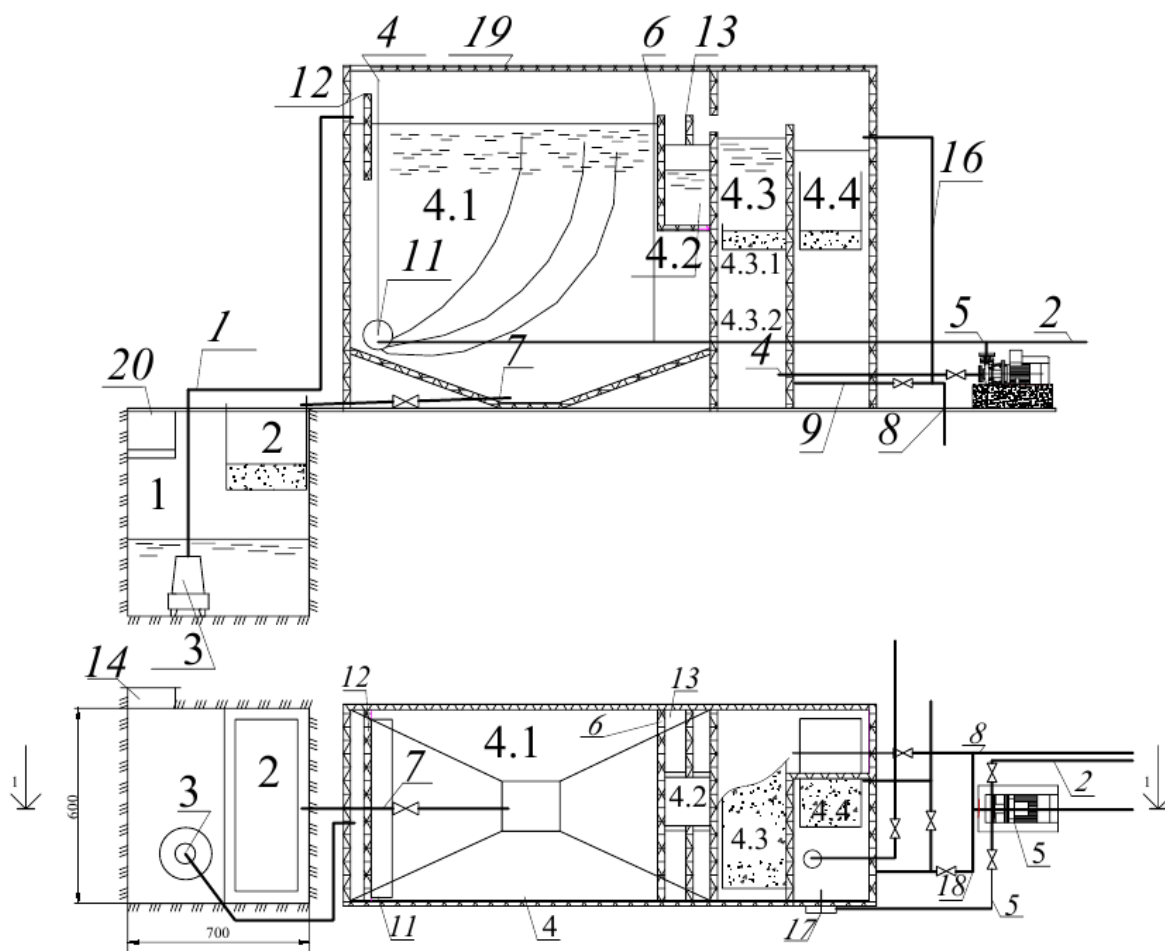


Рис. 3. Технологическая схема очистки сточных вод автомоек «СВИЯГА»: *Технологическая схема:* 1 – сборная емкость; 2 – фильтр для осадка; 3 – насос подачи загрязненной воды; 4 – блок очистки; 4.1 – флотатор; 4.2 – емкость для флотопены; 4.3 – отделение моечной воды; 4.3.1 – фильтровальный модуль осветлительный; 4.3.2 – емкость очищенной воды; 4.4 – отделение очистки избыточной воды; 4.4.1 – фильтровальный модуль осветлительный, 4.4.2 – фильтр адсорбционный; 5 – насос подачи очищенной воды на мойку и рабочей жидкости к эжектору; *Оборудование и элементы:* 1 – трубопровод подачи воды в блок очистки; 2 – трубопровод подачи воды к моечным постам; 3 – водопровод; 4 – трубопровод водовоздушной смеси; 5 – трубопровод рабочей воды к эжектору; 6 – трубопровод пеногашения; 7 – трубопровод осадка; 8 – сброс избыточной воды, опорожнение и перелив; 9 – дренаж; 10 – регулируемый водослив; 11 – сатуратор-водораспределитель; 12 – полупогружная перегородка; 13 – пеносорбный лоток; 14 – пескоулавливающий лоток; 15 – поплавковый клапан; 16 – перелив; 17 – эжектор; 18 – всасывающий трубопровод насоса; 19 – крышки блока очистки; 20 – перекрытие пескоулавливающего лотка и сборной емкости (выполняются монтажной организацией)

Fig. 3. Technological scheme for wastewater treatment of car washes «SVYAGA»: *Technological scheme:* 1 – collection tank; 2 – sediment filter; 3 – contaminated water supply pump; 4 – cleaning unit; 4.1 – flotation machine; 4.2 – container for float foam; 4.3 – separation of washing water; 4.3.1 – clarification filter module; 4.3.2 – treated water tank; 4.4 – separation of excess water treatment; 4.4.1 – clarification filter module, 4.4.2 – adsorption filter; 5 – pump for supplying purified water to the sink and working fluid to the ejector; *Equipment and elements:* 1 – pipeline for supplying water to the purification unit; 2 – pipeline for supplying water to washing posts; 3 – plumbing; 4 – water-air mixture pipeline; 5 – working water pipeline to the ejector; 6 – defoaming pipeline; 7 – sediment pipeline; 8 – discharge of excess water, emptying and overflow; 9 – drainage; 10 – adjustable spillway; 11 – saturator-water distributor; 12 – semi-submersible partition; 13 – foam tray; 14 – sand trapping tray; 15 – float valve; 16 – overflow; 17 – ejector; 18 – suction pipeline of the pump; 19 – covers of the cleaning unit; 20 – overlapping of the sand trapping tray and collection tank (performed by the installation company)

В результате анализа описанных технологических схем, установлено, что они в основном предназначены для автотранспортных предприятий и крупных станций технического обслуживания автомобилей. Такие схемы не подходит для автомоек самообслуживания типа «Мой сам», в которых процесс мойки может

изменяться в широких пределах, в зависимости от умений, навыков, качества и времени, которое выбирается автовладельцем самостоятельно. Поэтому необходима разработка технологического процесса очистки сточной воды для локальных очистных сооружений (ЛОС) моек самообслуживания, на которых расход может

варьироваться $4,2...16,8 \text{ м}^3/\text{сут}$, при этом $80...85\%$ вод должны быть оборотными и только $20...15\%$ подпитка свежей водой из источника, предназначенной для обмыва кузова. В связи с этим, для автомоек самообслуживания Крыма возникает задача поиска технологических и технических решений, снижающих уровень их экологического воздействия до уровня регламентированных показателей, оговоренных в стандартизированных документах, а также обеспечивающие рациональное использование материальных и энергетических ресурсов, экономическую целесообразность, с учетом комплекса мероприятий, направленных на преодоление дефицита водных ресурсов.

С учетом вышеизложенного целью данной работы является получение практических рекомендаций к проектированию ЛОС для очистки сточных вод, образованных от мытья автотранспортных средств на автомойках самообслуживания типа «Мой сам».

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды, полученные от мытья автотранспортного средства на мойке самообслуживания с двумя постами, работающей по принципу «Мой сам». В ходе проведения экспериментальных исследований и для реализации запланированных задач выполнялась мойка автомобиля предварительно тщательно загрязнив его с последующим сбором сточной жидкости для определения параметров загрязнений и обоснования методов очистки. Ход выполнения эксперимента предусматривает реализацию 3-х этапов:

- сбор сточной воды от мытья автомобильного транспорта;
- определение основных параметров исследуемой сточной жидкости;
- обоснование физико-химических методов очистки обрабатываемой сточной жидкости.

Первый этап - сбор сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта.

Для проведения экспериментальных исследований легковой автомобиль подвергся в течении 2-х недель интенсивной эксплуатации с ежедневными поездками по городу и поездками по трассе. Перед началом работ по мойке легковой автомобиль совершил пробег на расстояние $500...600 \text{ км}$, при этом получив равномерное загрязнение кузова. Для сбора сточной воды после мойки, предварительно по поверхности поста был расстелен отрез пленки, превышающий габариты

автомобиля и с облеганием приямка для сбора мочных вод.

После размещения автомобиля в poste автомойки осуществили несколько операций технологического процесса мойки:

1-ая операция - смыв загрязнений с поверхности кузова и днища при помощи системы подачи воды под давлением совместно с сжатым воздухом, в течении 1 минуты.

2-ая операция - нанесение на поверхность кузова пены моющего средства - 1 минута.

3-я операция – экспозиция моющего средства, в течении 3-х минут.

4-я операция - смыв загрязнений в течении 1 минуты.

После смыва загрязнений с кузова, автомобиль покидает пределы поста и с расстеленной пленки осуществляется сбор мочных вод, объем которых не превысил 50 литров.

Объем сточной воды является одним из основных факторов, влияющих на обоснование технологических процессов очистки воды на ЛОС. По литературным источникам эта величина находится в диапазоне $70...210 \text{ л}$ на одну мойку [9]. На мойках самообслуживания эта величина во многом зависит от индивидуальных особенностей автовладельца, осуществляющего мытье автомобиля, поскольку этот процесс индивидуален, а регламентируется только стоимостью.

Второй этап - определение основных параметров исследуемой сточной жидкости.

Полученная сточная вода от мытья автомобиля была доставлена в лабораторию химии и технологии воды кафедры водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Института «Академии строительства и архитектуры», где были проведены последующие наблюдения и лабораторные исследования. При сборе сточной воды на поверхности пленки и на дне емкости оставались минеральные примеси – песок, количество и крупность которого следует учитывать при проектировании ЛОС.

После 4-х часов отстаивания сточная вода в лабораторных цилиндрах обладала устойчивой пеной на поверхности (рисунок 4), в которой были различимы частички загрязнений, также на поверхности плавали листья и крупные фракции загрязнений, плотность которых меньше плотности воды.

Для разработки практических рекомендаций к проектированию ЛОС для очистки сточных вод сложного химического и физического состава необходимо определить ее основные характеристики. Определение исходной концентрации взвешенных веществ в сточной воде автомойки выполнили весовым методом.

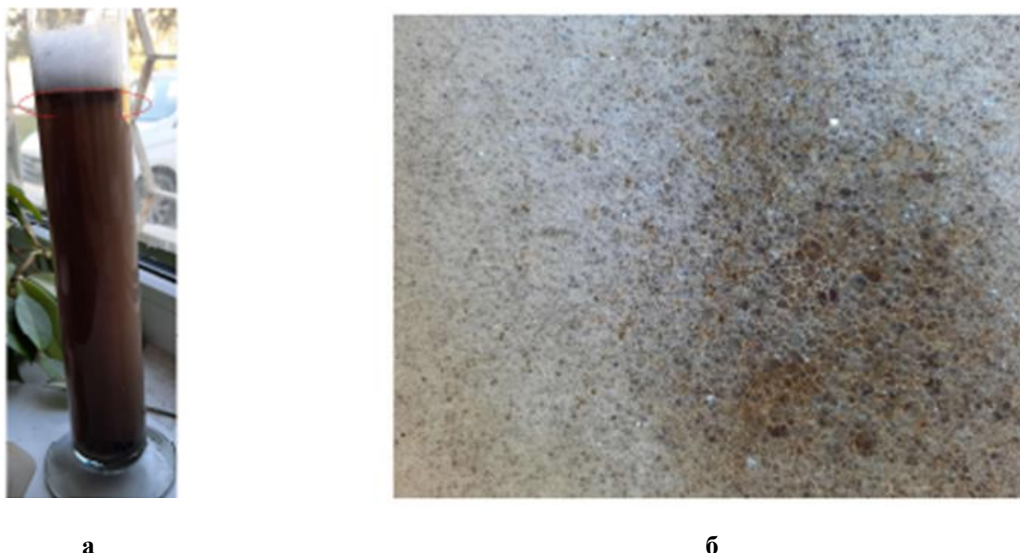


Рис. 4. Сточная вода, образованная от мытья автомобиля после 4-х часов отстаивания: а – сточная вода в лабораторном цилиндре; б – устойчивая пена, образованная на поверхности емкости сбора сточных вод
Fig. 4. Waste water formed from washing a car after 4 hours of settling: а – waste water in a laboratory cylinder; б – stable foam formed on the surface of the wastewater collection tank

Ход определения. Принятый объем исследуемой сточной воды v , мл 200...500 мл фильтруют через высушенный при температуре 105 °С и предварительно взвешенный бумажный или стеклянный №2 фильтр. Промывают осадок на фильтре небольшим количеством дистиллированной воды и переносят фильтр с осадком в предварительно прокаленный и взвешенный тигель. Высушивают при температуре 105 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Общее содержание грубодисперсных примесей в исследуемой сточной воде определяют по формуле:

$$X_{г} = \frac{(g_1 - g_0) \cdot 1000}{v}, \text{ мг/л} \quad (1)$$

где g_0 – исходный вес бумажного или стеклянного фильтра, мг; g_1 – вес бумажного или стеклянного фильтра с отфильтрованным осадком, мг; v – объем воды, взятой для определения, мл.

В проведенных исследованиях через стандартный бумажный фильтр, который предварительно взвешивается и просушивается при температуре 105 °С в течении 2-х часов, пропускается 500 мл сточной жидкости, образованной от мытья автомобиля. Масса предварительно взвешенного и высушенного

бумажного фильтра составляла 2,2 грамма. После пропуска сточной воды через фильтр и его высушивания вес составил 2,64. Таким образом, масса задержанных загрязнений на фильтре при пропуске 500 мл воды составила: $2,64 - 2,2 = 0,44$ грамма от 500 мл, что соответствует концентрации взвешенных веществ: $C_{вв} = 0,44 / 0,5 = 0,88$ г/л = 880 мг/л. Следовательно, исходная концентрация взвешенных веществ сточной воды составила 880 мг/л.

Для оценки очистки сточной воды далее применялся фотоэлектроколориметрический метод, согласно которому между оптической плотностью жидкой среды и концентрацией вещества в растворе существует прямая пропорциональная зависимость. Для возможности применения фотоэлектрокалориметра (ФЭК) и определения количества загрязнений вещества в сточной жидкости необходимо составить градуировочную кривую, которая показывает зависимость оптической плотности раствора D от мутности или количества загрязняющих веществ в растворе. По данным представленным в таблице 2 предварительно построен калибровочный график, представленный на рис.5, с нанесенной линией аппроксимации, которой соответствует коэффициент корреляции $R = 0,965$, что соответствует сильной корреляционной связи. [10].

Таблица 9. Определения оптической плотности по известной мутности в воде

Желаемая концентрация	Переводная концентрация	Соответствующая оптическая плотность, D
20 мг/л	2мг-0,1 л	0,18
50 мг/л	5мг-0,1 л	0,27
80 мг/л	8мг-0,1 л	0,36
100 мг/л	10 мг-0,1 л	0,8
160 мг/л	16 мг-0,1 л	0,9
200 мг/л	20 мг-0,1 л	1,5

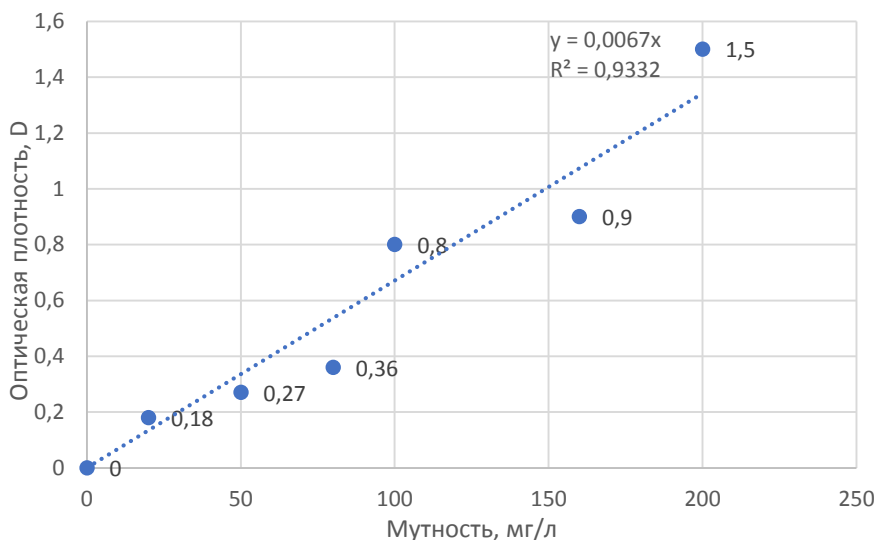


Рис. 5. Калибровочный график
Fig. 5. Calibration graph

Так как исходная сточная вода имела высокую мутность (рис.4а), что не позволяло проводить ее измерения фотоэлектроколориметрическим методом, то выполнялось ее разбавление в 10 раз дистиллированной водой. Для измерительной кюветы объемом 25 мл, исследуемые пробы содержали 2,5 мл исходной сточной воды и 22,5 мл дистиллированной воды. Результаты определения концентрации загрязнений исходной воды до пропускания через фильтр и после показаны на рис. 6.

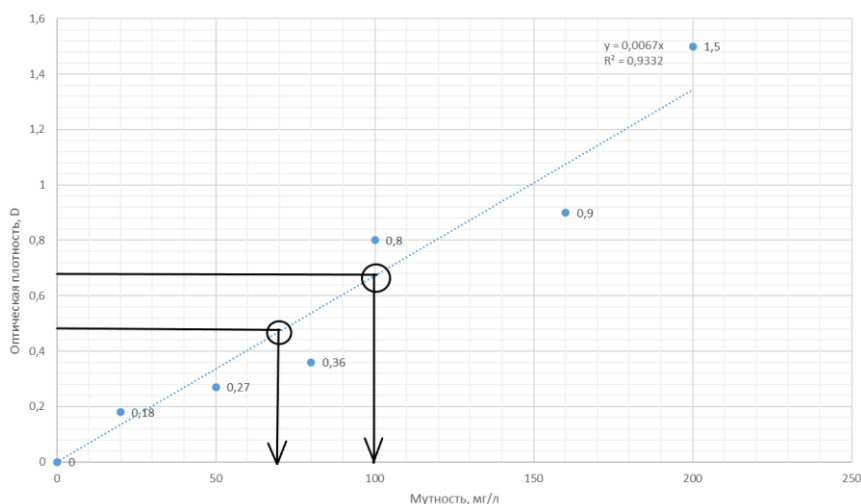


Рис. 6. Калибровочный график с нанесенными значениями до фильтрования через бумажный фильтр 500 мл сточной воды и после

Fig. 6. Calibration plot with plotted values before filtering through paper filter 500 ml waste water and after

С учетом 10-ти кратной степени разбавления сточной воды определены исходные концентрации ее загрязнения до входа на фильтр и после и эти величины составили: 1000 и 700 мг/л, что хорошо коррелирует со значением, полученным при определении путем высушивания в сушильном шкафу.

Для выбора методов очистки и обоснования технологической схемы ЛОС автомоек самообслуживания выполнен седиментационный анализ для различных режимов. Построение графиков седиментации позволяет определить:

- оптимальный состав сооружений, то есть ступеней очистки;

- концентрацию загрязнений на ступенях очистки;

- период нахождения сточной воды в грязеотстойнике.

Для построения кривых седиментации воспользовались методикой [11], которая основана на применении расчетной формулы (1).

В соответствии с данными, представленными в таблице справочника [12] построены графики седиментации для 3-х типов примесей: коагулирующих (рис. 7а), мелкодисперсных минеральных (рис. 7б) и структурных тяжелых примесей (рис. 7в).

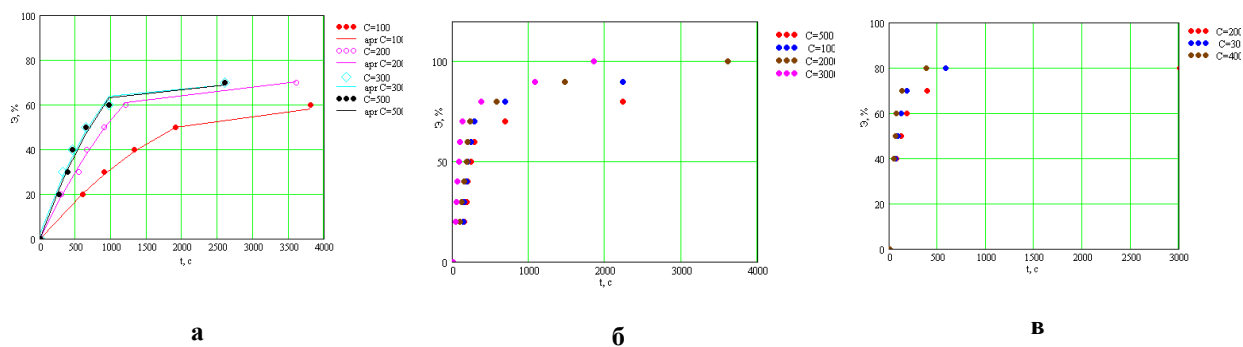


Рис. 7. Эффективность осаждения от продолжительности отстаивания для типов примесей (загрязнений):
 а – коагулирующих; б - мелкодисперсных минеральных; в – структурных тяжелых
Fig. 7. Sedimentation efficiency versus settling time for types of impurities (contaminants):
 а – coagulating; б – fine mineral; в – structural heavy

Для получения зависимости эффективности осаждения от продолжительности отстаивания исследуемой сточной воды, был осуществлен отбор проб с одной глубины лабораторного цилиндра с разным интервалом времени. Полученные пробы по 25 мл пропускали через предварительно высушенный и взвешенный бумажный фильтр и высушивали в сушильном шкафу, а, затем взвешивали. Результаты расчета по формуле (1) для разных интервалов времени позволили определить

содержание взвеси на временном этапе, что позволило построить седиментационную кривую, которая показана на рис. 8. Полученные значения, аппроксимируются логарифмической зависимостью, которая необходима для расчета сооружений отстаивания, так как позволяет определить геометрические параметры отстаивания при различной величине заданных входных параметров.

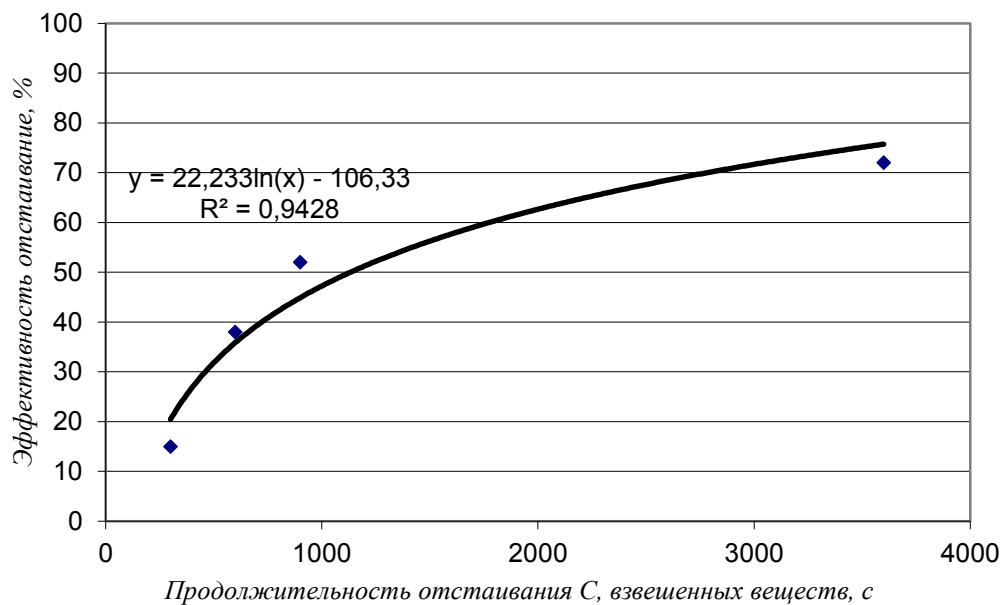


Рис. 8. Седиментационная кривая для сточной воды, собранной от мытья автомобильного транспорта
Fig. 8. Sedimentation curve for wastewater collected from vehicle washing

Для повышения эффективности очистки сточной воды, полученной от мытья автомобильного транспорта рассмотрены физико-химические методы. Для определения способности исследуемой сточной воды к физико-химическим методам очистки проведена серия пробного коагулирования. Стадии процесса коагулирования представлены на рис. 9. Предварительно в исследуемую воду

вводился коагулянт 1 мл 0,01 раствора «Магнафлока», что соответствует дозе 100 мг/л, что является достаточно значительной величиной. Затем провели тщательное перемешивание специальным ершиком с резиновым наконечником, с вовлечением воздуха. При этом на поверхности очищаемой воды слой увеличился в объеме в 3 раза (рис. 9а).

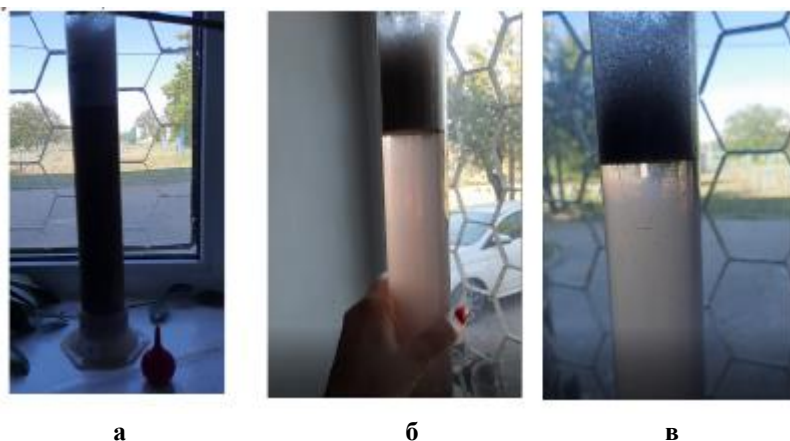


Рис. 9. Фотографии по стадиям процесса коагуляции:

а – введение коагулянта и тщательное перемешивание (увеличение высоты столба пены в 4 раза); б – процесс осветления после введения коагулянта и тщательного перемешивания и отстаивания; в – границы разделения после введения коагулянта тщательного перемешивания и нескольких часов отстаивания

Fig. 9. Photos by stages of the coagulation process:

а – the introduction of a coagulant and thorough mixing (increase in the height of the foam column 4 times); б – the process of clarification after the introduction of the coagulant and thorough mixing and settling; в – separation boundaries after the introduction of a coagulant of thorough mixing and several hours of settling

Рассмотрев полученные данные можно, заключить что сточные воды, образованные от мытья автомобильного транспорта, хорошо поддаются физико-химическим методам очистки, но при этом требуется значительное дозы реагента, а также продолжительный период отстаивания.

Анализ полученных результатов позволил принять следующую принципиальную технологическую схему ЛОС для очистки сточных вод, образованных от мытья автотранспортных средств на автомойках самообслуживания, которая представлена на рис.10.

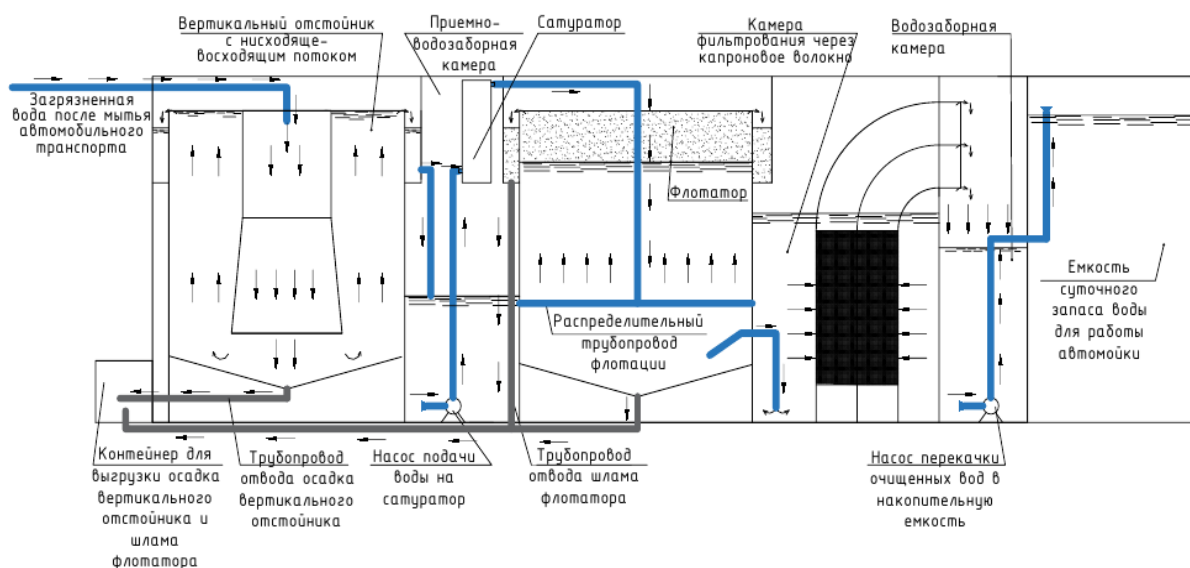


Рис. 10. Технологическая схема ЛОС очистки сточных вод от мытья автомобильного транспорта на автомойках самообслуживания

Fig. 10. Technological scheme of ЛОС for wastewater treatment from washing vehicles at self-service car washes

Технологическая схема ЛОС для моек самообслуживания, на которых расход не превышает $20 \text{ м}^3/\text{сут}$ содержит грязеотстойник; флотатор; камеру фильтрации и сборную накопительную емкость. Разработанная компактная установка ЛОС состоит из отстойника с нисходяще-восходящим потоком движения воды, камеры для забора воды и подачи на сатуратор, флотационной камеры, в которую поступает вода от сатуратора. Флотируемые примеси с выделившимися из воды

пузырьками воздуха всплывают на поверхность и отводятся в контейнер флотошлама, нефлотируемые примеси оседают на дно и будут периодически удалены за пределы ЛОС, осветленная вода в защитной зоне при помощи трубопровода отвода, расположенного специальным образом под наклоном, перепускают в фильтровальную камеру, в которой расположен трубчатый каркас фильтра, заполненный капроновым волокном, обеспечивающим

финальное осветление сточных вод. Из фильтровальной камеры вода поступает в водозаборную камеру, из которой погружным дренажным насосом перекачивается в сборную накопительную емкость, в которой хранится суточный запас воды автомойки после ее очистки. Для разработанной технологической схемы ЛОС очистки сточных вод от мытья автомобильного транспорта на автомойках самообслуживания определены основные конструктивные и гидравлические параметры для расчета типовой серии ЛОС на 1; 2; 3; 4; 6; 7; 8 постов с определением габаритов всех конструктивных элементов и определением стоимости полного комплекта ЛОС, включая монтажные работы.

ВЫВОДЫ

1. В работе выполнена количественная оценка расходов воды на мытье транспортного средства на автомойках самообслуживания, определены качественные показатели стока, определены требования, предъявляемые к очищенным сточным водам для участия в оборотном цикле; требования, предъявляемые к сточным водам для выпуска в городскую канализационную сеть. Рассмотрены существующие технологические схемы обработки сточных вод, образованных от мытья автомобилей.

2. Проведены натурные наблюдения и лабораторные анализы по определению фактического содержания взвешенных веществ, а также была построена калибровочная кривая для определения мутности при помощи оптической плотности на ФЭК.

3. Получена кривая седиментации в статических условиях, для получения возможности расчетных параметров для пересчета вертикального отстойника с нисходяще-восходящим потоком жидкости.

4. Проведены натурные наблюдения по определению возможности применения физико-химических методов очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта.

5. Разработана технологическая схема очистки сточных вод, образованных от мытья автомобильного транспорта на автомойках, работающих по принципу самообслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николенко И., Демков А., Мануйлов М. Перспективные технологические схемы очистных сооружений автомоек. – Lublin: MOTROL, 2013. – Т. 15. № 5. – С. 129-138.
2. Муровский, С.П. Загрязнение геологической среды автомобильным транспортом и объектами его инфраструктуры [Текст] / С.П. Муровский // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС. – 2003. – № 8 – С. 137-140.

3. Диффузное загрязнение водных объектов: источники, мониторинг, водоохранные мероприятия. Учебное пособие [Текст]: / Т.Б. Фасчевская, В.О. Полянин, Н.В. Кирпичников; под научной ред. В.И. Данилова-Данильяна – М.: Институт водных проблем Российской академии наук, 2020. – 171 с.

4. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.

5. Николенко И.В., Копачевский А.М. Основные направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму// Строительство и техногенная безопасность. 2021. – вып. 21 (73). – С. 147 – 160.

6. Количество автомобилей в Симферополе выросло в 4 раза и продолжает увеличиваться. Электронный ресурс: режим доступа: <https://vesti-k.ru/kolichestvo-avtomobilej-v-simferopole-vyroslo-v-4-raza-i-prodolzhaet-uvlechivatsya/>

7. МУ РФ 2.1.5.1183 – 03. Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий. – 20 с.

8. Санитарно-техническое оборудование зданий: Учеб. для вузов / В.С. Кедров, Е.Н. Ловцов. – М.: Стройиздат., 1989. – 495 с.

9. Батурич, В.Е. Автомобиль и инфраструктура города [Текст]/ В.Е. Батурич//Строительство и техногенная безопасность. – 2007. – № 18 – С. 99-103.

10. Кичигин, В.И. Моделирование процессов очистки воды: Учебное пособие [Текст] / В.И. Кичигин – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.

11. Кульский, Л.А. Химия и микробиология воды. Практикум [Текст] / Л.А. Кульский, Т.М. Левченко, М.В. Петрова. – К.: Вища школа, 1976, 116 с.

12. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика [Текст]: / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин; под общей ред. В.Н. Самохина – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.

REFERENCES

1. Nikolenko I., Demkov A., Manuilov M. Promising technological schemes of car wash treatment facilities. - Lublin: MOTROL, 2013. – Vol. 15. – № 5. – Pp. 129-138.
2. Murovsky, S.P. Pollution of the geological environment by road transport and its infrastructure objects [Text] / S.P. Murovsky // Construction and technogenic safety. – 2003. – № 8 – Pp. 137-140.
3. Diffuse pollution of water bodies: sources, monitoring, water protection measures. Textbook [Text]: / Т.Б. Fashevskaya, V.O. Polyaniin, N.V. Kirpichnikov; under the scientific editorship of V.I. Danilova-Danilyan – М.: Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, 2020. – 171 p.

4. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
5. Nikolenko I.V., Kopachevsky A.M. The main directions of the development of a set of measures to solve the problems of water scarcity in the Crimea// Construction and technogenic safety. – 2021. – №21 (73). – Pp. 147-160.
6. The number of cars in Simferopol has increased 4 times and continues to increase. Electronic resource: access mode: <https://vesti-k.ru/kolichestvo-avtomobilej-v-simferopole-vyroslo-v-4-raza-i-prodolzhaet-uvlechivatsya/>
7. MU RF 2.1.5.1183-03. Sanitary and epidemiological supervision of the use of water in the technical water supply systems of industrial enterprises. – 20 p.
8. Sanitary and technical equipment of buildings: Studies for universities / V.S. Kedrov, E.N. Lovtsov. – M.: Stroyizdat., 1989. – 495 p
9. Baturin, V.E. Automobile and city infrastructure [Text]/ V.E. Baturin//Construction and technogenic safety. – 2007. – № 18 – Pp. 99-103.
10. Kichigin, V.I. Modeling of water purification processes: Textbook [Text] / V.I. Kichigin – M.: Publishing House of the DIA, 2003. – 230 p.
11. Kulsky, L.A. Chemistry and microbiology of water. Practicum [Text] / L.A. Kulsky, T.M. Levchenko, M.V. Petrova. – K.: Vishcha shkola, 1976. – 116 p.
12. Sewerage of settlements and industrial enterprises. The designer's Handbook [Text] / N.I. Likhachev, I.I. Larin, S.A. Haskin; under the general editorship of V.N. Samokhin – M.: Stroyizdat, 1981. – 639 p.

THE FOUNDATION OF RECIRCULATION PARAMETERS IN SYSTEMS CAR WASH WATER SUPPLY

Nikolenko ¹ I.V., Kotovskaya ² E.E., Kotovsky ³ A.E.

Institute «Academy of Construction and Architecture» of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,
Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181,
E-mail: ¹nikoshi@mail.ru ; ²elevkot@gmail.com ; ³kotovskiialex@yandex.ru

Abstract. The work carried out a quantitative assessment of water consumption for washing a vehicle at car washes operating on the principle of self-service, determined the qualitative indicators of runoff, defined the requirements for treated wastewater to participate in the recycling cycle, listed the requirements for wastewater for release into the urban sewer network. The existing technological schemes of wastewater treatment formed from washing cars are considered. Field observations and laboratory analyses were performed to determine the actual content of suspended substances. For local treatment facilities, a technological scheme has been developed for the treatment of wastewater generated from washing motor vehicles at car washes operating on the principle of self-service.

Subject of research: Technological scheme of wastewater treatment formed from washing motor vehicles at car washes operating on the principle of self-service.

Materials and methods: Field observations and laboratory analyses to determine the actual content of suspended solids in the wastewater of self-service car washes. The initial concentration of suspended solids in wastewater is determined by the weight method. Sedimentation analysis under static conditions was performed to obtain contamination parameters for the selection of physico-chemical methods of wastewater treatment formed from washing motor vehicles. A series of trial coagulation showed that physico-chemical methods ensure the treatment of wastewater generated from washing motor vehicles.

Results: It was found that the wastewater treatment system of a car wash in water circulation schemes should ensure the water quality acceptable for subsequent washing of vehicles. The main parameters of the studied wastewater of self-service car washes are determined: the initial concentration of suspended solids, the sedimentation curve under static conditions. The dependence of the efficiency of deposition of pollutants on the duration of settling was experimentally established, and trial coagulation was performed, which was the basis for the development of a technological scheme for wastewater treatment formed from washing motor vehicles at car washes operating on the principle of self-service.

Conclusions: A quantitative assessment of water consumption for washing a vehicle at self-service car washes was carried out, qualitative indicators of wastewater were determined, requirements for purified wastewater to participate in the recycling cycle were determined, field observations and laboratory analyses were carried out, the results of which allowed to develop a technological scheme for wastewater treatment formed from washing motor vehicles at car washes operating on the principle of self-service.

Key words. self-service car wash, suspended substances, concentration, sedimentation curve, settling tanks, local treatment facilities, technological scheme.

УДК 628.543

РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО СОРБЦИОННОГО АППАРАТА

Урецкий Е.А.¹, Николенко И.В.², Мороз В.В.³

¹Республиканское унитарное предприятие Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ»
210602, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Пушкина, 6,
e-mail: euretsky@yandex.by

²Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181
e-mail: energia-09@mail.ru

³Брестский государственный технический университет
224017 Республика Беларусь г. Брест, ул. Московская, 267

Аннотация. В статье показано, что основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Изучение систем очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения, позволили считать сорбционный метод доочистки сточных вод перспективным. Применение природных материалов в очистке промышленных сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения. Выполнена разработка, внедрение и исследование многоцелевого сорбционного аппарата доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров на основе торфа. Определены оптимальные параметры их работы. При испытании опытно-промышленной установки определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования и промывки сорбционной загрузки, продолжительность фильтроцикла, а также расход промывной воды от объёма фильтрата. Достигнута эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений, которая обеспечивает эффект очистки от взвешенных веществ - 92%; от общего содержания органических веществ по ХПК - 68%, от железа общего - 62%. Проведен анализ полученных результатов, а также даны рекомендации по возможности доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров.

Предмет исследования. Эффективность очистки промышленных сточных вод предприятиях машино- и приборостроения от основных загрязнений с применением намывных сорбционных фильтров с использования пылевидного торфа в качестве сорбента.

Материалы и методы исследования: В работе проведены экспериментальные исследования на многоцелевом сорбционном аппарате доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров на основе торфа. При проведении экспериментальных исследований определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования и промывки сорбционной загрузки, продолжительность фильтроцикла, а также расход промывной воды от объёма фильтрата.

Результаты. Для разработки многоцелевых сорбционных аппаратов, работающих в технологических процессах реального производства выполнены экспериментальные исследования технологических процессов доочистки производственных сточных вод сорбцией с применением пылевидного торфа. Достигнута эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений, которая обеспечивает эффект очистки от взвешенных веществ - 92%; от общего содержания органических веществ по ХПК - 68%, от железа общего - 62%.

Выводы. По результатам выполненных опытно экспериментальных исследований на многоцелевом сорбционном аппарате доочистки установлено, что системы очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения с применением сорбционного метода доочистки, с загрузкой сорбента, в виде пылевидного торфа являются перспективными, так как позволяет максимально реализовать сорбционный резерв материала, а также обеспечить гарантированную экологическую безопасность при минимальном его расходе.

Ключевые слова: опытно-промышленная установка, многоцелевой сорбционный фильтр, фильтр-сорбер, фильтрат, фильтрующая загрузка, скорость фильтрования, сточная вода, фильтроцикл, эффективность очистки.

ВВЕДЕНИЕ

В различных отраслях промышленности на обеспечение технологических процессов приходится более 20% всего мирового водопотребления. Вода обеспечивает жизненно важные для человечества функции - производство промышленной продукции и энергии. Производство практически любого вида продукции включает передачу воды в технологических процессах и включение в нее разнообразных компонентов. Индустриальное загрязнение создает значительное разнообразие загрязнений в природных водах - от самых опасных, до практически нейтральных [1]. Чем больше возобновляемых водных ресурсов

используется в индустрии страны, тем больше образуется промышленных сточных вод. Распространение химических загрязнений техногенного происхождения и их специфика в источниках водоснабжения хорошо коррелируют с расположением промышленных объектов различных отраслей. При этом в относительно небольшом количестве индустриально развитых стран основными потребителями водных ресурсов являются промышленные предприятия, на долю которых приходится 50...80% общего спроса. В большинстве развивающихся стран, в настоящее время, промышленное производство использует только 10...30% от общего водопотребления, из которого большая часть водных ресурсов

потребляется сельским хозяйством. При этом, из всей массы воды, потребляемой в сельском хозяйстве, 60 % идет на непродуктивное испарение и возвращается в реки и подземные воды в виде загрязненной воды. По мере индустриализации развивающихся стран их потребности в воде для производства электроэнергии, добычи, обогащения полезных ископаемых и обработки материалов будут увеличиваться.

Рост объемов и темпов мирового промышленного производства приводит к увеличению его антропогенного влияния, в том числе на водные ресурсы. Промышленные стоки, могут содержать химические соединения различного состава и широкого спектра действия, сильно повышают вероятность антропогенного загрязнения водных объектов, а также увеличивают риски и масштабность аварийных утечек в окружающую среду токсичных для окружающей среды и человека соединений. Очистные сооружения для обработки воды и стоков на многих индустриальных предприятиях по различным причинам не могут обеспечить высокий уровень очистки промышленных сточных вод. Поэтому многие водные объекты, куда сбрасываются промышленные сточные воды или попадают их «аварийные» сбросы, снижают способность к самоочищению поверхностных источников водоснабжения.

В отличие от воды, используемой в сельском хозяйстве, в промышленных технологических процессах фактически потребляется лишь небольшая часть воды. Большая ее часть используется для охлаждения, очистки, обработки и других видов технологических процессов, которые могут нагревать или загрязнять воду, но не сохранять ее в готовой продукции, то есть не потреблять ее. В большинстве индустриально развитых стран мира действуют жесткие экологические законы, правила и нормативы, чтобы промышленность и городское хозяйство обеспечивали определенные стандарты качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. Наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды является многократная переработка и повторное использование воды. Законы о борьбе с загрязнением не только помогли в индустриально развитых странах снизить антропогенную нагрузку на водные объекты, но и способствовали сохранению и более эффективному использованию водных ресурсов. Это создает потенциальную выгоду от рециркуляции воды в технологических процессах или во всем промышленном производстве, обеспечивая больше продукции с каждого используемого кубометра воды.

ПОСТАНОВКА И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В различных производствах и технологических процессах индустриально развитых стран давно применяется рециркуляция воды, то есть повторное и обратное водоснабжение в ответ на все более строгие законодательные нормы и правила борьбы с загрязнением водных объектов. Законодательные нормы в большинстве богатых стран мира требуют, чтобы промышленность отвечала определенным стандартам качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. В результате, в США в промышленном секторе со второй половины прошлого века за счет внедрения рециркуляции в среднем каждый кубический метр воды в настоящее время используется в среднем не менее 20 раз [1]. При этом шесть отраслей в вопросах промышленного водосбережения превзошли остальные — авиастроение, производство компьютерной техники и электронных компонентов, пищевая промышленность, переработка фруктов и овощей, производство автомобилей, химические производства и нефтепереработка [2]. Меры по рециркуляции охлаждающей и технологической воды стали основной инвестиций в промышленное водосбережение, сделанных этими отраслями. Они охватывают широкий диапазон технологических решений, инженерных конструкций и затрат, что представляет собой как некоторые из наименее затратных, простейших мер, так и самые сложные и дорогостоящие. Многие предприятия вкладывают средства в водосбережение даже больше того, что является финансово оправданным, в основном в качестве страхового полиса против будущего нормирования воды, которое может потенциально угрожать их производству.

Сопоставление показателей качества воды с ее целевым использованием в конкретном технологическом процессе открывает способ управления водой, который превращает промышленные стоки из проблемы утилизации в ценный источник водоснабжения, а также экономический стимул для внедрения оборотных циклов. При принятии решения о рециркуляции воды на предприятиях сравниваются затраты на получение свежей воды и ее очистку перед сбросом в канализацию или водные объекты с затратами на добавление оборудования для очистки и повторного использования сточных вод внутри предприятия. В большинстве отраслей промышленности вторичная переработка также частично компенсирует свои затраты за счет извлечения ценных материалов, таких как никель и хром из гальванических операций, волокно из производства текстиля и бумаги. По мере роста затрат на водоснабжение и очистку сточных вод переработка отходов становится все более рентабельной. А в водodefицитных регионах, промышленное производство все чаще прибегает к рециклингу, чтобы защититься от возможного сокращения

поставок воды. Реакция наиболее инновационных компаний на эти различные стимулы ясно показывает, что дальнейшее значительное сокращение потребностей промышленности в воде возможна [2]. Внедрение в промышленное производство рециклинга воды не только технически возможно, но и имеет все больший экономический и экологический смысл.

В водной стратегии Российской Федерации поставлена задача 2-кратного сокращения негативного воздействия на водные объекты, которая может быть решена посредством реализации инвестиционных проектов по модернизации комплексов очистных сооружений этих крупнейших предприятий. Значительное повышение рациональности водопользования может быть достигнуто за счет перехода крупных предприятий на использование систем оборотного водоснабжения, которые обеспечат сокращение негативного антропогенного воздействия и экологическую реабилитацию водных объектов [3, 4]. Возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, неадекватность используемых технологий водоочистки от загрязняющих компонентов обуславливают приоритетную значимость экологических аспектов в решении проблем обеспечения безопасности водопользования [5].

Основной задачей преодоления рисков от техногенных и антропогенных загрязнений является обеспечение требований законодательного нормирования при минимизация дополнительной химизации воды, которые могут быть преодолены только технологически с учётом современных технологических достижений. Не менее важным при внедрении современных технологических процессов оборотного водоснабжения обеспечение его высокой технико-экономической эффективности. Неспособность внедрения и стимулирования оборотного водоснабжения может приводить к быстрому росту потребностей промышленности в воде и потенциальному увеличению антропогенного воздействия.

Оценивая сложившуюся ситуацию в современных условиях промышленного водопользования необходима разработка и внедрение методов модернизации существующих очистных сооружений таким образом, чтобы усовершенствовать их работу и увязать качество воды после очистки с требованиями технологических процессов по показателям ее качества либо с нормативами безопасности жизнедеятельности, создав максимально возможный барьер для наибольшего, в каждом конкретном производстве, числа загрязнений. Совершенствование технологических процессов очистки воды и оборудования, позволяют многократно снизить потребление воды на технологические нужды, при одновременном повышении степени ее очистки, значительно уменьшить вынос загрязнений и вместе с тем ценных материалов.

Методы очистки воды основаны на принципах отделения загрязнений либо на их химических превращениях. Каждый из методов имеет области наибольшего эффективного применения, которые могут быть взаимно перекрывающимися. К одним из широко применяемых в практике очистки воды относится метод сорбционного извлечения примесей [6]. Одним из главных достоинств сорбционных методов извлечения из воды примесей является отсутствие их деструкции или физико-химической трансформации. Существенно повысить технико-экономическую эффективность очистки воды можно за счет использования местных сорбентов и фильтрующих природных материалов, в качестве которых активно применяются природные глины, глинистые минералы, диатомиты и торф. Природные сорбенты различных классов (цеолиты, глины, кремнеземы, перлиты, монтмориллониты и др.), полученные на их основе модифицированные и полусинтетические сорбенты, успешно используются для удаления из воды не только дисперсионных примесей, но и молекулярно и ионно растворенных веществ. Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Сложившаяся в настоящее время ситуация в этой области исследований вызвала необходимость совершенствования сорбционных технологий и селективных процессов очистки загрязненных растворов и технологических жидкостей для комплексного решения ресурсосберегающих и экологических проблем. В результате направленных исследований широкого спектра сорбционных материалов применительно к очистке сточных вод получили дальнейшее развитие процессы адсорбции на природных сорбентах и их аналогах [7].

Лабораторные исследования узла сорбционной доочистки промышленных сточных вод гальванического и покрасочного производства, ранее проведенные авторами, показали возможность использования пылевидного торфа в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки, в связи с содержанием в нём карбоксильных и аминокрупп, которые обуславливают как катионный, так и анионный обмен [8]. Результаты этих исследований оказалось недостаточно для разработки многоцелевых сорбционных аппаратов, работающих в технологических процессах реального производства [9, 10]. Поэтому в данной работе рассмотрены проблемы обоснования технологической схемы доочистки промышленных сточных вод в фильтрах-сорберах на основе принципа нанесения на инертную подложку мелкодисперсного сорбента, в качестве которого применяется пылевидный торф. С учетом вышеизложенного целью данной работы является получение практических рекомендаций к

проектированию технологических схем доочистки промышленных сточных вод в фильтрах-сорберах, а также определение основных технологических параметров её работы.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды вод гальванического и покрасочного производства прошедших предварительную обработку. Для решения задачи по ее доочистке с

учётом предварительно проведенных лабораторных исследований разработана конструкция многоцелевого сорбционного аппарата. В качестве фильтрующей загрузки такого аппарата предлагается использование дешёвых природных материалов. Загрузка фильтра предназначается не только для осветления сточных вод, т.е. удаления механических примесей, но и для извлечения из промышленных сточных вод органических веществ, в том числе и растворённых. Качество воды, прошедшей узел доочистки, должно соответствовать требованиям технологической службы предприятия, указанным в табл. 1.

Таблица.1. Характеристика качества воды, используемой для приготовления растворов технологических ванн защитных покрытий

Table.1. Characteristics of the quality of water used for the preparation of solutions of technological baths of protective coatings

№№ п/п	Показатели качества воды	Единица. измерения.	Требования ОСТ 420054.076
1	Взвешенные вещества	мг/дм ³	10
2	Твёрдые вещества	мг/дм ³	20
3	Цветность	градус	20
4	Жёсткость	мг-экв/дм ³	6,0
5	Железо	мг-экв/дм ³	0,3
6	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5,0

Для обеспечения этих показателей требуется установить технологический режим работы многоцелевого сорбционного фильтра и определить

эффективность очистки производственных сточных вод на аппарате исследуемой конструкции.

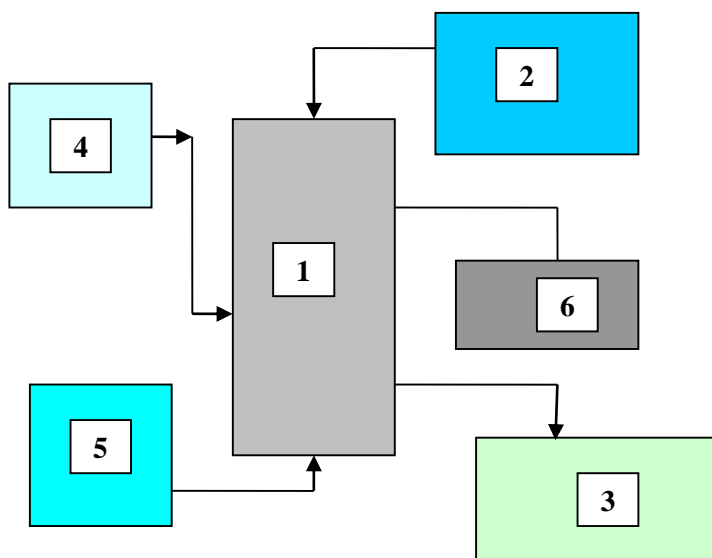


Рис. 1. Блок-схема опытно-промышленной установки: 1 – фильтр-сорбер; 2 – узел предварительного осветления сточных вод; 3 – ёмкость фильтрата; 4 – узел приготовления суспензии сорбента; 5 – ёмкость промывной воды; 6 – сборник промывной воды

Fig. 1. The block scheme of the pilot setting: 1 – filter sorber; 2 – sewage pre-clarification unit; 3 – filtrate tank; 4 – sorbent suspension preparation unit; 5 – washing water tank; 6 – washing water collector

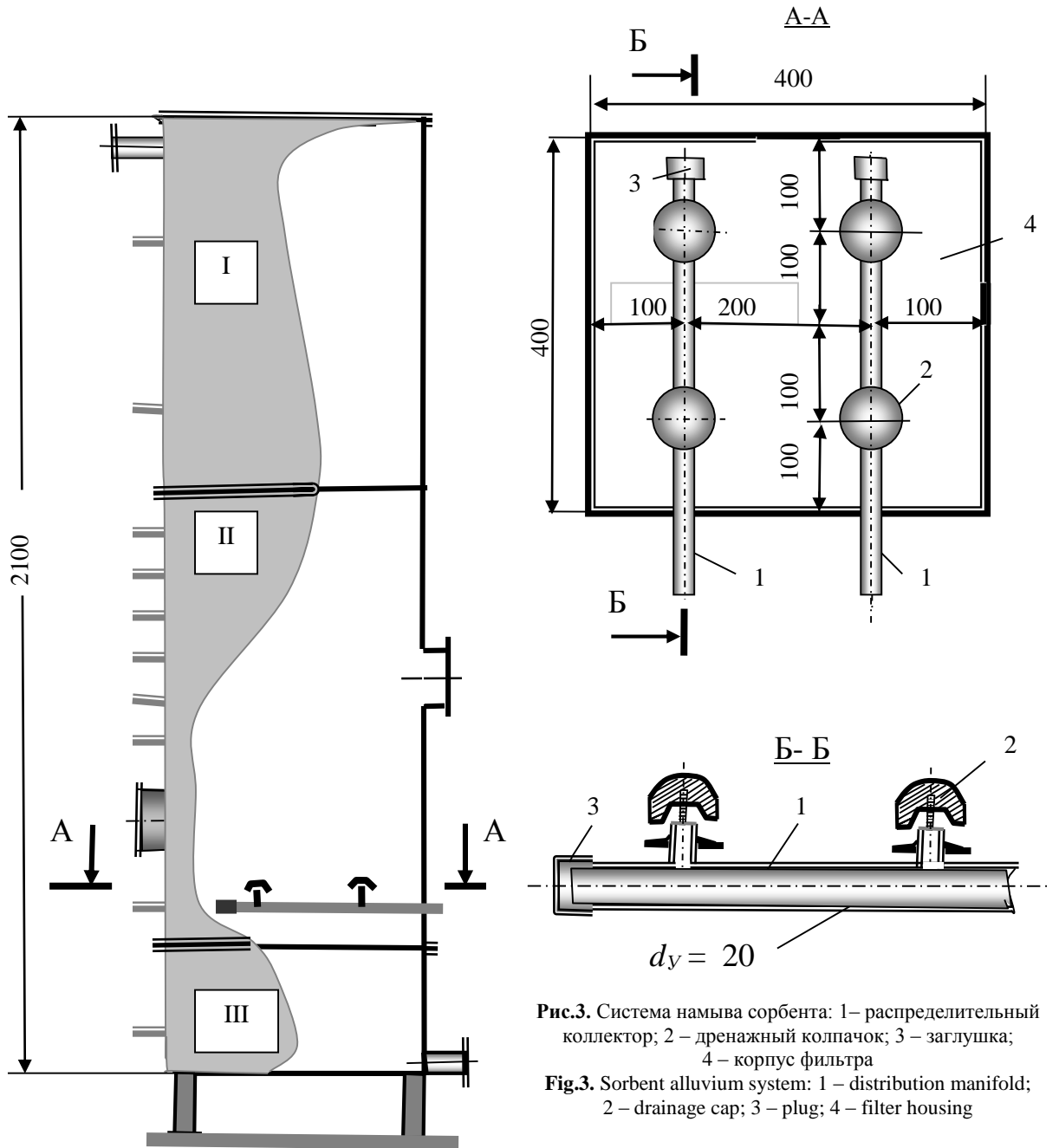


Рис. 2. Схема фильтра-сорбера в сборе
 I – верхний элемент; II – средний элемент;
 III – нижний элемент

Fig. 2. The scheme of the filter-sorber assembly
 I – upper element; II – middle element;
 III – lower element

Рис.3. Система намыва сорбента: 1 – распределительный коллектор; 2 – дренажный колпачок; 3 – заглушка; 4 – корпус фильтра

Fig.3. Sorbent alluvium system: 1 – distribution manifold; 2 – drainage cap; 3 – plug; 4 – filter housing

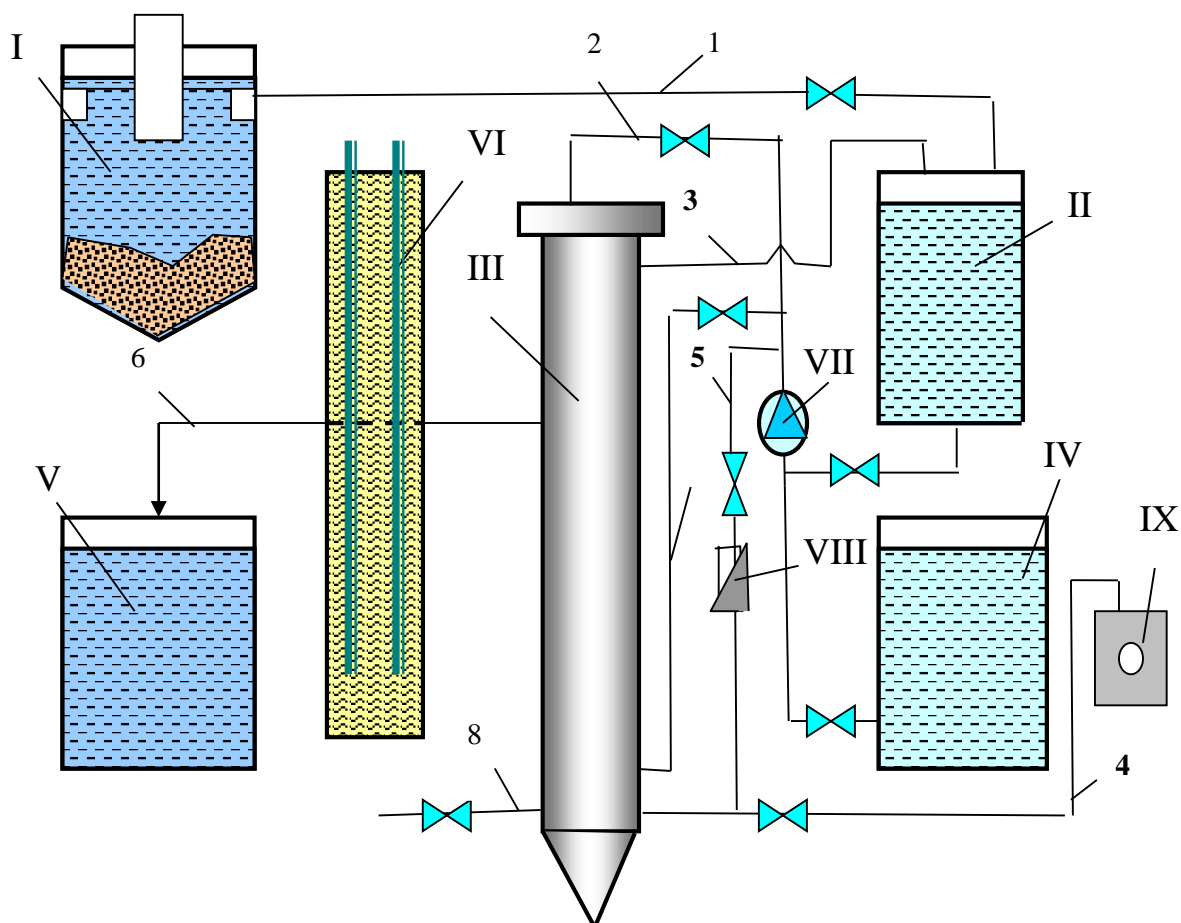


Рис. 4. Технологическая схема работы опытно-промышленной установки: I – отстойник; II – ёмкость осветлённой воды; III – фильтр-сорбер; IV – сборник фильтрата; V – сборник промывной воды; VI – пьезометрический щит; VII – насосная установка; VIII – водомер; IX – измерительное устройство; 1 – осветлённая жидкость; 2 – подача сточной жидкости; 3 – переливной трубопровод; 4 – фильтрата; 5 – подача промывной воды; 6 – отвод промывной воды; 7 – подача суспензии сорбента; 8 – опорожнение

Fig. 4. Technological scheme of operation of the pilot setting: I – settling tank; II – clarified water tank; III – filter sorber; IV – filtrate collector; V – washing water collector; VI – piezometric shield; VII – pumping unit; VIII – water meter; IX – measuring device; 1 – clarified liquid; 2 – sewage liquid supply; 3 – overflow pipeline; 4 – filtrate; 5 – supply of washing water; 6 – discharge of washing water; 7 – supply of sorbent suspension; 8 – emptying

Конструкция опытно-промышленной установки. Опытная промышленная установка рассчитана на доочистку сточной воды вод гальванического и покрасочного производства производительностью 1,0 до 1,5 м³/ч. Принципиальная блок-схема опытно-промышленной установки представлена на рис.1. Установка состоит из следующих основных узлов: фильтра-сорбера; узла предварительного осветления сточных вод; ёмкости фильтрата; ёмкости приготовления суспензии сорбента; ёмкости промывной воды; сборника промывной воды; насосного агрегата.

Основным элементом опытно-промышленной установки доочистки промышленных сточных вод является фильтр-сорбер. Схема фильтра-сорбера в сборе показана на рис. 2., а система намыва сорбента на рис.3. Корпус фильтра-сорбера изготовлен из нержавеющей стали толщиной 4 мм. Фильтр состоит из трёх отдельных секций, имеющих фланцевые соединения. Общая высота фильтра

составляет 2700 мм. Площадь фильтрующей поверхности 0,16 м². Все три секции оборудованы пробоотборниками и штуцерами для подключения пьезометров. Фильтр имеет патрубок для подачи исходной жидкости сборный коллектор промывной воды, патрубки для загрузки и выгрузки сорбента, устройства для ввода сорбента, коллектор для подачи промывной воды и отвода фильтрата. Коллектор отвода промывной воды и фильтрата выполнен из стальных труб с отверстиями диаметром 10 мм и шагом 25 мм.

Система подачи сорбента выполнена из трубопроводов диаметром 20 мм и снабжён четырьмя распределительными колпачками. Фильтр-сорбер оборудован устройством для измерения скорости фильтрации. Все основные элементы установки соединены стальными трубопроводами диаметром 40 мм и оборудованы запорно-регулирующей арматурой. Технологическая схема работы опытно-промышленной установки на рис. 4

Перед рассевом фильтрующий материал высушивался на воздухе. Рассев фильтрующего материала производился с использованием стандартного набора сит при загрузке корпуса фильтра производилась послойная укладка фильтрующего слоёв и их гидросортировка [11, 12]. Горизонтальность укладки слоёв контролировалась по уровню. В качестве фильтрующих материалов использованы: щебень, кварцевый песок, дроблённый керамзит, гранитный гравий. Конструкция фильтрующих слоёв представлена на рис. 5.

При работе установки в режиме фильтрования осуществлена тарировка системы пьезометров и устройства для измерения скорости фильтрации. Для определения диапазона интенсивности подачи промывной воды использовалась водопроводная вода, а контроль параметров промывки производился по показаниям водомера ВТ-50, установленного на трубопроводе подачи промывной воды, а также по показаниям пьезометров.

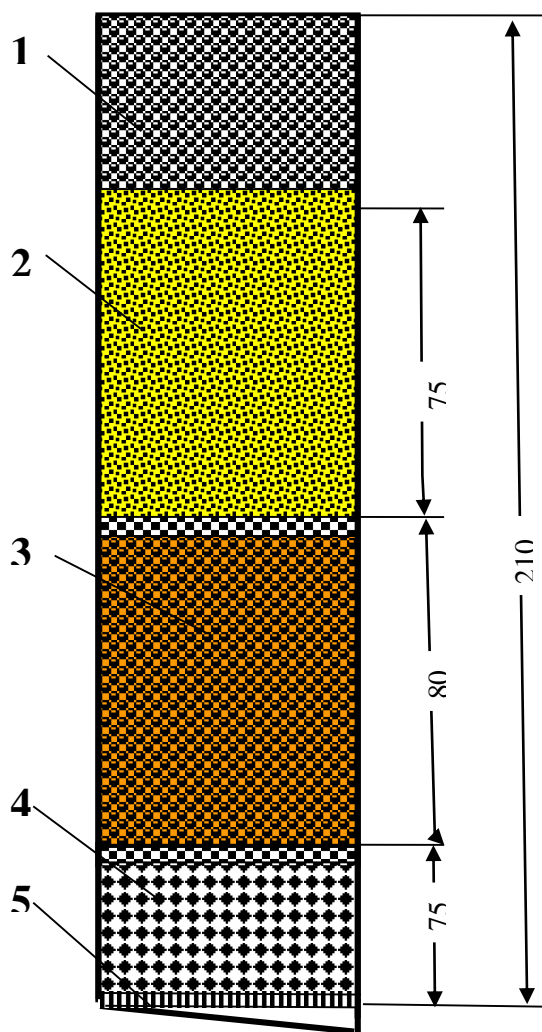


Рис. 5. Принципиальная схема загрузки фильтра-сорбера: 1 – щебень крупностью 25...50 мм; 2 – кварцевый песок крупностью 0,8...1,2 мм; 3 – керамзит крупностью 3...5 мм; 4 – гранит крупностью 5...7 мм; 5 – поддерживающая сетка

Fig. 5. Schematic diagram of the sorber filter loading: 1 – crushed stone with a size of 25...50 mm; 2 – quartz sand with a size of 0.8...1.2 mm; 3 – expanded clay with a size of 3...5 mm; 4 – granite with a size of 5...7 mm; 5 – supporting mesh

Испытание установки в качестве узла доочистки сточных вод БЭМЗ. После завершения пуско-наладочных работ опытно-промышленная установка испытывалась в качестве узла доочистки сточных вод гальванического и покрасочного

производства Белорусского электромеханического завода (БЭМЗ).

На экспериментальную установку подавалась сточная вода, прошедшая реагентную обработку и осветлённая в отстойнике. В первой серии опытов

ставилась задача уточнить оптимальную скорость фильтрации при очистке натуральных сточных вод предприятия. Был определён эффект удаления

взвешенных веществ при различной скорости фильтрации. Результаты этих экспериментальных исследований представлены на рис. 6 и 7.

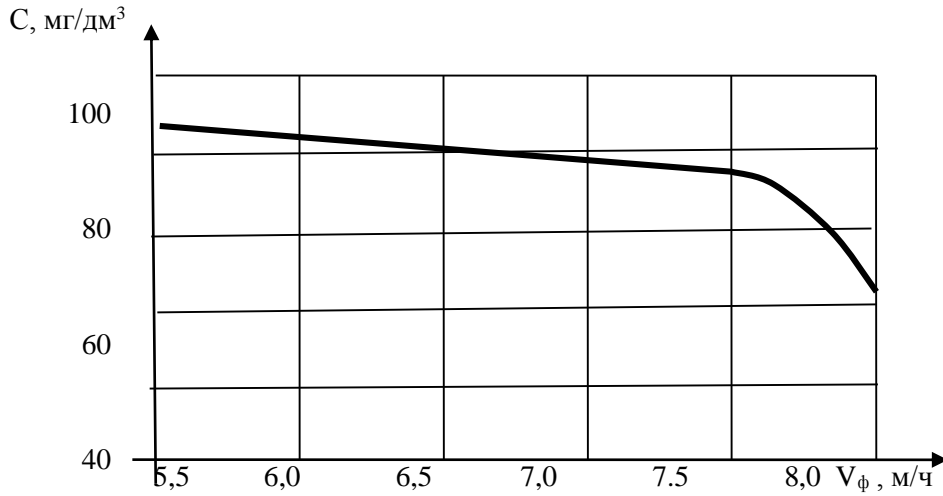


Рис. 6. Изменение концентрации взвешенных веществ в исходной воде при различных скоростях фильтрации
Fig. 6. Change in the concentration of suspended substances in the source water at different filtration rates

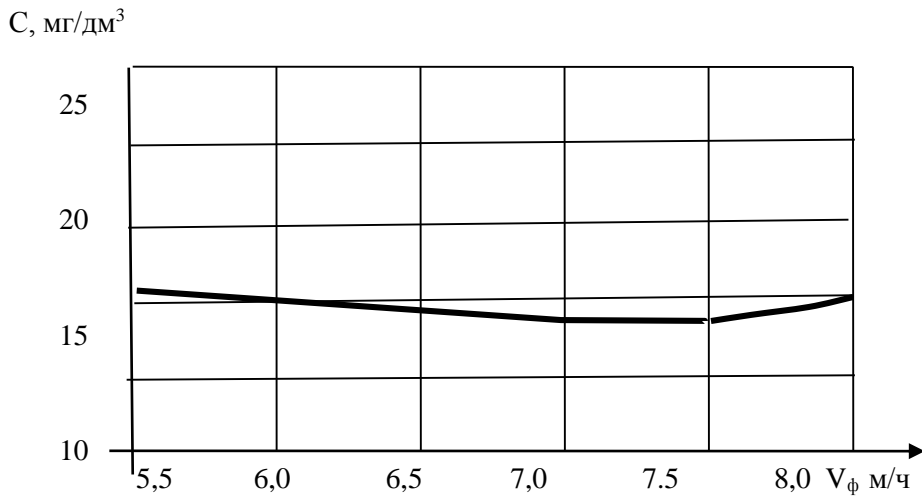


Рис. 7. Изменение концентрации взвешенных веществ в фильтрате при различных скоростях фильтрации
Fig. 7. Change in the concentration of suspended substances in the filtrate at different filtration rates

Полученные данные свидетельствуют о том, что выбор диапазона скоростей произведён правильно, так при всех сериях опытов содержание взвешенных веществ в фильтрате не превышало ПДК согласно действующих нормативных требований. Следует отметить, что приведенные данные не учитывают продолжительность

фильтроцикла, так как продолжительность фильтрации в этих сериях составляла 3 часа. Тем не менее не рекомендуется устанавливать скорость фильтрации выше 7,5 м/ч, так как в этом случае резко падает эффект осветления жидкости с 91% до 76 % (участок IV -V) на рис. 8.

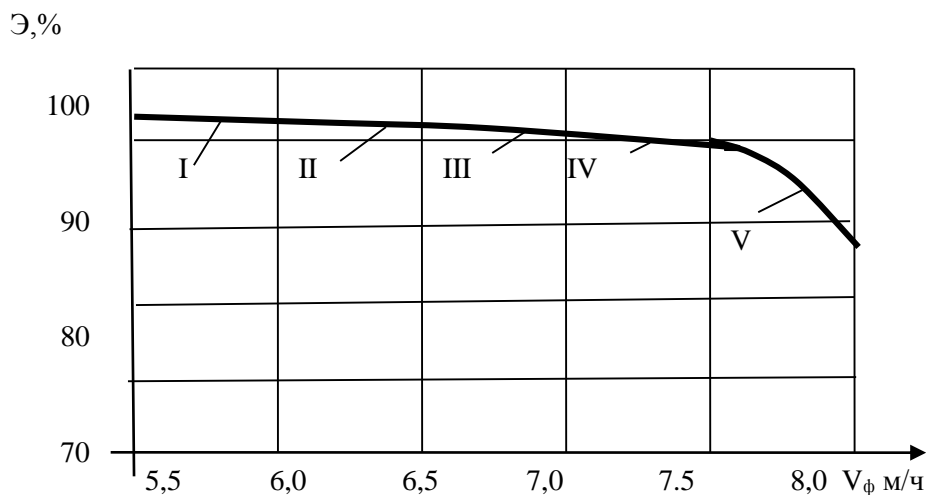


Рис. 8. Эффект удаления взвешенных веществ опытно-промышленной установкой при различных скоростях фильтрации

Fig. 8. The effect of purification by a pilot setting at different filtration rates

После каждой серии опытов производилась промывка фильтра технической водой. Время составляло 8...12 минут, а расход промывной воды при интенсивности её подачи $16 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$, составлял $1500...1600 \text{ дм}^3$. После промывки потери напора соответствовали начальным, что свидетельствует об эффективности выбранного режима промывки фильтрующих слоёв.

Определяющими загрязнителями промышленных сточных вод исследуемого типа являются взвешенные вещества, железо и растворённые

органические соединения. Поскольку задачей на данном этапе ставилась исследование возможности использования многослойного фильтра в качестве узла доочистки, была проведена отдельная серия опытов для определения эффективности удаления основных загрязнений опытной установкой.

В этой серии были приняты оптимальные параметры технологического режима фильтра, установленные в результате предшествующих экспериментов. Результаты работы установки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты работы опытно-промышленной установки по доочистке промышленных сточных вод

Table 2. The results of a pilot setting for the post-treatment of industrial wastewater

№№ п/п	Наименование загрязнений	Ед. измерения	Концентрация загрязнений в исходной сточной жидкости	Концентрация загрязнений в фильтрате фильтра-сорбера	Эффект очистки %
1.	Взвешенные вещества	мг/дм ³	38 - 43	3 - 3,2	92%
2.	Органические вещества	мгО ₂ /дм ³	48 - 51	14,2 - 16	68%
3.	Железо общее	мг/дм ³	2,36 - 2,8	0,73 - 0,92	62%

При проведении опытов сохранились следующие условия: - скорость фильтрации - 6 м/ч; - интенсивность промывки - $16 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$; - начальная потеря напора - 22 м; - время промывки - 10 мин. Сточная жидкость подавалась на фильтр после предварительного 1,5 часового оттаивания. После проведения исследований на реальных сточных водах на разработанном и внедрённом на БЭМЗ многослойном намывном фильтре-сорбере были сделаны следующие выводы.

ВЫВОДЫ

Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Системы очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения с применением сорбционного метода доочистки являются перспективным. В условиях Беларуси возможно использование в качестве сорбционного материала природного, пылевидного торфа.

Используя принцип нанесения мелкодисперсного сорбента на инертную подложку,

сконструирован новый тип фильтра-сорбера, где в качестве сорбента выбран пылевидный торф, а сорбционный слой защищён каркасно-засыпным фильтром. Изучение сорбционных свойств торфа показало, что этот природный материал обладает достаточной ёмкостью по отношению к загрязнениям промышленных сточных вод БЭМЗ.

Проведенные исследования, направленные на разработку основного элемента узла доочистки промышленных сточных вод БЭМЗ позволили разработать и внедрить технологическую схему доочистки в опытно-промышленной установке.

При испытании опытно-промышленной установки определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования 4-5 м/ч; промывка загрузки с интенсивностью подачи 16-17 дм³/см²; намыв сорбента производится в осушенную загрузку с концентрацией суспензии торфа 60 и 80 см³ в 1000 см³ воды; крупность торфа не более 0.5 мм; продолжительность фильтроцикла не менее 18 часов; расход промывной воды 3...5 % от объёма фильтрата.

Установлена эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений. Снижение содержания взвешенных веществ до 92%; общего содержания органических веществ по ХПК до 68%, железа общего до 62 %.

Удаление отработанного сорбента осуществляется на узле механического обезвреживания осадка. По разработанной технологии осадок из отстойника после обезвоживания может быть использован в производстве керамической продукции (рядовой кирпич, керамзит, стеновая плитка). При этом происходит полное выгорание органических загрязнений в т.ч. и торфа. При этом безопасность в экологическом отношении полученной продукции гарантирована.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с.
2. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа <http://government.ru/docs/10049/>(дата обращения 07.03.2021 г.)
4. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О Федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: режим доступа: <http://government.ru/docs/37156/>(дата обращения 07.03.2021 г.)

5. Говорова Ж.М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 2004.

6. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

7. Климов Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е. С. Климов, М. В. Бузаева. – Ульяновск: УЛГТУ, 2011. – 201 с.

8. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. Исследование работы узла сорбционной доочистки сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров// Строительство и техногенная безопасность. 2021. – вып. 23 (74). – С. 147 – 160.

9. Брестский инженерно-строительный институт: Отчет по НИР. Разработка элементов безотходной технологии и их исследование на сооружениях БЭМЗ. № гос. регистрации 80028756. Брест. 1983 г.

10. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. - Брест, изд-во БГТУ, 2007. - 396 с.

11. Гогина Е.С. Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и вод отведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов РФ, 2012. – 312 с.

12. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография- изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 – 360 с.

REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I., Khranovich I.L. Water resources management. Coordination of water use strategies. - M.: Scientific world, 2010. – 232 p.
2. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020. Order of the Government of the Russian Federation of August 27, 2009 N 1235-R. Electronic resource: access mode <http://government.ru/docs/10049/> //(accessed 07.03.2021).
4. Decree of the Government of the Russian Federation of 19.04.2012 N 350 (ed. of 31.05.2017) "On the Federal target program "Development of the water management complex of the Russian Federation in 2012-2020". Electronic resource: access mode: <http://government.ru/docs/37156/> //(accessed 07.03.2021).
5. Govorova Zh.M. Justification and development of technologies for the purification of natural waters containing anthropogenic impurities: Abstract. dis. ... doct. technical Sciences. – М., 2004.
6. Smirnov A.D. Sorption water purification. – L.: Chemistry, 1982. – 168 p.

7. Klimov E. S. Natural sorbents and complexes in wastewater treatment / E. S. Klimov, M. V. Buzaeva. - Ulyanovsk: UISTU, 2011. – 201 p.

8. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. Investigation of the operation of the sorption wastewater treatment unit using alluvial sorption filters// Construction and technogenic safety. – 2021. – vol. 23 (74). – Pp. 147-160.

9. Brest Institute of Civil Engineering: Research Report. Development of waste-free technology elements and their research at the BEM facilities. State registration no. 80028756. Brest, 1983

10. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises.

Monograph. - Brest, publishing house of BSTU, 2007. – 396 p.

11. Gogina E.S. Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and drainage: A reference manual. - M.: Publishing House of the Association of Construction Universities of the Russian Federation, 2012. – 312 p.

12. Uretsky, E.A. Resource-saving technologies in the water sector of industrial enterprises. Monograph - publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 – 360 p.

DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF MULTI-PURPOSE SORPTION APPARATUS

Uretsky E.A.¹, Nikolenko I.V.², Moroz V.V.³

¹Republican Unitary Enterprise Belarusian State Design Institute "BelGPI"
210602, Republic of Belarus, Vitebsk, Pushkin str., 6,
e-mail: euretsky@yandex.by

²Institute «Academy of Construction and Architecture» of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str. 181
e-mail: energia-09@mail.ru

³Brest State Technical University
224017 Republic of Belarus Brest, Moskovskaya str., 267

Abstract. The article shows that the main problem of modern technological systems for the application of sorption post-treatment methods is the development of environmentally friendly technologies with the maximum closed cycle and the minimum amount of waste. The study of wastewater treatment systems at machine- and instrument-making enterprises made it possible to consider the sorption method of wastewater after treatment promising. The use of natural materials in the treatment of industrial wastewater is acceptable from an environmental and economic point of view. The development, implementation and research of a multi-purpose sorption apparatus for post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters based on peat has been carried out. The optimal parameters of their operation have been determined. When testing a pilot plant, the main technological parameters of its operation were determined: the rate of filtration and washing of sorption loading, the duration of the filter cycle, as well as the flow rate of washing water from the volume of the filtrate. The efficiency of industrial wastewater treatment from the main pollutants has been achieved, which provides the effect of purification from suspended solids - 92%; from the total content of organic substances by COD - 68%, from total iron - 62%. The analysis of the obtained results is carried out, and recommendations are given on the possibility of post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters.

Subject of research: Efficiency of industrial wastewater treatment at machinery and instrument-making enterprises from the main contaminants using alluvial sorption filters with the use of pulverized peat as a sorbent.

Materials and methods of research: Experimental studies have been carried out on a multipurpose sorption apparatus for post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters based on peat. During the experimental studies, the main technological parameters of its operation were determined: the rate of filtration and washing of sorption loading, the duration of the filter cycle, as well as the flow rate of washing water from the volume of the filtrate.

Results: To develop multi-purpose sorption devices operating in the technological processes of real production, experimental studies of technological processes of post-treatment of industrial wastewater by sorption using pulverized peat have been carried out. The efficiency of industrial wastewater treatment from the main pollutants has been achieved, which provides the effect of purification from suspended solids - 92%; from the total content of organic substances by COD - 68%, from total iron - 62%.

Conclusions. According to the results of experimental studies performed on a multi-purpose sorption after treatment apparatus, it was found that wastewater treatment systems at machine and instrument manufacturing enterprises using the sorption method of after treatment, with sorbent loading, in the form of pulverized peat are promising, as it allows to maximize the sorption reserve of the material, as well as to ensure guaranteed environmental safety with minimal consumption.

Key words: pilot plant, multipurpose sorption filter, filter-sorber, filtrate, filter loading, filtration rate, waste water, filter cycle, purification efficiency.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТЕЛ В ТОЧЕЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ

Конопацкий¹ Е.В., Бездитный² А.А.

¹ Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, e.v.konopatskiy@mail.ru

² Севастопольский филиал ФГБОУВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Вакуленчука, 29, bezdytniy@gmail.com

Аннотация. В статье предложен и реализован подход к геометрическому моделированию каналовых поверхностей в точечном исчислении путём определения подвижной плоскости сечения, перпендикулярной к направляющей линии каналовой поверхности. Для этого с помощью построения нормали и бинормали к касательной сформирован подвижный симплекс трёхмерного пространства, сопровождающий направляющую кривую, который является аналогом трёхгранника Френе в точечном исчислении. Определение нормали и бинормали выполнено инструментами точечного исчисления с использованием метрического оператора трёх точек и точки выхода из плоскости, которые являются аналогами соответственно скалярного и векторного произведений векторов. Приведены примеры моделирования каналовых поверхностей с алгебраической плоской и трансцендентной пространственной кривой. В качестве образующих приведены примеры использования эллипса, замкнутой кривой типа «синусоида» и замкнутого обвода 1-го порядка гладкости. В части разработки математического аппарата для построения высокопроизводительных систем геометрического твердотельного моделирования выполнено определение каналовых тел, имеющих как постоянную, так и переменную функционально управляемую толщину. В данном случае реализован геометрический алгоритм моделирования каналовых поверхностей и тел, который аналитически описывается последовательностью точечных уравнений. Для его компьютерной реализации в виде вычислительного алгоритма параллельно с точечными уравнениями приведены параметрические уравнения, полученные посредством координатного расчёта.

Предмет исследования: геометрические алгоритмы моделирования каналовых поверхностей и тел.

Материалы и методы: методы исследований включают геометрические алгоритмы моделирования каналовых поверхностей и тел, параметризация которых выполнена с помощью математического аппарата «Точечное исчисление».

Результаты: разработан геометрический алгоритм параметризации каналовых поверхностей и тел в точечном исчислении; приведены примеры моделирования каналовых поверхностей с плоскими и пространственными направляющими, а также различными образующими; получен аналог трёхгранника Френе в точечном исчислении.

Выводы: компьютерная реализация такого подхода к геометрическому моделированию каналовых поверхностей и тел в точечном исчислении может расширить возможности существующих систем автоматизированного проектирования и твердотельного моделирования, которые могут быть дополнены численным моделированием с помощью геометрических интерполянтов, формируя замкнутую систему моделирования и расчёта, применимую для решения широкого круга инженерных и научных задач.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, точечное исчисление, метрический оператор, замкнутые кривые, каналовые поверхности, каналовые тела.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование каналовых поверхностей и тел является одним из важных направлений использования систем автоматизированного проектирования при решении прикладных и инженерных задач [1-3] в различных областях науки и техники, что породило различные подходы к её решению [4-8]. В работе [9] каналовые поверхности определяется как огибающие однопараметрического семейства сфер. В современной начертательной геометрии каналовой называют поверхность, образованную непрерывным каркасом замкнутых плоских сечений, перпендикулярных к направляющей линии или параллельных какой-либо плоскости. Учитывая, что каналовые поверхности чаще используются для создания переходных участков между двумя поверхностями типа трубопроводов, второе определение кажется более подходящим. Оно же приводит к двум наиболее распространённым подходам определения

каналовых поверхностей с помощью построения ортогональных сечений к направляющей линии или использованию плоскости параллелизма. Первый из них приводит к необходимости построения бинормали и трёхгранника Френе [10]. Пример реализации второго подхода на основе эквивалентных преобразований плоскости представлен в [6].

В точечном исчислении (другое название – БН-исчисление) [11-13] подобные исследования тоже проводились [14, 15], но тогда развитие математического аппарата не позволило решить эту задачу в общем виде. Вместе с тем такая необходимость возникла в связи с разработкой на основе точечного исчисления математического аппарата для построения высокопроизводительных систем геометрического твердотельного моделирования [16, 17]. Поэтому в данной работе приводится общий подход к моделированию каналовых поверхностей и тел в точечном исчислении путём определения подвижной плоскости сечения, перпендикулярной к направляющей линии каналовой поверхности.

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ
МОДЕЛИРОВАНИЯ КАНАЛОВЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЕГО
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ В ТОЧЕЧНОМ
ИСЧИСЛЕНИИ**

Для параметризации каналовой поверхности в точечном исчислении предлагается геометрический алгоритм (рис. 1), включающий определение касательной NP к направляющей кривой ANB с

помощью параллельного переноса [11, 18], определение нормали NN_1 с помощью метрического оператора трёх точек, который является аналогом скалярного произведения векторов в точечном исчислении, и точки R фиксирующей длину отрезка $|NR|$, определение бинормали NN_2 с помощью определения точки выхода из плоскости, что является аналогом векторного произведения в точечном исчислении, и точки Q фиксирующей длину отрезка $|NQ|$.

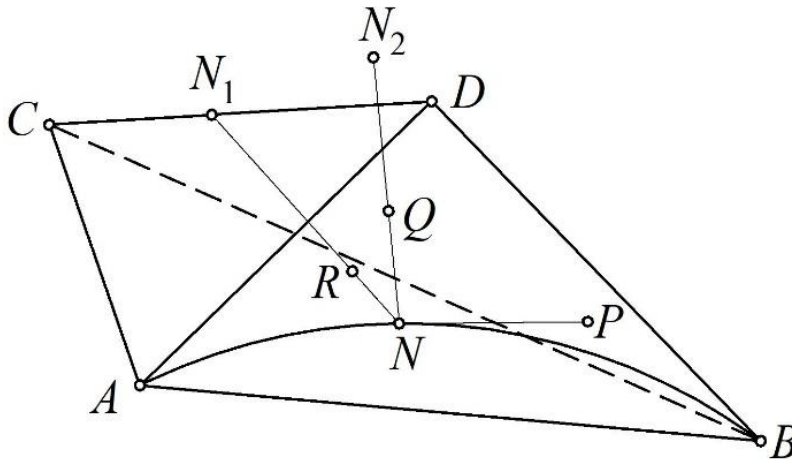


Рис. 1. Геометрическая схема моделирования каналовой поверхности
Fig. 1. Geometric scheme of channel surface modeling

В общем виде кривая в симплексе $ABCD$ определяется следующим точечным уравнением:

$$N = (A - D)p + (B - D)q + (C - D)r + D,$$

где $p = p(u)$, $q = q(u)$, $r = r(u)$ – любые непрерывные и дифференцируемые функции на интервале изменения параметра u от 0 до 1. В соответствии с [18] при $p + q + r = 1$ получим плоскую кривую, а при $p + q + r \neq 1$ – пространственную.

После выполнения покоординатного расчёта получим систему однотипных параметрических уравнений для определения направляющей кривой каналовой поверхности:

$$\begin{cases} x_N = (x_A - x_D)p + (x_B - x_D)q + (x_C - x_D)r + x_D \\ y_N = (y_A - y_D)p + (y_B - y_D)q + (y_C - y_D)r + y_D \\ z_N = (z_A - z_D)p + (z_B - z_D)q + (z_C - z_D)r + z_D \end{cases}$$

Определяем касательную к кривой [18] с помощью точки P :

$$P = N + \dot{N} = (A - D)(p + \dot{p}) + (B - D)(q + \dot{q}) + (C - D)(r + \dot{r}) + D.$$

$$\downarrow$$

$$\begin{cases} x_P = (x_A - x_D)(p + \dot{p}) + (x_B - x_D)(q + \dot{q}) + (x_C - x_D)(r + \dot{r}) + x_D \\ y_P = (y_A - y_D)(p + \dot{p}) + (y_B - y_D)(q + \dot{q}) + (y_C - y_D)(r + \dot{r}) + y_D \\ z_P = (z_A - z_D)(p + \dot{p}) + (z_B - z_D)(q + \dot{q}) + (z_C - z_D)(r + \dot{r}) + z_D \end{cases}$$

где \dot{p} , \dot{q} , \dot{r} – производные функций $p = p(u)$, $q = q(u)$, $r = r(u)$ по параметру u .

Зададим на прямой CD текущую точку N_1 с помощью параметра t :

$$N_1 = (D - C)t + C.$$

Определим значение параметра t , при котором $\angle N_1NP$ (рис. 1) будет прямым из условия $\Sigma_{N_1P}^N = 0$.

$$\begin{aligned} \Sigma_{N_1P}^N &= \Sigma(N_1 - N)(P - N) = \\ &= \Sigma(-(A - D)p - (B - D)q - (C - D)(r + t - 1))((A - D)\dot{p} + (B - D)\dot{q} + (C - D)\dot{r}) = 0. \\ &\Downarrow \\ t &= \frac{\Sigma_{AC}^D(1-r)\dot{p} + \Sigma_{BC}^D(1-r)\dot{q} + \Sigma_{CC}^D(1-r)\dot{r} - \Sigma_{AA}^D p\dot{p} - \Sigma_{AB}^D p\dot{q} - \Sigma_{AC}^D p\dot{r} - \Sigma_{AB}^D q\dot{p} - \Sigma_{BB}^D q\dot{q} - \Sigma_{BC}^D q\dot{r}}{\Sigma_{AC}^D \dot{p} + \Sigma_{BC}^D \dot{q} + \Sigma_{CC}^D \dot{r}}, \end{aligned}$$

где $\Sigma_{AC}^D = (x_A - x_D)(x_C - x_D) + (y_A - y_D)(y_C - y_D) + (z_A - z_D)(z_C - z_D)$;

$$\Sigma_{BC}^D = (x_B - x_D)(x_C - x_D) + (y_B - y_D)(y_C - y_D) + (z_B - z_D)(z_C - z_D);$$

$$\Sigma_{AB}^D = (x_A - x_D)(x_B - x_D) + (y_A - y_D)(y_B - y_D) + (z_A - z_D)(z_B - z_D);$$

$$\Sigma_{AA}^D = (x_A - x_D)^2 + (y_A - y_D)^2 + (z_A - z_D)^2; \quad \Sigma_{BB}^D = (x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 + (z_B - z_D)^2;$$

$$\Sigma_{CC}^D = (x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 + (z_C - z_D)^2.$$

Тогда уравнение точки N_1 принимает следующий вид:

$$N_1 = (D - C) \frac{\Sigma_{AC}^D(1-r)\dot{p} + \Sigma_{BC}^D(1-r)\dot{q} + \Sigma_{CC}^D(1-r)\dot{r} - \Sigma_{AA}^D p\dot{p} - \Sigma_{AB}^D p\dot{q} - \Sigma_{AC}^D p\dot{r} - \Sigma_{AB}^D q\dot{p} - \Sigma_{BB}^D q\dot{q} - \Sigma_{BC}^D q\dot{r}}{\Sigma_{AC}^D \dot{p} + \Sigma_{BC}^D \dot{q} + \Sigma_{CC}^D \dot{r}} + C.$$

В соответствии с геометрической схемой (рис. 1) точка N_1 является подвижной, обеспечивающей перпендикуляр к касательной NP при движении текущей точки N . Вместе с тем длина отрезка NN_1 тоже является переменной и зависимой от координат симплекса и свободных функций $p = p(u)$, $q = q(u)$, $r = r(u)$. Для определения образующей каналовой поверхности удобно задать конкретный размер отрезка $|NR|$ с помощью точки R :

$$\frac{|NR|}{|NN_1|} = \frac{N - R}{N - N_1} \Rightarrow R = (N_1 - N) \frac{|NR|}{|NN_1|} + N \Rightarrow \begin{cases} x_R = (x_{N_1} - x_N) \frac{|NR|}{|NN_1|} + x_N \\ y_R = (y_{N_1} - y_N) \frac{|NR|}{|NN_1|} + y_N, \\ z_R = (z_{N_1} - z_N) \frac{|NR|}{|NN_1|} + z_N \end{cases}$$

где $|NN_1| = \sqrt{(x_N - x_{N_1})^2 + (y_N - y_{N_1})^2 + (z_N - z_{N_1})^2}$.

N_2 определим как точку выхода из плоскости N_1NP (рис. 1), формируя тем самым бинормаль NN_2 . Для этого сначала необходимо определить координаты точки S :

$$x_S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} y_N & z_N & 1 \\ y_{N_1} & z_{N_1} & 1 \\ y_P & z_P & 1 \end{vmatrix}, \quad y_S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} z_N & x_N & 1 \\ z_{N_1} & x_{N_1} & 1 \\ z_P & x_P & 1 \end{vmatrix}, \quad z_S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_N & y_N & 1 \\ x_{N_1} & y_{N_1} & 1 \\ x_P & y_P & 1 \end{vmatrix}.$$

Далее определяем точку Q и её координаты:

$$Q = (A - D)p + (B - D)q + (C - D)r + \frac{Sd}{\sqrt{x_S^2 + y_S^2 + z_S^2}} + D.$$

⇓

$$\begin{cases} x_Q = (x_A - x_D)p + (x_B - x_D)q + (x_C - x_D)r + \frac{x_S d}{\sqrt{x_S^2 + y_S^2 + z_S^2}} + x_D \\ y_Q = (y_A - y_D)p + (y_B - y_D)q + (y_C - y_D)r + \frac{y_S d}{\sqrt{x_S^2 + y_S^2 + z_S^2}} + y_D, \\ z_Q = (z_A - z_D)p + (z_B - z_D)q + (z_C - z_D)r + \frac{z_S d}{\sqrt{x_S^2 + y_S^2 + z_S^2}} + z_D \end{cases}$$

где $d = |NQ|$ (рис. 1).

Таким образом, через координаты определены все точки подвижного прямоугольного симплекса RNQ и можно приступить к определению образующей линии каналовой поверхности.

ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ОБРАЗУЮЩИХ ЛИНИЙ КАНАЛОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В качестве образующей каналовой поверхности могут быть использованы любые плоские замкнутые линии, которые можно моделировать различными методами [19-21] и для решения различных задач. Наиболее простыми замкнутыми кривыми являются окружность и эллипс, которые легко координировать в плоскости RNQ , используя центр N . Точечное уравнение эллиптической кривой [11] в симплексе RNQ имеет следующий вид:

$$M = (Q - N) \cos(v) + (R - N) \sin(v) + N.$$

⇓

$$\begin{cases} x_M = (x_Q - x_N) \cos(v) + (x_R - x_N) \sin(v) + x_N \\ y_M = (y_Q - y_N) \cos(v) + (y_R - y_N) \sin(v) + y_N, \\ z_M = (z_Q - z_N) \cos(v) + (z_R - z_N) \sin(v) + z_N \end{cases}$$

где $0 \leq v \leq 2\pi$ – текущий параметр.

Чтобы выделить из множества эллиптических кривых окружность достаточно установить равенство сопряжённых осей эллипса $|NQ| = |NR|$.

Аналогичным образом можно использовать точечное уравнение специальных кривых типа «синусоида», определённых с помощью обобщённых тригонометрических функций [22]:

$$M = (Q - N) \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma(\gamma - v) + \frac{(R - N)d}{|NR|} \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma v + N.$$

⇓

$$\begin{cases} x_M = (x_Q - x_N) \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma(\gamma - v) + \frac{(x_R - x_N)d}{|NR|} \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma v + x_N \\ y_M = (y_Q - y_N) \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma(\gamma - v) + \frac{(y_R - y_N)d}{|NR|} \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma v + y_N, \\ z_M = (z_Q - z_N) \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma(\gamma - v) + \frac{(z_R - z_N)d}{|NR|} \prod_{i=1}^t \frac{\sqrt{1 + k_i^2 + 2k_i \cos(k_i v)}}{k_i} \sin_\gamma v + z_N \end{cases}$$

где k_i – количество волн дуги специальной кривой типа «синусоида» i -го поколения;

t – количество поколений специальной кривой типа «синусоида»;

$$\sin_\gamma(\gamma - \nu) = \frac{\sin(\gamma - \nu)}{\sin \gamma} \text{ и } \sin_\gamma \nu = \frac{\sin \nu}{\sin \gamma} - \text{обобщённые синусы.}$$

Кроме непрерывных кривых в качестве образующих можно использовать составные кривые, например одномерный замкнутый обвод 1-го порядка гладкости [23, 24], для построения которого необходимо координировать точки в симплексе RNQ . Также могут использоваться сочетания прямолинейных и криволинейных участков различной конфигурации. Для определения узловых точек могут эффективно использоваться точечные инструменты симметрии и параллельного переноса [11]. В качестве дуг обвода могут быть использованы, например, кривые 2-го порядка [25]:

$$M = (Q - N) \frac{k\bar{\nu}^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + (R - N) \frac{k\nu^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + N.$$

⇓

$$\begin{cases} x_M = (x_Q - x_N) \frac{k\bar{\nu}^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + (x_R - x_N) \frac{k\nu^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + x_N \\ y_M = (y_Q - y_N) \frac{k\bar{\nu}^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + (y_R - y_N) \frac{k\nu^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + y_N, \\ z_M = (z_Q - z_N) \frac{k\bar{\nu}^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + (z_R - z_N) \frac{k\nu^2}{k(1 - 2\nu)^2 + 2\nu\bar{\nu}} + z_N \end{cases} \quad (1)$$

где k – инженерный дискриминант.

Рассмотрим несколько примеров моделирования каналовых поверхностей с плоской и пространственной направляющей (рис. 2). В качестве плоской направляющей используется эллиптическая кривая, полученная с помощью уравнения, аналогичного (1), а в качестве пространственной – трансцендентная кривая с точечным уравнением:

$$N = (A - D)u^3 + (B - D)(1 - u)^3 + (C - D)\sin(u^3 + u^2) + D.$$

⇓

$$\begin{cases} x_N = (x_A - x_D)u^3 + (x_B - x_D)(1 - u)^3 + (x_C - x_D)\sin(u^3 + u^2) + x_D \\ y_N = (y_A - y_D)u^3 + (y_B - y_D)(1 - u)^3 + (y_C - y_D)\sin(u^3 + u^2) + y_D. \\ z_N = (z_A - z_D)u^3 + (z_B - z_D)(1 - u)^3 + (z_C - z_D)\sin(u^3 + u^2) + z_D \end{cases}$$

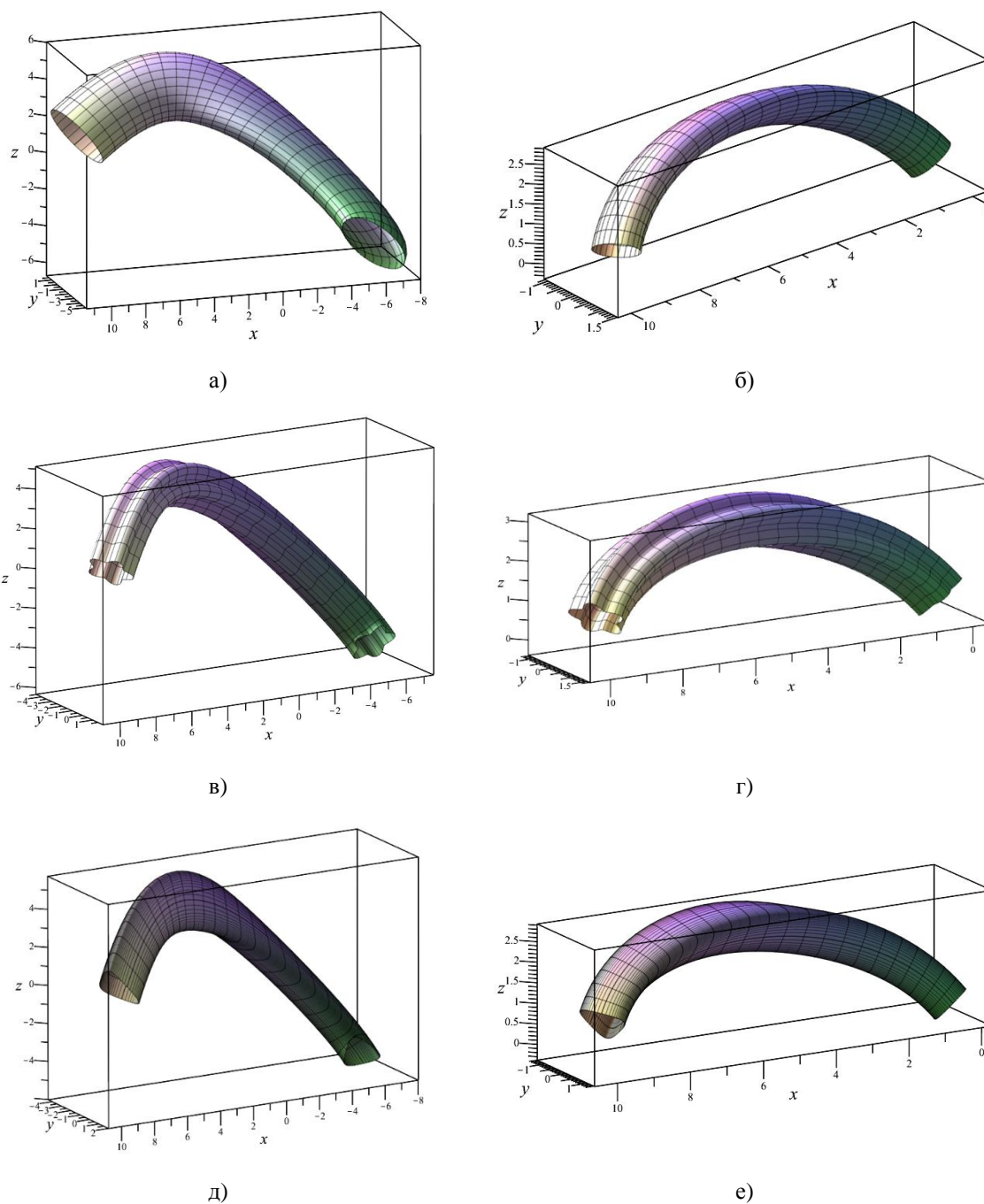


Рис. 2. Визуализация каналовой поверхности: а) пространственная направляющая с эллиптической образующей; б) плоская направляющая с эллиптической образующей; в) пространственная направляющая с образующей в виде синусоиды; г) плоская направляющая с образующей в виде синусоиды; д) пространственная направляющая с образующей в виде замкнутого обвода; е) плоская направляющая с образующей в виде замкнутого обвода

Fig. 2. Visualization of the channel surface: а) spatial guide with elliptical shape; б) flat guide with elliptical shape; в) spatial guide with sinusoidal shape; г) flat guide with sinusoidal shape; д) spatial guide with close-circle shape; е) flat guide with close-circle shape

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВЫХ ТЕЛ В ТОЧЕЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ

Концепция геометрического твердотельного моделирования [16, 17] в точечном исчислении основана на представлении геометрических объектов в виде трёхпараметрического множества точек, принадлежащих трёхмерному пространству. Поверхность представляет собой двухпараметрическое множество точек в трёхмерном пространстве. Чтобы перейти от каналовой поверхности к каналовому телу необходимо геометрическую модель поверхности дополнить стенкой постоянной или переменной толщины. Такую стенку удобно задавать с помощью условного центра N сечения каналовой поверхности (рис. 3).

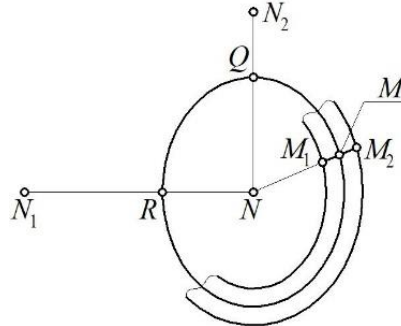


Рис. 3. Геометрическая схема определения стенки каналовой поверхности
Fig. 3. Geometric scheme for determining the wall of the channel surface

Вне зависимости от формы образующей, она определяется подвижной точкой M , которая своим движением заполняет пространство формируя замкнутую кривую. При этом, по сути, происходит вращение точки M вокруг условного центра N . Выделим на прямой NM отрезок M_1M_2 длиной δ . Движение этого отрезка вокруг точки N обеспечит заполнение пространства точками, формируя стенку каналовой поверхности толщиной δ . Точку M_1 определим из условия принадлежности в прямой NM :

$$\frac{MM_1}{MN} = \frac{|MM_1|}{|MN|} \Rightarrow \frac{M - M_1}{M - N} = \frac{\delta}{2|MN|} \Rightarrow M_1 = (N - M) \frac{\delta}{2|MN|} + M,$$

где $|MN| = \sqrt{(x_M - x_N)^2 + (y_M - y_N)^2 + (z_M - z_N)^2}$.

Точку M_2 определим из условия, что отрезок M_1M_2 делится точкой M пополам:

$$M_2 = 2M - M_1 = (M - N) \frac{\delta}{2|MN|} + M.$$

Тогда текущая точка каналового тела K будет определяться следующим уравнением:

$$K = (M_2 - M_1)w + M_1 = (N - M) \frac{\delta(1-2w)}{2|MN|} + M.$$

↓

$$\begin{cases} x_K = (x_N - x_M) \frac{\delta(1-2w)}{2|MN|} + x_M \\ y_K = (y_N - y_M) \frac{\delta(1-2w)}{2|MN|} + y_M, \\ z_K = (z_N - z_M) \frac{\delta(1-2w)}{2|MN|} + z_M \end{cases}$$

где w – текущий параметр, который изменяется от 0 до 1.

Таким образом, получен вычислительный алгоритм определения каналового тела, включающий определение каналовой поверхности в виде промежуточного этапа. Предложенный подход является справедливым для любых форм сечения каналовых поверхностей. Следует отметить, что в данном примере толщина канала является величиной постоянной и равной δ . Вместе с тем толщиной канала можно управлять с помощью функциональной зависимости для снижения металлоёмкости системы. Например, при $\delta = \delta(u)$, где $\delta(u)$ – любая непрерывная и дифференцируемая функция, будет задано каналовое тело с переменной толщиной по длине канала.

ВЫВОДЫ

Представленная работа продолжает цикл работ авторов, посвященный разработке и развитию математического аппарата геометрического твердотельного моделирования в точечном исчислении. По мнению авторов, компьютерная реализация такого подхода к геометрическому моделированию каналовых поверхностей и тел в точечном исчислении может расширить возможности существующих систем автоматизированного проектирования и твердотельного моделирования, которые могут быть дополнены численным моделированием с помощью геометрических интерполянтов, формируя замкнутую систему моделирования и расчёта, применимую для решения широкого круга инженерных и научных задач. Перспективой дальнейших исследований является моделирование каналовых поверхностей и тел для стыковки трубопроводов с различной формой.

Отдельной новизной работы является определение с помощью касательной, нормали и бинормали подвижного симплекса трёхмерного пространства, сопровождающего направляющую кривую, который является аналогом трёхгранника Френе в точечном исчислении. Важность его использования заключается не только в части определения дифференциальных характеристик кривых, но и дальнейшем развитии точечного исчисления, как математического аппарата моделирования геометрических объектов, обладающих наперёд заданными дифференциальными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базыкина А.Ю., Доценко С.Ф. Применение каналовой модели для описания распространения одиночных волн типа цунами в канале переменного поперечного сечения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 1(181). – С. 29-41.
2. Сафрошин Р.Э. Циклические поверхности в конструкциях газопроводов // Научному прогрессу – творчество молодых, 2017. № 1. – С. 123-125.
3. Орловский Б.В., Дворжак В.Н. Компьютерное моделирование перемотки пряжи для вязания на конические бобины // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности: Материалы докладов Международной научно-технической конференции, Витебск, 25-26 ноября 2015 года. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2015. – С. 72-74.
4. Корчагин Д. Метод геометро-динамического формообразования каналовой поверхности по дискретному каркасу ее образующих // Графикон'2016: Труды 26-й Международной научной конференции, Нижний Новгород, 19-23 сентября 2016 года. Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация "Институт физико-технической информатики", 2016. – С. 280-283.

5. Панчук К.Л., Любчинов Е.В. Элементы пространственной циклографии // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение, 2018. Т. 2. № 3. – С. 63-69. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-3-63-70.

6. Кокарева Я.А. Конструирование каналовых поверхностей с переменной образующей и плоскостью параллелизма на основе эквиаффинных преобразований плоскости // Геометрия и графика, 2017. Т. 5. № 1. С. 12-20.

7. Иванов В.Н., Валенсия Р.Э.Г. Тонкостенные пространственные конструкции на основе поверхностей Иохимсталя // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2016. № 2. – С. 15-21.

8. Сальков Н.А. Свойства циклид Дюпена и их применение. Часть 1 // Геометрия и графика, 2015. Т. 3. № 1. – С. 16-25. DOI: 10.12737/10454.

9. Норден А.П. Теория поверхностей // М.: ГИТТЛ, 1956. 260 с.

10. Норден А.П. Краткий курс дифференциальной геометрии // М.: ФИЗМАТГИЗ, 1958. – 244 с.

11. Балуба И.Г., Конопацкий Е.В., Бумага А.И. Точечное исчисление // Макеевка: ДОННАСА, 2020. – 244 с.

12. Балуба И.Г., Конопацкий Е.В. Точечное исчисление. Историческая справка и основополагающие определения // Тр. 8-й Междунар. науч. конф. «Физико-техническая информатика», 09-13 ноября 2020 г. Нижний Новгород, 2020. Ч. 2. – С. 321-327. DOI: 10.30987/conferencearticle_5fd755c0adb1d9.27038265.

13. Бумага А.И., Конопацкий Е.В., Крысько А.А., Чернышева О.А. Введение в математический аппарат БН-исчисление // Материалы VII Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом ВУЗе: традиции и инновации». Пермь: ПНИПУ, 2017. Вып. 4. – С. 76-82.

14. Бездѣтний А.О. Моделювання каналової поверхні з прямою дугою обводу // Пр. Тавр. держ. агротехнол. ун-ту. 2012. Вып. 4. Т. 53. – С. 7-12.

15. Бездѣтний А.О., Верещага В.М., Найдиш А.В., Конопацький Є.В. Моделювання каналової поверхні з криволінійною прямою // Пр. Тавр. держ. агротехнол. ун-ту. 2012. Вып. 4. Т. 54. С. 9-14.

16. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A., Lagunova M.V., Naidysh A.V. Principles of solid modelling in point calculus // IoP conference series: Journal of Physics: Conf. Series 1901 (2021) 012063. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012063.

17. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A. Solid modeling of geometric objects in point calculus // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 31st International Conference on Computer Graphics and Vision (GraphiCon 2021) Nizhny Novgorod, Russia, September 27-30, 2021. Vol. 3027. pp. 666-672. DOI: 10.20948/graphicon-2021-3027-666-672.

18. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A., Litvinov A.I. Geometric modeling of torse surfaces in BN-calculus // IoP conference series: Journal of Physics: Conf. Series 1791 (2021) 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012050.

19. Жихарев Л.А., Карпова Ю.С. Плоские отражения от кривых // Журнал естественнонаучных исследований, 2020. Т. 5. № 4. – С. 52-58.

20. Кац Б.А. Об одной метрической характеристике замкнутых плоских кривых и ее приложения // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Физико-математические науки, 2006. Т. 148. № 2. – С. 77-84.

21. Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю. Геометрическое моделирование стержневых конструкций с использованием замкнутых кривых высокого порядка и триангуляции // Вестник МГСУ, 2010. № 2. – С. 73-78.

22. Конопацкий С.В. Конструирование системы специальных плоских кривых типу «синусоида» методом узагальнения тригонометрических функций // Сборник научных трудов SWorld, 2013. Т. 12. № 3. – С. 76-80.

23. Короткий В.А., Хмарова Л.И. Универсальный компьютерный коникограф // Графикон'2016: Труды 26-й Международной научной конференции, Нижний Новгород, 19-23 сентября 2016 года. Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация "Институт физико-технической информатики", 2016. – С. 347-351.

24. Конопацкий Е.В., Крысько А.А., Бумага А.И. Вычислительные алгоритмы моделирования одномерных обводов через k наперед заданных точек // Геометрия и графика, 2018. №3. – С. 20-32. DOI: 10.12737/article_5bc457ece18491.72807735.

25. Конопацкий Е.В., Воронова О.С., Ротков С.И., Лагунова М.В., Бездитный А.А. Моделирование кривых 2-го порядка и поверхностей оболочек инженерных сооружений на их основе // Строительство и техногенная безопасность, 2021. №22(74). – С. 101-110. DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-101-110.

REFERENCES

1. Bazykina A.Yu., Dotsenko S.F. Application of a channel model for describing propagation of tsunami-like single waves in a channel with variable cross-section // Physical Oceanography. 2015. No. 1(181). – Pp. 29-41 (In Russian)

2. Safroshin R.E. Cyclic Surfaces in Gas Pipeline Structures // Scientific Progress – Creativity of the Young. 2017. No. 1. – Pp. 123-125 (In Russian)

3. Orlovsky B.V., Dvorzhak V.N. Computer simulation of yarn rewinding for knitting on conical bobbins // New in equipment and technology in textile and light industry: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. 2015. – Pp. 72-74 (In Russian)

4. Korchagin D. A method of geometric-dynamic shaping of channel surface by discrete frame of its

formations // GraphiCon 2016: Proceedings of 26th International Scientific Conference. 2016. – Pp. 280-283. (In Russian)

5. Panchuk K.L., Lyubchinov E.V. Elements of spatial cyclography // Omsk Scientific Bulletin. Aircraft and missile and power engineering series. 2018. Vol. 2. No. 3. – Pp. 63-69. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-3-63-70. (In Russian)

6. Kokareva Ya.A. Construction of canal surfaces with variable generatrix and parallelism plane based on plane's equiaffine transformations // Geometry & Graphics. 2017. Vol. 5. No. 1. – Pp. 12-20. (In Russian)

7. Ivanov V.N., Valensya R.E.G. Thin-walled shell structures on the base of Joachimsthal's canal surfaces // Structural mechanics of engineering structures and constructions. 2016. No. 2. – Pp. 15-21. (In Russian)

8. Sal'kov N.A. Properties of cyclide Dupen and their application. Part 1 // Geometry & Graphics. 2015. Vol. 3. No. 1. – Pp. 16-25. DOI: 10.12737/10454. (In Russian)

9. Norden A.P. Teoriya poverhnostej [Theory of Surfaces]. Moscow: State Publishers of Technical and Theoretical Literature. 1956. – 260 p. (In Russian)

10. Norden A.P. Kratkij kurs differencial'noj geometrii [A Short Course in Differential Geometry]. Moscow: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature. 1958. – 244 p. (In Russian)

11. Balyuba I.G., Konopatskiy E.V., Bumaga A.I. Tochechnoe ischislenie [Point calculus] // Makeevka: DONNACEA. 2020. – 244 p. (In Russian)

12. Balyuba I.G., Konopatskiy E.V. Point calculus. Historical background and basic definitions // Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Physical and Technical Informatics". 2020. Part 2. – Pp. 321-327. DOI: 10.30987/conferencearticle_5fd755c0adb1d9.27038265. (In Russian)

13. Bumaga A.I., Konopatskiy E.V., Krisko A.A., Chernisheva O.A. Introduction in the mathematical apparatus BN-calculation // Materials of the VII International Scientific and Practical Internet-Conference "Problems of Quality of Graphic Training of Students in Technical Universities: Traditions and Innovations". 2017. Issue. 4. – Pp. 76-82. (In Russian)

14. Bezditnyi A.A. Modeling of the channel surface with a contour arc // Proceedings of the Taurian State Agrotechnological University. 2012. Issue 4. Vol. 53. – Pp. 7-12. (In Ukrainian)

15. Bezditnyi A.A., Vereschaga V.M., Naidysh A.V., Konopatskiy E.V. Modeling of Canal Surface with Curvilinear Strain // Proceedings of the Taurian State Agrotechnological University. 2012. Issue 4. Vol. 54. – Pp. 9-14. (In Ukrainian)

16. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A., Lagunova M.V., Naidysh A.V. Principles of solid modelling in point calculus // IoP conference series: Journal of Physics: Conf. Series 1901 (2021) 012063. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012063.

17. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A. Solid modeling of geometric objects in point calculus // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 31st International Conference on Computer Graphics and

Vision (GraphiCon 2021). 2021. Vol. 3027. – Pp. 666-672. DOI: 10.20948/graphicon-2021-3027-666-672.

18. Konopatskiy E.V., Bezdityni A.A., Litvinov A.I. Geometric modeling of torse surfaces in BN-calculus // IoP conference series: Journal of Physics: Conf. Series 1791 (2021) 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012050.

19. Zhikharev L.A., Karpova Yu.S. Two-dimensional reflections from curves // Journal of Natural Science Research. 2020. Vol. 5. No. 4. – Pp. 52-58. (In Russian)

20. Kats B.A. On one metric characteristic of closed plane curves and its application // Proc. of Kazan State University. Series: Physical and Mathematical Sciences. 2006. Vol. 148. No. 2. – Pp. 77-84. (In Russian)

21. Polezhaev Yu.O., Borisova A.Yu. Geometric modeling of rod structures using high order closed curves and triangulation // MSCU Bulletin. 2010. No. 2. – Pp. 73-78. (In Russian)

22. Konopatskiy E.V. Constructing a system of special flat curves of the sinusoidal type by the method

of generalized trigonometric functions // Collection of SWorld Scientific Papers. 2013. Vol. 12. No. 3. – Pp. 76-80. (In Ukrainian)

23. Korotkiy V.A., Khmarova L.I. Universal computer conikograph // GraphiCon 2016: Proceedings of the 26th International Scientific Conference. 2016. – Pp. 347-351. (In Russian)

24. Konopatskiy E.V., Krys'ko A.A., Bumaga A.I. Computational algorithms for modeling of one-dimensional contours through k in advance given points // Geometry & Graphics. 2018. No. 3. – Pp. 20-32. DOI: 10.12737/article_5bc457ece18491.72807735. (In Russian)

25. Konopatskiy E.V., Voronova O.S., Rotkov S.I., Lagunova M.V., Bezdityni A.A. Modeling of the 2nd order curves and surfaces of engineering structures shells based on their basis // Construction and technogenic safety. 2021. No. 22(74). – Pp. 101-110. DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-101-110. (In Russian)

MODELING OF CHANNEL SURFACES AND SOLIDS IN THE POINT CALCULUS

Konopatskiy¹ E.V., Bezdityni² A.A.

¹ Donbas national Academy of civil engineering and architecture, 286123, Donetsk Peoples Republic, Makeevka, Derzhavina str., 2, e.v.konopatskiy@mail.ru

² Sevastopol branch of «Plekhanov Russian University of Economics», 299053, Russia, Sevastopol, Vakulenchuk str., 29, bezdytniy@gmail.com

Abstract. The paper proposes and implements an approach to geometric modeling of channel surfaces in the point calculus by determining the movable plane of section perpendicular to the guiding line of the channel surface. For this purpose, by constructing a normal and a binormal to the tangent, a movable simplex of three-dimensional space accompanying the guiding curve, which is analogous to the Frenet trihedron in the pointwise calculus, is formed. The normal and binormal are defined by the tools of the point calculus using the metric operator of three points and the exit point from the plane, which are analogs, respectively, of scalar and vector products of vectors. Examples of modeling channel surfaces with algebraic planar and transcendental spatial curve are given. Examples of using an ellipse, a closed curve of "sinusoidal" type, and a closed bypass of the 1st order of smoothness are given as formants. In the part of developing a mathematical apparatus for constructing high-performance geometric solid modeling systems, the definition of channel solids having both constant and variable functionally controllable thicknesses is performed. Here, a geometric algorithm for modeling channel surfaces and solids that is described analytically by a sequence of point equations is implemented. For its computer implementation in the form of a computational algorithm, parametric equations obtained by means of a subordinate calculation are given in parallel with the point equations.

Subject of research: geometric algorithms for modeling channel surfaces and solids.

Materials and methods: research methods include geometric algorithms for modeling channel surfaces and solids, parametrized of which is performed using the mathematical apparatus of the "Point Calculus".

Results: a geometrical algorithm for parameterization of channel surfaces and solids in the point calculus is developed; examples of modeling channel surfaces with planar and spatial guides and various formations are given; an analogue of the Frenet trihedron in the point calculus is obtained.

Conclusions: computer implementation of such approach to geometric modeling of channel surfaces and solids in the point calculus can expand the capabilities of existing CAD and solid-state modeling systems, which can be supplemented by numerical modeling with geometric interpolants, forming a closed system of modeling and calculation, applicable to a wide range of engineering and scientific problems.

Key words: geometric modeling, point calculus, metric operator, closed curves, channel surfaces, channel bodies.

УДК 514.18: 37.02

О ТРАНСФОРМАЦИИ ЛИНИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЧАСТНЫХ СЛУЧАЯХ

Серода¹ В.Г., Бут² А.Ю.Севастопольский государственный университет, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33,
E-mail: ¹aderes57v@mail.ru; ² butalexandr@rambler.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос, в каких случаях и при каких условиях получаются те или иные сочетания кривых второго порядка при варьировании угла поворота и конусности пересекающихся конических поверхностей, описанных вокруг сферы. Постановка задачи исследования описывается на основании теоремы Монжа и условий, определяемых ею. С учётом практического значения теоремы Монжа подчёркивается важность рассмотрения трансформации линий пересечения конических поверхностей не только при изменении угла между их осями, но и в зависимости от конусности поверхностей. Для удобства визуализации трансформации вида линий пересечения конических поверхностей предложено использование круговой диаграммы. Рассмотрены частные случаи пересечения конических поверхностей, описанных вокруг сферы. Приведены примеры визуализации процесса трансформации линий пересечения конических поверхностей при помощи предлагаемых круговых диаграмм при различных углах конусности и углах между осями поверхностей. Проанализированы возможные варианты вида линии взаимного пересечения конических поверхностей с различной конусностью, при изменении угла между осями поверхностей. Предложен вариант использования результатов исследования в образовательном процессе путём анализа задачи при помощи предлагаемых диаграмм, последующего компьютерного трехмерного моделирования пересекающихся поверхностей и генеративного создания плоского чертежа. Приведен пример выполненного учебного задания по созданию линий пересечения двух конических поверхностей, описанных вокруг сферы, средствами компьютерного моделирования.

Предмет исследования: частный случай пересечения поверхностей 2-го порядка.

Материалы и методы: геометрический алгоритм моделирования линий взаимного пересечения конических поверхностей – кривых 2-го порядка – с использованием методов сферических посредников и компьютерного моделирования.

Результаты: показано, что вид кривых второго порядка, при пересечении конических поверхностей в частных случаях, зависит не только от величины угла между их осями, а и от величин их конусности. Предложено использование круговой диаграммы для удобства визуализации процесса трансформации вида линий пересечения конических поверхностей.

Выводы: в результате исследования расширено представление о теореме Монжа, как одной из основ теории пересечения поверхностей. Предлагаемая круговая диаграмма позволяет систематизировать и визуализировать варианты трансформации вида линии пересечения конических поверхностей. Результаты исследования могут быть использованы: в учебном процессе – для ускорения восприятия учебного материала и всестороннего осмысления теоремы Монжа; в строительстве и архитектуре – при проектировании конструкций с элементами пересекающихся конических поверхностей.

Ключевые слова: начертательная геометрия, теорема Монжа, квадрики, коники, трансформация, диаграмма.

ВВЕДЕНИЕ

Формообразование технических поверхностей основано на совместном использовании начертательной и вычислительной геометрии. При конструировании технических изделий и проектировании архитектурных форм массово используются конические поверхности вращения, которые являются поверхностями второго порядка. Важность изучения подобных поверхностей для практического применения в промышленности периодически подтверждается актуальными публикациями [1 – 3]. Кроме того, вопросы пересечения поверхностей закономерно рассматриваются с методической точки зрения [4 – 7]. В общем случае две поверхности второго порядка (квадрики) пересекаются по пространственной линии четвертого порядка (биквадратной кривой), которая в некоторых случаях распадается на две линии второго порядка (коники). Условия, при которых это происходит, определяются теоремой Монжа: «Если две поверхности второго порядка описаны около третьей или вписаны в нее, то они пересекаются по

двум плоским кривым. Эти кривые проходят через прямую, соединяющую точки пересечения линий касания» [8]. Термин «Теорема Монжа» пожалуй, впервые встречается у профессора Н.Ф. Четверухина, там же можно ознакомиться с доказательством данной теоремы [8].

Из теоремы Монжа, рассматриваемой в курсе «Начертательная геометрия», следует, что если две конические поверхности касаются одной сферы, то линиями пересечения являются две плоские кривые второго порядка, которые пересекаются между собой и проецируются в отрезки прямых на плоскость параллельную их пересекающимся осям.

Учитывая практическое значение теоремы Монжа, имеет смысл рассмотреть трансформацию (**трансформация** – преобразование, превращение, изменение вида, формы или свойств чего-либо; в **данном контексте** – изменение вида кривых при изменении угла поворота и конусности) линий пересечения конических поверхностей не только при изменении угла между их осями, но и в зависимости от конусности (**конусность** – отношение диаметра окружности основания конуса к его высоте для полных конусов или отношение

разности диаметров двух торцевых поперечных сечений конуса к расстоянию между ними для усеченных конусов) поверхностей.

В учебной литературе этот вопрос практически не освещается. Имеются публикации, в которых рассматриваются задачи на построение линий пересечения поверхностей второго порядка в системах трехмерного компьютерного моделирования [9 – 12]. В работе [13] показана возможность получения и визуализации разнообразия кривых второго порядка, в зависимости от комбинаций пересекающихся поверхностей (описанных вокруг сферы) и взаимного положения, при изменении угла между их осями.

Визуализировать трансформацию вида линий пересечения конических поверхностей (описанных около сферы) можно с помощью предлагаемой **круговой диаграммы**. Для этого, предварительно, рассмотрим два частных случая пересечения конических поверхностей (с конусностью $2\alpha \neq 2\gamma$), описанных вокруг сферы.

Следует отметить, что при описании подобных конических поверхностей общепринято

использование термина «**уклон конуса**» – это половина угла при его вершине. Однако в данной работе предлагаются новые графические схемы отображения исследуемых пространственных зависимостей, и для этого принята определенная, соответствующая схемам и логике рассуждений, структура обозначений. Поэтому далее в тексте в основном будет использоваться общее понятие и термин – «**конусность**».

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОПИСАННЫХ ВОКРУГ СФЕРЫ

Случай 1. Образующие поверхностей совпадают (поверхности пересекаются по эллипсу и двойной прямой). При этом угол между осями поверхностей будет равен $\alpha_1 = \beta - \gamma$ (рис. 1). Если из этого положения повернуть поверхность ещё на 180° , то их образующие станут параллельными и поверхности пересекутся по эллипсу и параболе (с учетом двухполостности конусов).

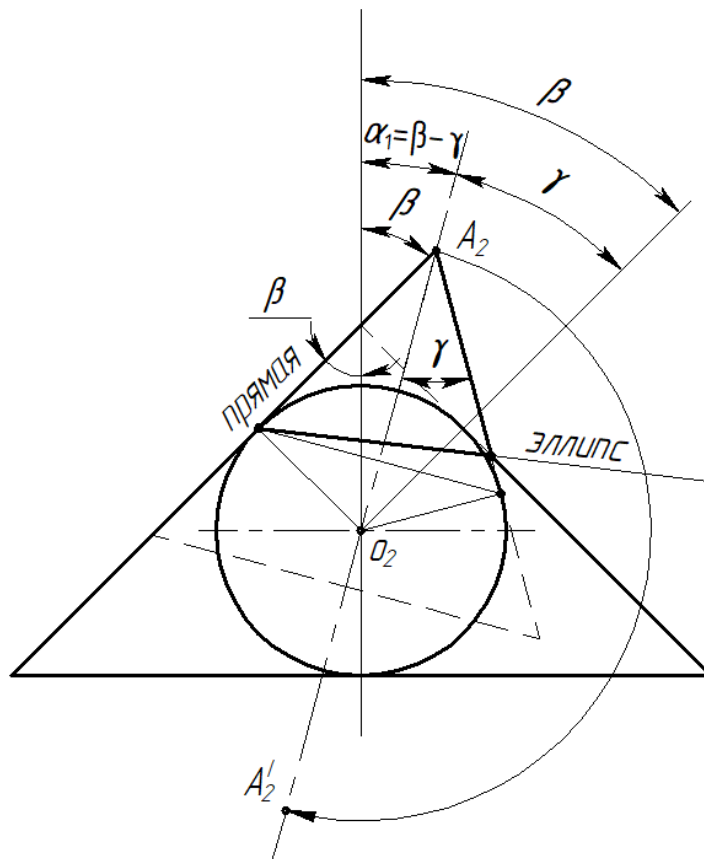


Рис. 1. Пересечение двух конусов (образующие совпадают)
Fig. 1. Intersection of two cones (generatrices coincide)

Случай 2. Образующие поверхностей параллельны (поверхности пересекаются по эллипсу и параболе). Угол между осями конических поверхностей определяется как $\alpha_2 = \beta + \gamma$ (рис. 2).

При дальнейшем повороте конуса на 180° образующие поверхностей совпадут, а поверхности пересекутся по эллипсу и двойной прямой.

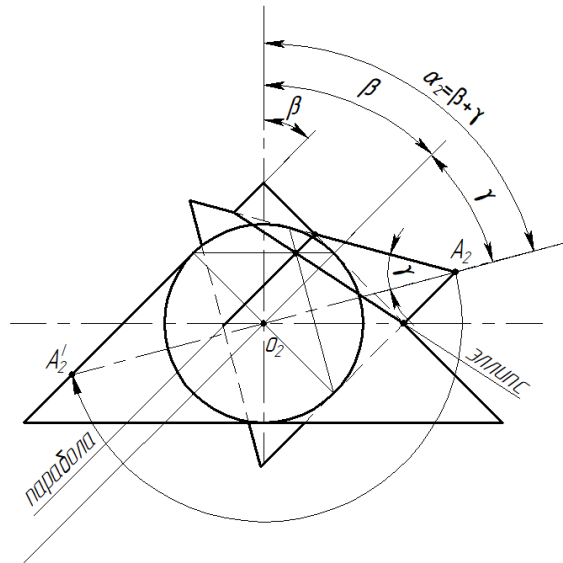


Рис. 2. Пересечение двух конусов (образующие параллельны)
Fig. 2. Intersection of two cones (generatrices are parallel)

**КРУГОВАЯ ДИАГРАММА ДЛЯ
 ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРАНСФОРМАЦИИ
 ВИДА ЛИНИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
 ПОВЕРХНОСТЕЙ**

На предлагаемой круговой диаграмме (рис. 3) углы α_1 и α_2 определяют описанные выше

закономерности и позволяют разделить площадь круга диаграммы на симметрично расположенные сектора А, В, С и D. В секторах А и С пересечение конических поверхностей происходит по двум эллипсам, а в секторах В и D – по эллипсу и гиперболе (если ось поворачиваемой поверхности будет находиться в соответствующем секторе). Если оси поверхностей совпадают, то поверхности пересекаются по двум окружностям.

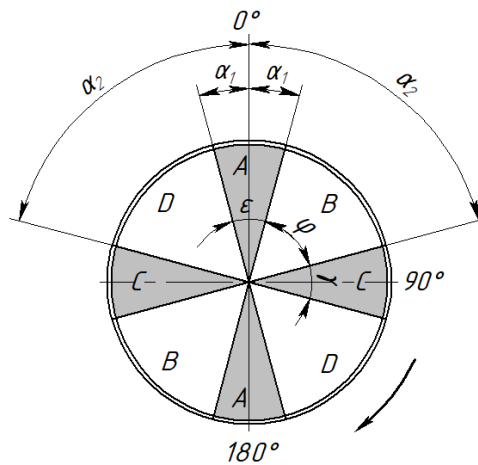


Рис. 3. Диаграмма трансформации вида коник (общий вид)
Fig. 3. Diagram of the transformation of the type of conics (general view)

Заметим, что при повороте одной конической поверхности относительно другой поверхности на 360° пересечение по эллипсу и параболе, а также по эллипсу и двойной прямой происходит по четыре раза.

С целью упрощения построения диаграммы определим угловые величины ε , φ и λ соответственно секторов А, В и С (рис. 3). Угловая величина эллипсных секторов А определяется как $\varepsilon = 2\alpha_1 = 2\beta - 2\gamma$. Для эллипсно-гиперболических секторов В и D угловая величина равна $\varphi = \alpha_2 - \alpha_1 = 2\gamma$. Для эллипсных секторов С имеем зависимость $\lambda = 180^\circ - (\varepsilon + 2\varphi) = 180^\circ - (2\beta + 2\gamma)$.

Итак, приведенные зависимости показывают, что вид кривых второго порядка, при пересечении конических поверхностей, зависит не только от величины угла между их осями, а и от величин их конусности (уклонов участвующих конусов).

ПРИМЕРЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТРАНСФОРМАЦИИ ЛИНИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ПОМОЩИ КРУГОВЫХ ДИАГРАММ

Диаграммы позволяют визуализировать процесс трансформации линий пересечения конических поверхностей в зависимости от угла между их осями и величин конусности. Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. Построить диаграмму секторов, определяющих линии пересечения двух конических поверхностей с конусностью $2\beta = 60^\circ$ и $2\gamma = 30^\circ$ (уклоны конусов – 30° и 15° , соответственно).

В результате вычислений получим параметры для построения диаграммы:

$$\beta = 30^\circ; \gamma = 15^\circ; \alpha_1 = \beta - \gamma = 15^\circ; \alpha_2 = \beta + \gamma = 45^\circ; \\ \varepsilon = 2\beta - 2\gamma = 30^\circ; \varphi = 2\gamma = 30^\circ; \lambda = 180^\circ - (2\beta + 2\gamma) = 90^\circ.$$

Диаграмма содержит восемь секторов (рис. 4).

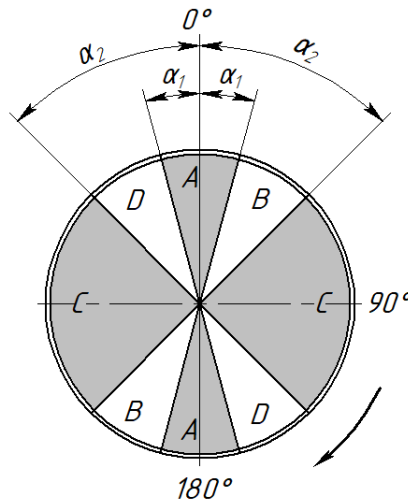


Рис. 4. Диаграмма трансформации вида коник ($2\beta = 60^\circ$ и $2\gamma = 30^\circ$)
Fig. 4. Diagram of the transformation of the type of conics ($2\beta = 60^\circ$ and $2\gamma = 30^\circ$)

В этом примере, при изменении угла α (от 0° до 360°) между осями поверхностей, линиями пересечения поверхностей будут: две окружности; два эллипса; эллипс и двойная прямая; эллипс и гипербола; эллипс и парабола.

Пример 2. Построить диаграмму секторов, определяющих линии пересечения двух конических поверхностей с конусностью $2\beta = 45^\circ$ и $2\gamma = 45^\circ$ (уклоны конусов – $22,5^\circ$).

Запишем значения параметров, необходимых для построения диаграммы:

$$\alpha_1 = 0^\circ; \alpha_2 = 45^\circ; \varepsilon = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \lambda = 90^\circ.$$

На диаграмме (рис. 5) будет четыре сектора, так как $\varepsilon = 0^\circ$. Сектора А отсутствуют, а сектора В и D сливаются в один сектор.

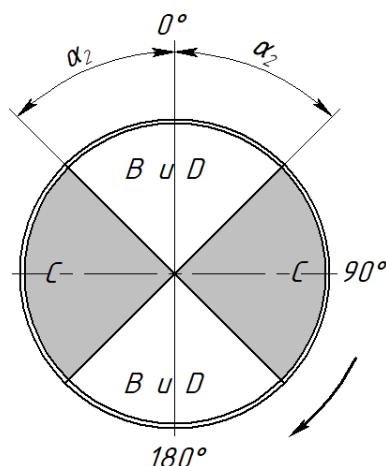


Рис. 5. Диаграмма трансформации вида коник ($2\beta = 2\gamma = 45^\circ$)
Fig. 5. Diagram of the transformation of the type of conics ($2\beta = 2\gamma = 45^\circ$)

Здесь, при изменении угла α (от 0° до 360°) между осями поверхностей, линиями пересечения поверхностей будут: две окружности; эллипс и гипербола; эллипс и парабола; два эллипса; эллипс и двойная прямая.

Пример 3. Построить диаграмму секторов, определяющих линии пересечения двух поверхностей с равной конусностью ($2\beta = 2\gamma = 90^\circ$) (уклоны конусов – 45°).

Необходимыми параметрами для построения диаграммы будут:

$$\alpha_1 = 0^\circ; \alpha_2 = 90^\circ; \varphi = 90^\circ; \lambda = 0^\circ.$$

Диаграмма (рис. 6) также разделена на четыре сектора, так как $\varepsilon = 0^\circ$.

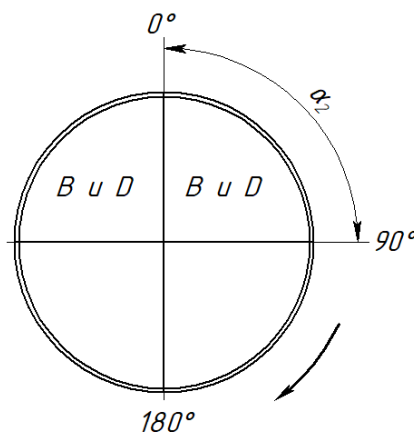


Рис. 6. Диаграмма трансформации вида коник ($2\beta = 2\gamma = 90^\circ$)
Fig. 6. Diagram of the transformation of the type of conics ($2\beta = 2\gamma = 90^\circ$)

В данном случае пересечение конических поверхностей возможно по двум окружностям, по эллипсу и гиперболе, а также по параболе и двойной прямой (при $\alpha = 90^\circ$). Заметим, что отсутствует пересечение по двум эллипсам.

Пересечение по эллипсу и двойной прямой, а также по эллипсу и параболе отражает переход от пересечения по двум эллипсам к пересечению по эллипсу и гиперболе (или наоборот), что имеет место при определённых значениях угла α и конусности 2β и 2γ .

Отметим, что если конусность одной из поверхностей стремиться к нулю, (например $2\gamma = 0$),

то коническая поверхность трансформируется в цилиндрическую поверхность.

Если конусность одной из поверхностей стремиться к 180° (например, $2\gamma = 180^\circ$), то коническая поверхность трансформируется в плоскость. При вращении вокруг сферы плоскость пересекает коническую поверхность дважды соответственно по окружности, по параболе и двойной прямой,

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Для закрепления практического значения теоремы Монжа и усвоения основ компьютерного моделирования в условиях образовательного процесса представляется возможным выполнение трехмерной модели двух конических поверхностей (описанных вокруг сферы) с последующим генерированием основных видов в одной из систем AutoCAD, Inventor, T-FLEX, Компас. Вариативность задания осуществляется путем изменения параметров конусности поверхностей и

угла поворота одной поверхности относительно другой.

На рис. 7 приведен пример контрольного задания выполненного в САПР T-FLEX CAD. Порядок выполнения следующий. Основываясь на исходных данных – размерах и взаимном расположении пересекающихся конусов – выполняется анализ задания с использованием предлагаемой диаграммы. Далее в 3D-пространстве создаётся модель пересекающихся конусов с выбранными размерами и углом между их осями. Затем из 3D-модели получается 2D-чертёж, оформляемый согласно образцу (рис. 7). Результаты, отображенные на чертеже, ещё раз сопоставляются с данными диаграммы и поясняются.

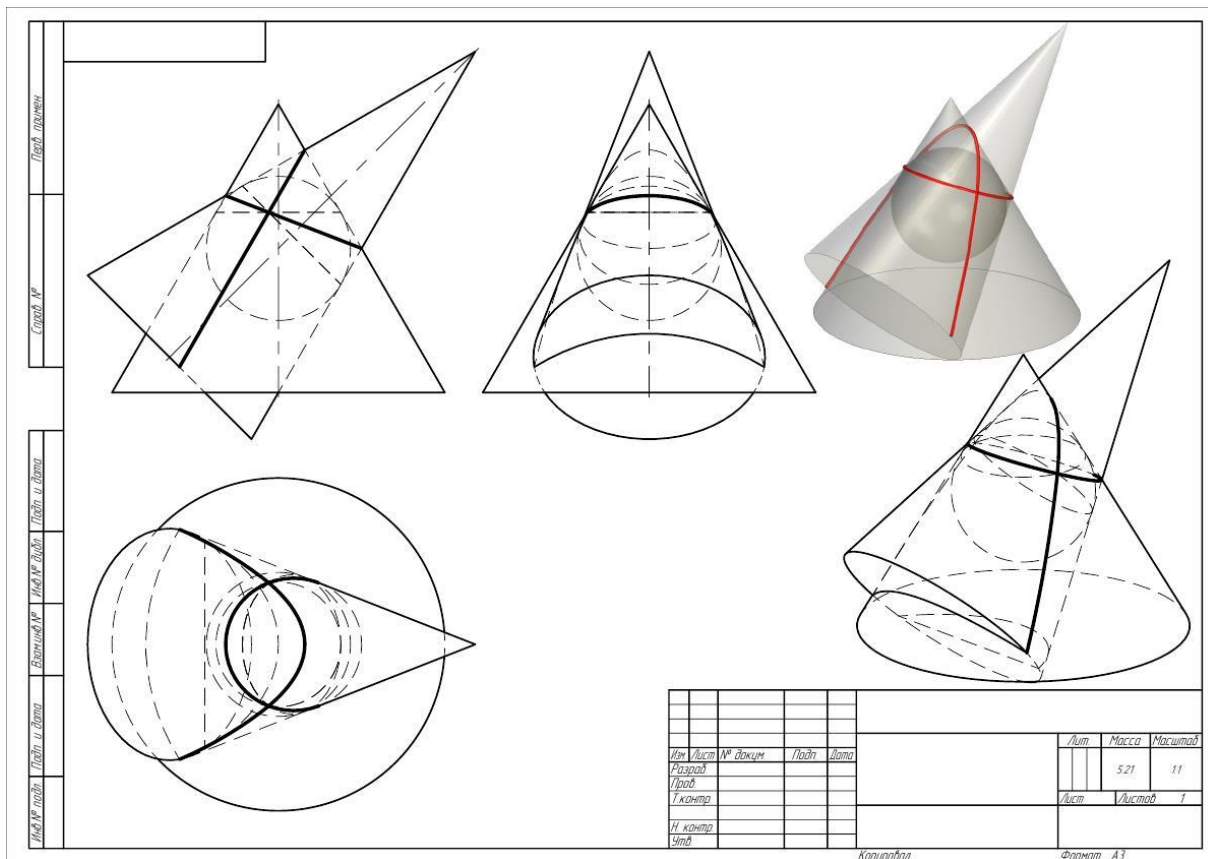


Рис. 7. Образец контрольного задания
Fig. 7. Sample control task

ВЫВОДЫ

Вид кривых второго порядка, при пересечении конических поверхностей в частных случаях, зависит не только от величины угла между их осями, а и от величин их конусности.

При изменении угла поворота конические поверхности с неодинаковой конусностью пересекаются: по двум окружностям (два раза); по эллипсу и двойной прямой, по эллипсу и параболе, по двум эллипсам (по четыре раза).

Визуальное представление трансформации линий пересечения поверхностей с помощью диаграмм ускоряет восприятие учебного материала и способствует всестороннему осмыслению теоремы Монжа. Также результаты исследования могут быть использованы в предметных областях строительства и архитектуры – при проектировании конструкций с элементами пересекающихся конических поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конопацкий Е.В., Воронова О.С., Ротков С.И., Лагунова М.В., Бездитный А.А. Моделирование кривых 2-го порядка и поверхностей оболочек инженерных сооружений на их основе // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского. 2021. № 22 (74). – С.101-110.

2. Короткий В.А., Усманова Е.А. Применение кривых второго порядка для конструирования гладких каркасно-сетчатых поверхностей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Т.14. №3. – С. 45-48.

3. Беляева З. В., Митюшов Е. А. Геометрическое моделирование пространственных конструкций. Своды // Вестник Томского государственного архитектурно – строительного университета. 2010. №1. – С. 53-63.

4. Деменева Н.В. Аналитическая геометрия. Кривые второго порядка // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова". Пермь: ИПЦ Прокрость, 2019. – 310 с. ISBN 9785942794613.

5. Хейфец А.Л. Сравнение методов начертательной геометрии и 3D компьютерного геометрического моделирования по точности, сложности и эффективности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2015. Т. 15. №4. – С. 49-63.

6. 3. Хейфец А.Л. 3D-модель пересечения софокусных и псевдософокусных квадрик // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2013. №2. – С. 88-95. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vestnik.susu.ru/ctr/article/view/211/197> (дата обращения 05.03.2022).

7. Хейфец А.Л., Короткий В.А. 3D-компьютерное моделирование пересечения эллиптических конусов при их двойном соприкосновении. AutoCAD // 16-я Международная конференция по компьютерной графике и ее приложениям «Графикон 2006»: труды. Новосибирск: Прайс-куррьер, 2006. – С. 128-133.

8. Четверухин, Н.Ф. Проективная геометрия. М.: Просвещение, 1969. 368 с.

9. Хейфец А.Л. Исследование линии пересечения поверхностей второго порядка в курсе теоретических основ компьютерного геометрического моделирования // 12-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению «Графикон 2002»: труды. Нижний Новгород, 16 сентября – 21 сентября. – 462 с.

10. Хейфец А.Л., Ерохин С.В. 3D-моделирование частных случаев пересечения поверхностей второго

порядка в пакете AutoCAD // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2003. Вып. 2. № 7 (23). – С. 92 – 95.

11. Корягина О.М. Построение линий пересечения поверхностей второго порядка в системе объемного моделирования Autodesk Inventor // Cloud of Science. Электрон. журн. 2016. Т. 3. № 1. – С.60-70. – Режим доступа: http://cloudofscience.ru/publications/archive/cos_3_1/ (дата обращения 05.03.2022).

12. Ширий А. В. Построение линии пересечения поверхностей с помощью 3D-моделирования в программе «КОМПАС-3D» // X Юбилейная Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященная 80-летию образования Красноярского края «Молодежь и наука»: сборник материалов. Красноярск: Сибирский федеральный ун.-т, 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s01/s01_015.pdf (дата обращения 05.03.2022).

13. Серeda В.Г., Бут А.Ю. Зависимость вида линии пересечения поверхностей от их комбинаций. Вестник науки и образования Северо-Запада России. Калининград. Электрон. журн. 2021. Т.7. №2. – Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2021/05/2021-N2-SeredaBut.pdf> (дата обращения 05.03.2022).

REFERENCES

1. Konopackij E.V., Voronova O.S., Rotkov S.I., Lagunova M.V., Bezditynj A.A. Modeling of curves of the second-order and surfaces of shells of engineering structures based on them // Construction and technogenic safety. Simferopol: V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 2021. No. 22 (74). – Pp. 159-168. (In Russian)

2. Korotky V.A., Usmanova E.A. The use of second-order curves to construct smooth frame-mesh surfaces // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture, 2014. Vol. 14. No. 3. – Pp. 45 – 48. (In Russian)

3. Belyaeva Z. V., Mityushov E. A. Geometric modeling of spatial structures. Vaults // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno – stroitel'nogo universiteta. 2010. No 1. – Pp. 53-63. (In Russian)

4. Demeneva N.V. Analytical geometry. Second-order curves // Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov". Perm: CPI Prokrost, 2019. – 310 p. ISBN 9785942794613. (In Russian)

5. Hejfec A.L. Comparison of methods of descriptive geometry and 3D computer geometric modeling in terms of accuracy, complexity and efficiency // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture, 2015. Vol. 15. No. 4. – Pp. 49-63. (In Russian)

6. Hejfec A.L. 3D-model of the intersection of confocal and pseudosofocal quadrics // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics, 2013. No. 2. – Pp. 88-95. – Available at: <https://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/211/197> (date of access 05.03.22). (In Russian)
7. Hejfec A.L., Korotkij V.A. 3D computer simulation of the intersection of elliptical cones at their double contact. AutoCAD // 16th International Conference on Computer Graphics and its Applications “GraphicCon’2006”: papers. Novosibirsk: Prajs-kur'er, 2006. – Pp. 128-133. (In Russian)
8. CHetveruhin, N.F. Proektivnaya geometriya [Projective geometry]. Moscow: Prosveshchenie. 1969. – 368 p.
9. Hejfec A.L. The study of the line of intersection of surfaces of the second order in the course of the theoretical foundations of computer geometric modeling. 12th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision “GraphicCon’2002”: papers. Nizhnij Novgorod, 2002. – 462 p. (In Russian)
10. Hejfec A.L., Erohin S.V. 3D modeling of special cases of intersection of second-order surfaces in the AutoCAD package // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture, 2003. Vol. 2. No. 7 (23). – Pp. 92-95. (In Russian)
11. Koryagina O.M. Construction of lines of intersection of surfaces of the second order in the volume modeling system Autodesk Inventor. Cloud of Science: scientific Internet-journal. 2016. Vol. 3. No. 1. – Pp. 60 – 70. – http://cloudofscience.ru/publications/archive/cos_3_1/ (date of access 05.03.22). (In Russian)
12. SHiryaj A. V. Construction of a line of intersection of surfaces using 3D modeling in the KOMPAS-3D program. X Anniversary All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists with international participation, dedicated to the 80th anniversary of the formation of the Krasnoyarsk Territory "Youth and Science": a collection of materials. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2014. – https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s01/s01_015.pdf (date of access 05.03.22). (In Russian)
13. Sereda V.G., But A.Yu. Traces type dependence on combinations of the surfaces. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. Kaliningrad: scientific Internet-journal. 2021. Vol. 7. No. 2. – <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2021/05/2021-N2-SeredaBut.pdf> (date of access 05.03.22). (In Russian)

ON TRANSFORMATION OF CONIC SURFACES INTERCEPTION LINES IN SPECIAL CASES

Sereda¹ V.G., But² A.Yu.

Sevastopol State University, 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33,
E-mail: ¹aderes57v@mail.ru; ²butalexandr@rambler.ru

Abstract. The question is considered in what cases and under what conditions certain combinations of second-order curves are obtained by varying the angle of rotation and taper of intersecting conical surfaces circumscribed around a sphere. The statement of the research problem is described on the basis of the Monge theorem and the conditions determined by it. Taking into account the practical significance of Monge's theorem, the importance of considering the transformation of the lines of intersection of conical surfaces is emphasized not only when the angle between their axes changes, but also depending on the conicity of the surfaces. For the convenience of visualizing the transformation of the type of lines of intersection of conical surfaces, the use of a pie chart is proposed. Particular cases of intersection of conical surfaces circumscribed around a sphere are considered. Examples of visualization of the process of transformation of the lines of intersection of conical surfaces using the proposed circular diagrams at various taper angles and angles between the axes of the surfaces are given. Possible variants of the line of mutual intersection of conical surfaces with different taper are analyzed, when the angle between the axes of the surfaces changes. A variant of using the research results in the educational process by analyzing the problem using the proposed diagrams, followed by computer three-dimensional modeling of intersecting surfaces and generative creation of a flat drawing is proposed. An example of a completed training task on the creation of lines of intersection of two conical surfaces described around a sphere by means of computer simulation is given.

Subject of research: a special case of intersection of surfaces of the second-order.

Materials and methods: geometric algorithm for modeling the lines of mutual intersection of conical surfaces - curves of the 2nd order - using the methods of spherical mediators and computer simulation.

Results: it is shown that the form of curves of the second order, when crossing conical surfaces in particular cases, depends not only on the angle between their axes, but also on the values of their taper. The use of a pie chart is proposed for the convenience of visualizing the process of transformation of the type of lines of intersection of conical surfaces.

Conclusions: as a result of the study, the concept of Monge's theorem, as one of the foundations of the theory of intersection of surfaces, has been expanded. The proposed pie chart allows you to systematize and visualize the options for transforming the type of line of intersection of conical surfaces. The results of the study can be used: in the educational process - to accelerate the perception of educational material and a comprehensive understanding of the Monge theorem; in construction and architecture - when designing structures with elements of intersecting conical surfaces.

Key words: descriptive geometry, Monge's theorem, quadrics, conics, transformation, diagram.

РАЗДЕЛ 4. Экологическая безопасность

УДК 69.059.4/502.51

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ МАЛЫХ РЕКИванкова¹ Т.В., Фесенко² Л.Н., Бандурин³ М.А.^{1,2}ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, academy-design@maul.ru³ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, cheruga@mail.ru

Аннотация. В статье изложены проблемы строительных объектов (мостовые проезды) в бассейне малой реки Альма Бахчисарайского района Республики Крым. Приводятся результаты многофакторных исследований мостов через русло малой реки. Описаны типичные мостовые сооружения, основные типы их дефектов и повреждений. В работе дан расчет остаточного ресурса мостовых сооружений. Предложена разработанная авторами модель многофункционального программного комплекса геоинформационной системы (МПК ГИС), основанная на собранных натурных данных, структурированных в базы данных. Модель МПК ГИС направлена на риск-ориентированную структуру контроля мостовых сооружений по руслу рек. Данный продукт позволит планировать проверки в зависимости от уровня риска и остаточного ресурса сооружения.

Предмет исследования: транспортные строительные объекты в бассейне малой реки Альма, позволяющие разработать основы моделирования и метод прогнозирования экологической безопасности в бассейне рек.

Материалы и методы: при исследовании использовались общие научно-географические методы – статистический, картографический и др., представляющие собой набор полевых и камеральных методик. Диагностика антропогенной нагрузки осуществлялась путем дешифрирования детальных карт Google, SAS.Планета, Яндекс.Карты и использования ГИС-технологий (программный комплекс QGIS). Русло и долина реки обследовались пешеходными маршрутами. Точки наблюдений наносились на топографическую основу. Описание объектов сопровождалось фотодокументацией. Сооружения в бассейне р. Альма обследовались согласно действующим инструкциям с применением измерительных аттестованных приборов.

Результаты: экспериментально установлены многочисленные дефекты на мостовых сооружениях в бассейне малой реки Альма. Из 21 обследованного сооружения 3 мостовых проезда находятся в неработоспособном, 7 – в ограниченно работоспособном состоянии. Полное или частичное разрушение объектов городского хозяйства в русле реки создает реальную угрозу обрушения конструкций и может привести к авариям с материальным ущербом и человеческим жертвам. Разработана система для сбора данных по объектам городского, транспортного строительства в бассейне малой реки Альма. Базы представляют собой совокупность реляционных таблиц, в которых размещены сведения, организующие связь по заданным параметрам. Разработана модель «Многофункциональный программный комплекс «Геоинформационная система объектов городского, транспортного и водохозяйственного строительства бассейна малой реки Альма Республики Крым»», основанная на данных натурных исследований, многофакторном обследовании сооружений, расчете остаточного жизненного цикла эксплуатируемых сооружений и прогнозировании их дальнейшего технического состояния.

Выводы: результаты исследований следует рассматривать как основу практических методик для комплексной оценки экологической безопасности природно-технической системы бассейнов рек. Дальнейшая разработка темы может быть связана с масштабированием исследований урбанизированных территорий, мониторинга кризисных участков и прогнозирование дальнейшего состояния объектов городского и транспортного строительства.

Ключевые слова: мостовые сооружения, дефекты, повреждения, остаточный ресурс, риск-ориентированный подход, геоинформационная система.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы определяется наличием проблемы экологической безопасности природно-технических систем бассейнов малых рек Крымского полуострова, низким техническим уровнем безопасности объектов городского и транспортного строительства, отсутствием научных основ алгоритмов построения имитационных моделей ранжирования и прогнозирования остаточного жизненного цикла объектов природно-технических систем.

Устойчивость природно-технических систем бассейнов малых рек обеспечивается способностью

сохранять свою структуру и функциональные свойства при естественно-природных и антропогенно формируемых воздействиях объектами городского и транспортного строительства. Под природно-технической системой (ПТС) понимают совокупность природных и искусственных объектов, сформировавшихся на какой-то территории в результате строительства и эксплуатации промышленных комплексов, инженерных сооружений и технических средств, взаимодействующих с компонентами природной и социальной среды.

Проблема технического состояния мостовых сооружений вдоль русла рек в Республике Крым, как и в России в целом, очень актуальна. Согласно Постановления Совета министров Республики Крым от 29.12.2018 № 680 [1] и государственной программе Республики Крым «Развитие дорожного хозяйства Республики Крым» на 2019–2024 годы [2], на обеспечение транспортной доступности к сельским населенным пунктам Республики Крым, улучшение потребительских свойств автодорог, снижение транспортных издержек, обеспечение безопасности дорожного движения, сокращение протяженности автомобильных дорог, работающих в режиме перегрузки, обеспечение транспортной безопасности выделено 325,2 млрд. руб. Однако, финансирование Бахчисарайского района коснется в части 2 программ: строительство и реконструкция автомобильной дороги Керчь – Феодосия – Белогорск – Симферополь – Бахчисарай – Севастополь (граница Бахчисарайского района) и ремонт автомобильной дороги 35 ОП РЗ 35К-020 Бахчисарай - Ялта, км 26 + 100 - км 69 + 900.

Площадь Бахчисарайского муниципального района составляет 1588,6 км², что – 6,1% от территории Республики Крым, численность населения на 01.01.2021 г. составила 90911 чел. Протяженность автомобильных дорог, км: регионального значения – 193,1, межмуниципального значения – 254,44, муниципальных автомобильных дорог – 558,2, трамвайные пути – 0 км, железнодорожное сообщение – 23.

Существующие методы мониторинга не дают решения в прогнозировании экологической ситуации, поэтому тема обеспечения экологической безопасности природно-технических систем бассейнов малых рек в условиях Крымского полуострова является актуальной научной и практической проблемой для столицы Республики Крым – г. Симферополь и других крупных городов Крыма.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Экологической безопасностью природно-технических систем, формируемых объектами строительства, городского хозяйства и водохозяйственных комплексов РФ, занимались как российские ученые: Бакаева Н.В., Ветрова Н.М., Волшаник В.В., Карпенко Н.П., Пупырев Е.И., Слесарев М.Ю., Сметанин В.И., Теличенко В.И., Ткачев Б.П., Фролова Н.Л., так и зарубежные авторы: Ceballos G., Fidelis T., Haworth B., Hjoerland B., Richard T.T. Forman, ThiLoi D. и др.

Изучением малых рек, их состоянием и экологическими проблемами, антропогенными воздействиями, опасными проявлениями и управлением русловыми процессами занимались: Булатов В.И., Дальков М.П., Лапшенков В.С., Магамедзагиров З.М., Малик Л.К., Романов М.В., Тимченко З.В., Чалов С.Р., Черняев А.М. и др. В

существующих моделях не учитывалось прогнозирование экологической безопасности урбанизированных территорий с оценкой остаточного технического ресурса сооружений. Ранжирование объектов по классам опасности и расчет их остаточного ресурса, прогнозирование нагрузки на природно-техническую систему дает реальную картину состояния экологической ситуации в бассейне реки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа основана на фактическом материале, собранном авторами в 2015–2021 гг. при полевых исследованиях в бассейне реки Альма. Проанализированы многочисленные фондовые и опубликованные работы, позволившие выявить основные проблемы водообеспечения исследуемого объекта. В процессе исследования детально изучена природно-техническая система бассейна реки Альма. Проведен анализ проектной, строительной и эксплуатационной документации комплексов сооружений в бассейне реки и выполнена оценка их конструктивных элементов.

Полномасштабные данные исследований получены путем проведения маршрутных исследований русла реки и водосборного бассейна известными методами, сертифицированными приборами и стандартным промышленным оборудованием. Полученные данные обработаны с использованием статистических методов и лицензионных программных продуктов (QGIS 3.18, Next GIS QGIS, SAS.Планета).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Экспертное обследование состояния русла р. Альма и мостов проведено нами в летний межень период. На р. Альме сооружен 21 мост, в том числе 18 автомобильных, два пешеходных и один железнодорожный (рис.1). По результатам обследования составлена база мостовых переездов по критериальным значениям. Морфология русла реки различна на разных отрезках долины, в большинстве случаев она несет следы заметного технического воздействия и свидетельствует о деградации естественных русловых процессов из-за отсутствия воды или недостаточного её количества.

С помощью программного комплекса QGIS 3.18, была оцифрована транспортная сеть бассейна реки Альма, обозначены мостовые сооружения (рис.2).

Ниже представлена схема транспортной нагрузки на бассейн реки (рис.3). Согласно Водного кодекса Российской Федерации ст. 65 [3] «ширина водоохранной зоны, отсчитываемая от береговой линии водного объекта, принимается равной для ручьев и рек протяженностью свыше 50 км - 200 м». Русло реки пересекает 8 поселков (рис. 4).

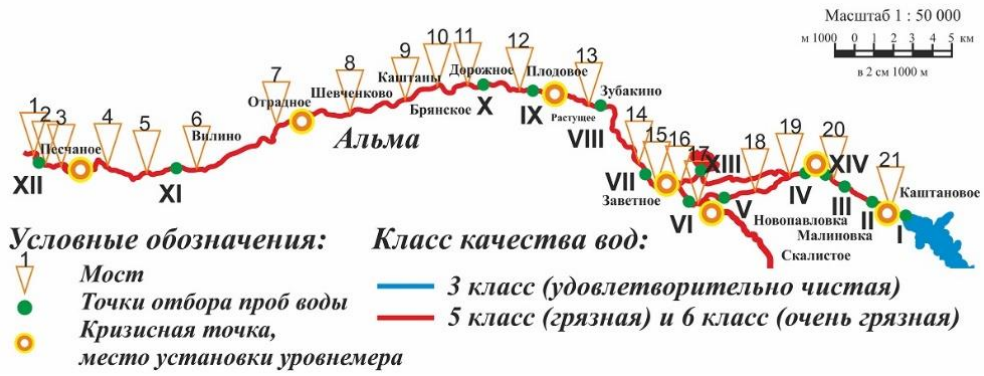


Рис. 1 Мостовые сооружения по руслу р. Альма
 Fig. 1 Bridge structures along the Alma riverbed

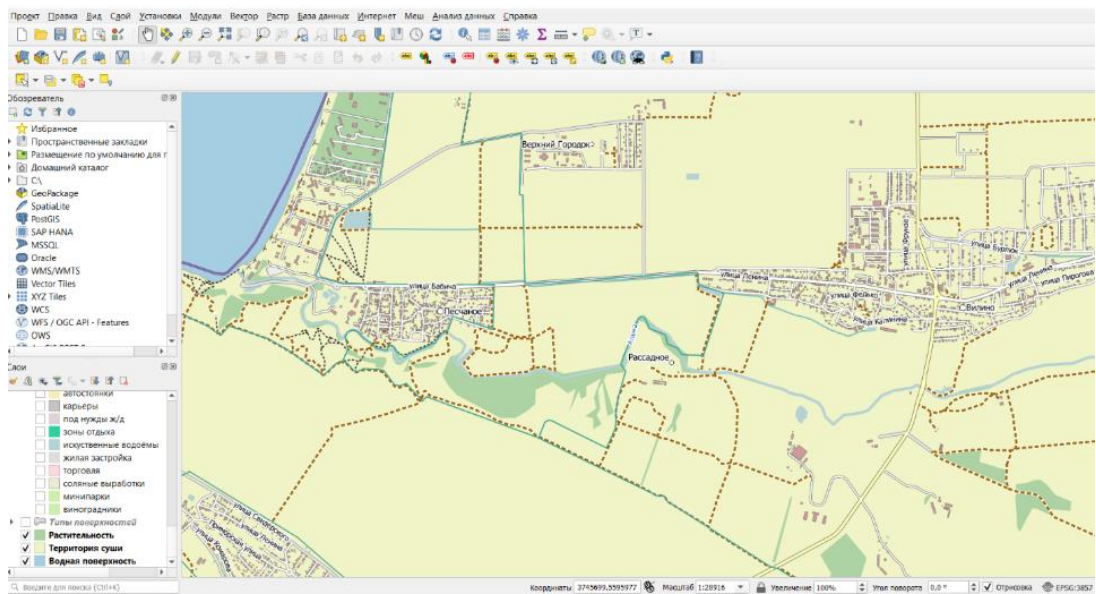


Рис. 2 Фрагмент оцифровки бассейна реки
 Fig. 2 Fragment of digitization of the river basin

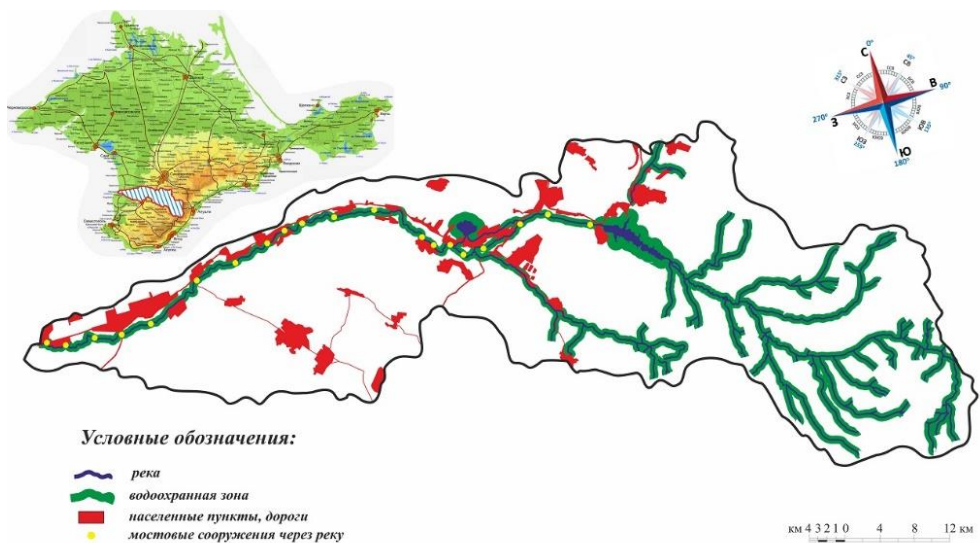


Рис. 3 Транспортная сеть бассейна р. Альма
 Fig. 3 Transport network of the Alma river basin



Рис. 4 Фрагмент водоохранной зоны р.Альма
Fig. 4 Fragment of the Alma river water protection zone

В программу «Развитие дорожного хозяйства Республики Крым» на 2019-2024 годы не закладывался осмотр, мониторинг и ремонт мостовых сооружений, при этом большинство из мостов было построено в 1950-1970 годы (рис.5), т.е. многие подходят к своему завершающему

жизненному циклу. Несовершенство систем мониторинга, позволяющих на постоянной основе контролировать состояние сооружений, является одним из факторов, приводящих к увеличению числа аварий.



Рис. 5 Неработоспособное состояние мостов через р. Альма
Fig. 5 Inoperable condition of bridges across the Alma river

Современные системы мониторинга установлены только на крупнейших федеральных мостах. В то же время разрушение железобетонных мостов на каналах и реках может нанести не меньший экономический ущерб государству из-за большого их количества. Эксплуатирующие организации должны следить за состоянием мостовых сооружений, согласно нормативным документам [4, 5] мосты обязаны проходить проверки каждые пять лет, но зачастую на них не хватает средств. В большинстве случаев причиной обрушения мостов является износ, конструктивные ошибки и несоблюдение установленных весовых ограничений [6]. Мостовые проезды подвергаются наибольшей нагрузке во время весенних паводков, а также зимних низких температур. В случае обрушения моста из-за чрезмерного износа ответственность за последствия ложится на соответствующие эксплуатационные и надзорные службы, в обязанности которых входит контроль за состоянием инженерных сооружений. Однако часто контроль за состоянием мостов отсутствует или проблемы выявляются, но мост продолжает

эксплуатироваться. В связи с вышеизложенным проблема получения своевременной, полной и объективной информации для принятия оптимальных решений по планированию и организации обследований и ремонта мостовых сооружений, расположенных вдоль русла реки, становится очень актуальной.

Нами были выполнены визуальные и инструментальные обследования мостовых проездов по руслу малой реки Альма в Бахчисарайском районе Республики Крым [7-9], для оценки их технического состояния и остаточного ресурса (табл.1).

По результатам проведенных обследований было выделено 3 наиболее часто встречающихся типа мостов, характерных для данного района:

1. железобетонные мостовые сооружения на сваях (рис. 6, 8);
2. железобетонные мостовые сооружения на массивных фундаментах (рис.9);
3. металлические мостовые сооружения (пешеходные) (рис.7).

Таблица 1. Координаты точек наблюдений и места их расположения
Table 1. Coordinates of observation points and their locations

№	Вид сооружения (view of the structure)	Координаты (coordinates)	Ближайший населенный пункт (Nearest settlement)
1	Автомобильный мост	N 44°84'50.4'' E 033°60'05.1''	с. Песчаное
2	Автомобильный мост	N 44°50'28.0'' E 033°36'23.2''	с. Песчаное
3	Автомобильный мост	N 44°50'31.0'' E 033°36'48.6''	с. Песчаное
4	Автомобильный мост	N 44°83'20.4'' E 033°63'80.2''	с. Рассадное
5	Автомобильный мост	N 44°50'17.3'' E 033°39'30.0''	пос. Вилино
6	Автомобильный мост	N 44°50'42.0'' E 033°42'01.5''	пос. Вилино
7	Автомобильный мост	N 44°51'20.1'' E 033°43'36.4''	пос. Отрадное
8	Автомобильный мост	N 44°51'39.3'' E 033°45'48.7''	пос. Шевченково
9	Автомобильный мост	N 44°51'55.5'' E 033°47'34.2''	пос. Каштаны
10	Автомобильный мост	N 44°52'04.6'' E 033°47'54.4''	пос. Брянское
11	Автомобильный мост	N 44°52'07.9'' E 033°48'33.9''	с. Дорожное
12	Автомобильный мост	N 44°52'04.9'' E 033°51'05.9''	с. Плодовое
13	Автомобильный мост	N 44°51'44.7'' E 033°53'14.9''	с. Зубакино
14	Автомобильный мост	N 44°50'23.0'' E 033°54'46.1''	с. Зубакино
15	Автомобильный мост	N 44°50'10.1'' E 033°55'32.3''	с. Почтовое
16	Железнодорожный мост	N 44°49'48.9'' E 033°55'59.3''	с. Почтовое
17	Автомобильный мост	N 44°49'46.6'' E 033°56'40.6''	с. Почтовое
18	Автомобильный мост	N 44°49'46.7'' E 033°56'40.5''	с. Новопавловка
19	Автомобильный мост	N 44°83'78.9'' E 033°99'30.3''	с. Тополи
20	Металлический мост	N 44°50'01.0'' E 034°00'51.1''	с. Малиновка
21	Автомобильный мост	N 44°49'25.3'' E 034°02'37.9''	с. Кизилово

В результате обследования были выявлены повреждения и дефекты железобетонных стен, железобетонных опор, балок моста, дорожного покрытия, ограждения. Преобладающими аварийными дефектами являются образование дефектов, нарушающих нормальную работу

конструкции, нарушение стыковых соединений. Опасными дефектами, вызывающими ухудшение эксплуатационных свойств конструктивных элементов, являются трещины, отслаивание защитного слоя бетона, коррозия бетона.



Рис. 6 Железобетонных мосты на сваях
Fig. 6 Reinforced concrete bridges on stilts



Рис. 7 Металлический мост
Fig. 7 Metal bridge



Рис. 8. Железобетонный мост без ограждений
Fig. 8. Reinforced concrete bridge without fences



Рис. 9. Мосты на массивных опорах
Fig. 9. Bridges on massive supports

При расчете остаточного срока службы длительно эксплуатируемых железобетонных мостов, были использованы методики, описанные в монографии [9]. Общая оценка ущерба строительной конструкции рассчитывалась по формуле 1:

$$\xi = \frac{a_1 \xi_1 + a_2 \xi_2 + \dots + a_i \xi_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_i} \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ - средняя величина повреждений отдельных видов конструкций, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ - коэффициенты значимости отдельных видов конструкций для мостового сооружения.

Таблица 2. Значения характеристик надежности J и поврежденности ξ от состояния конструкций (по методике [10])

Table 2. Values of reliability characteristics J and damage ξ from the condition of structures (according to the method [10])

№	Категория технического состояния	Средняя относительная надежность $J = \gamma / \gamma_0$	Поврежденность $\xi = 1 - J$
1	Исправное	1	0
2	Работоспособное	0,95	0,05
3	Ограниченно работоспособное	0,85	0,15
4	Неработоспособное	0,75	0,25
5	Аварийное	0,65	0,35

По методике В.И. Соболева [11,12] работоспособность системы строительных конструкций определяется из выражения:

$$J_c = 1 - \xi_c \quad (2)$$

где ξ_c – общий физический износ системы, который рассчитывается по формуле:

$$\xi_c = \frac{\sum_{j=1}^m \xi_{kj} \cdot Z_j}{\sum_{j=1}^m Z_j} \quad (3)$$

где ξ_{kj} – физический износ конструкций системы j-го вида; Z_j – коэффициенты влияния j-х видов конструкций на состояние других; m – общее количество видов конструкций в системе.

Физический износ конструкции системы определяется из выражения:

$$\xi_{kj} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{P_i}{P_k} \quad (4)$$

здесь ξ_i – физический износ участка конструкции; P_i – размеры (длина или площадь) поврежденного участка, измеряемая в м или m^2 ; P_k – размеры всей

конструкции так же в м или в m^2 ; n – число поврежденных участков.

Остаточный ресурс здания или сооружения определяется по формуле:

$$P = \frac{(J_c - 0,75) \cdot 100\%}{k} \quad (5)$$

где 0,75 – минимальное значение коэффициента надежности для зданий и сооружений; k – коэффициент скорости физического износа выражается в % и определяется по формуле:

$$k = k_{н.э.} + k_n \quad (6)$$

где $k_{н.э.}$ – коэффициент скорости физического износа сооружения, учитывающий условия эксплуатации; k_n – нормативный коэффициент износа, определяемый по формуле:

$$k_n = 100 / T_n \quad (7)$$

здесь T_n – нормативный срок службы здания или сооружения.

По методике [13] вычислены коэффициенты значимости для мостового сооружения с тремя пролетами. Выполненные расчеты для определения коэффициентов значимости сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Определение коэффициентов значимости для конструкций железобетонного моста
Table 3. Determination of significance coefficients for reinforced concrete bridge structures

№	Конструкция	Объем конструкции	$\frac{V_{конструкции}}{V_{моста}}$	Коэффициенты значимости
1.	Свайные опоры	5,64	0,20	1,0
2.	Плиты дорожного покрытия	13,1	0,5	0,8
3.	Асфальтобетонное дорожное покрытие	5,25	0,19	0,3
4.	Тротуар	1,31	0,04	0,11
5.	Ограждение	2,1	0,07	0,04
Итого:		27,4	1,0	

Приведем пример расчета остаточного ресурса для моста № 14 в районе с. Зубакино. Оценка остаточного ресурса железобетонных мостостроительных конструкций проводилась на основании повреждений.

Таблица 4. Категории состояния и средние величины повреждений конструкций
Table 4. Categories of condition and average values of structural damage

№ п/п	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию	Категория состояния	Средняя величина повреждений	Коэффициенты значимости α
1	Подмостовное русло	2	0,05	1,0
2	Свайные опоры моста	2	0,05	1,0
3	Железобетонные пролетные балки	3	0,15	0,8
4	Сборные железобетонные плиты	3	0,15	0,3
5	Асфальтобетонное покрытие проезжей части	2	0,05	0,11
6	Конструкции тротуара и ограждения	2	0,05	0,04

Общая оценка поврежденности моста по формуле (1):

$$\xi = \frac{0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,15 \cdot 0,8 + 0,15 \cdot 0,3 + 0,05 \cdot 0,11 + 0,05 \cdot 0,04}{1 + 1 + 0,8 + 0,3 + 0,11 + 0,04} = 0,08 \quad (8)$$

Относительная надежность моста по формуле (2):

$$J = 1 - \xi = 1 - 0,08 = 0,92 \quad (9)$$

т. е. категория технического состояния моста по значению коэффициента J ближе подходит к состоянию 2 – работоспособное состояние.

Поскольку мост был введен в эксплуатацию в 1970 году, на момент расчета срок службы моста составлял 51 год. Срок эксплуатации конструкции или сооружения до капитального ремонта в годах, то есть при $J = 0,75$, будет определяться:

$$t_{кан.рем.} = -\ln 0,75 / \lambda \approx 0,25 / \lambda \quad (10)$$

Тогда коэффициент износа, учитывающий условия эксплуатации по формуле (20) и выраженный в процентах, равен:

$$k = -(\ln J / t) \times 100\% = -(\ln 0,92 / 51) \times 100\% = 0,17\% \quad (11)$$

Нормативный коэффициент износа:

$$k_{н.} = 100 / T_{н.} = 100 / 70 = 1,43 \quad (12)$$

Коэффициент скорости физического износа:

$$k = k_{н.э.} + k_{н.} = 0,17 + 1,43 = 1,6 \quad (13)$$

Остаточный ресурс моста:

$$R = (0,92 - 0,75) \times 100 / 1,6 = 10,6 \quad (14)$$

Остаточный срок службы моста №14 по руслу реки Альма, расположенного вблизи с. Зубакино составляет 10 лет и 6 месяцев. Величина остаточного ресурса позволяет устанавливать сроки безопасной эксплуатации и выполнения планового капитального ремонта моста.

Выполненный расчет показал возможность определения оставшегося срока службы мостового сооружения по каналам и руслам рек. Предлагаемый подход к определению коэффициента значимости сооружения как отношения объема возможного обрушения моста в результате его аварии к общему объему моста позволит более точно отразить несущую способность сооружения. Следует также понимать, что число R лет, полученное в результате расчета оставшегося срока службы мостовой конструкции, не означает, что по истечении этих лет

мост разрушится. Кроме того, этот расчет не гарантирует, что мост прослужит указанное количество R лет. Разрушение моста может произойти раньше указанного срока под воздействием внешней силы или климатических факторов, или наоборот, мост может простоять в 2-3 раза дольше при отсутствии внешних силовых факторов.

По результатам авторских исследований была составлена структура для формирования баз данных городского, транспортного и водохозяйственного строительства по критериальным значениям, техническому состоянию и оценке уровня безопасности (рис.10). Модель является комплексной системой для сбора, хранения, анализа.

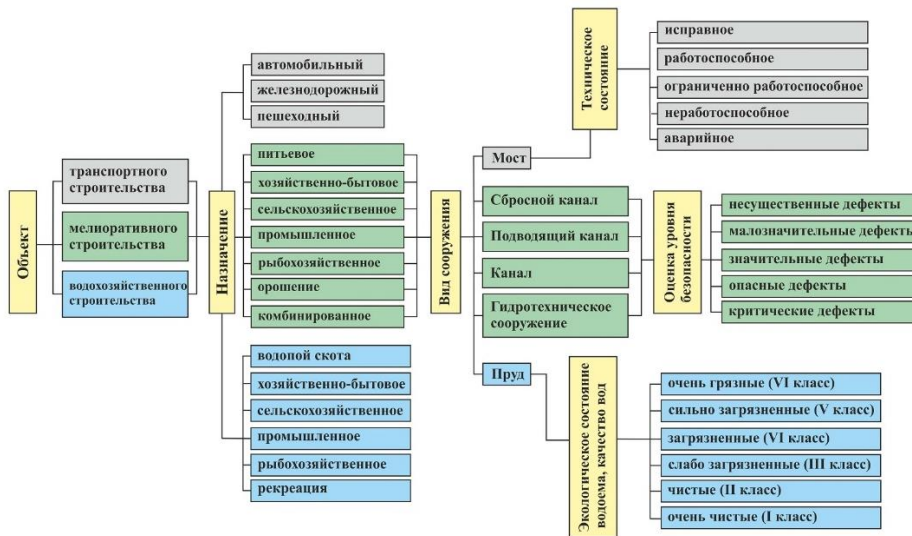


Рис.10. Структура модели многофункционального программного комплекса
 Fig.10. The structure of the model of a multifunctional software package

По составленной структуре разработана цифровая модель многофункционального программного комплекса геоинформационной системы объектов городского, транспортного и водохозяйственного строительства в бассейне реки Альма, содержащая обработанную информацию – параметры сооружения, функциональное

назначение, морфометрические признаки, геоморфологические особенности, физико-химические исследования проб воды, оценку технического состояния, рассчитанный остаточный ресурс сооружения (рис.11).

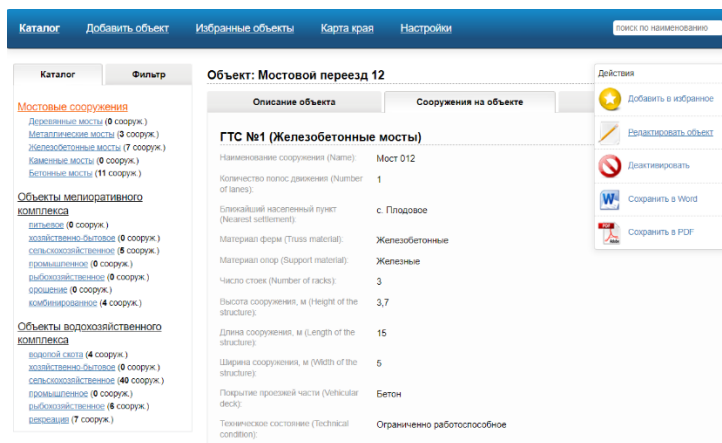


Рис. 11 Структура ГИС
 Fig. 11 GIS structure

Достоинства разработанной модели:

1. Включает в собственную базу данных сведения по обследованию технического состояния сооружений (параметры, техническое состояние, фотоматериалы, функциональное назначение, балансовая принадлежность).
2. Осуществляет удобный поиск сведений об объектах в базе данных.
3. Отображает месторасположение гидротехнического объекта с привязкой к спутниковой карте (Яндекс Карты, Google Maps, Nokia OVI);
4. Работает по архитектуре «клиент-сервер» и поддерживает кросс-браузерность (сведения из базы данных пользователь по защищенному протоколу с использованием глобальной сети передачи данных «Интернет» может получить из любой точки мира и с любого устройства (ПК, планшет, смартфон).
5. Разграничивает уровни доступа к базе данных (пользователь, редактор, администратор).
6. Позволяет добавлять объекты и редактировать сведения имеющихся и осуществлять экспорт в документы MS Word и Adobe PDF.

ВЫВОДЫ

Объекты городского и транспортного строительства в бассейне малой реки Альма эксплуатируются свыше 50 лет, техническое состояние мостовых сооружений не соответствует требованиям, при этом постоянного мониторинга не ведется.

Настоящая работа посвящена разработке цифровой модели, позволяющей прогнозировать риски в природно-технической системе бассейна (на примере малой реки Альма). В работе на основе проведенных теоретических, натурных и численных исследований решена актуальная задача по повышению экологической безопасности городской среды за счет мониторинга, оценки, ранжирования технического состояния строительных объектов и прогнозирования рисков на урбанизированной территории бассейна реки. В разработанной модели ГИС нами предложено ранжирование обследуемых сооружений согласно риск-ориентированного подхода. В целях снижения общей административной нагрузки на субъекты хозяйственной деятельности и повышения уровня эффективности контрольно-надзорной деятельности мы предлагаем схему перехода на риск-ориентированную модель контроля – от тотального контроля к дифференцированному планированию проверок в зависимости от уровня риска. Чем выше категория риска (класс опасности), тем чаще проводятся плановые проверки. Управление риском – меры, направленные на снижение уровня риска. Расчет остаточных сроков службы мостовых сооружений позволит в рамках государственной программы Республики Крым «Развитие дорожного хозяйства Республики Крым» на 2019-2024 годы правильно организовать

очередность восстановления мостов через русло рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Совета министров Республики Крым от 29.12.2018 № 680. Интернет-ресурс: <https://rk.gov.ru/ru/document/show/15268>.
2. Государственная программа Республики Крым «Развитие дорожного хозяйства Республики Крым». Интернет-ресурс: <https://minek.rk.gov.ru/ru/structure/1822>.
3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 02.07.2021) http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/.
4. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. – М.: 2011. – 346 с.
5. СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86. – М.: 2012. – 34 с.
6. Белогай, С. Г. Мониторинг технического состояния и продление жизненного цикла мостовых переходов на каналах: монография / СП Белогай, Я.В. Волосухин, М.А. Бандурин. – М: РИОР: ИНФРА-М, 2019. – 268 с.
7. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021620320 База данных объектов строительства и городского хозяйства через малую реку Альма (Республика Крым) / Т.В. Иванкова; заявитель и правообладатель Т.В. Иванкова. – 2021620320, дата регистрации 24.02.2021 г.
8. Иванкова Т.В. Обследование бассейновой геосистемы малой реки Альма (Республика Крым) Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XIX международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск 22-23 октября 2020 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2020. – С.131-136.
9. Иванкова Т.В. Оценка степени антропогенной нагрузки в бассейне малой реки Альмы Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 12. – С. 4-12.
10. Дефекты и повреждения строительных конструкций мостов на мелиоративных каналах Ростовской области / Юж.-Рос. гос. политех. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова, 2013. – 140 с.
11. Соболев В.И. Методика определения остаточного ресурса на основе разработки структурной схемы// Соболев В.И., Евтушенко С.И., Шутова М.Н., Химишев З.Х. / Изв. высш. уч. заведений. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. – 2006. – №2. – Прил.№2. – С.110-112.
12. Соболев В.И. Предварительный расчет остаточного ресурса на основе результатов оценки надежности конструкций по внешним признакам// Соболев В.И., Евтушенко С.И., Соболев В.В.,

Шутова М.Н., Химишев З.Х. / Изв. высш. уч. заведений. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. – 2006. №2. – Прил.№2. – С.113-115.

13. Крахмальня, М.П. Разработка методики оценки технического состояния, расчета остаточного ресурса и мониторинга железобетонных автодорожных мостов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.01, 05.23.11 Ростов-на-Дону 2014

REFERENCES

1. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Crimea No. 680 dated 29.12.2018. Online resource: <https://rk.gov.ru/ru/document/show/15268>.
2. The State program of the Republic of Crimea Development of the road economy of the Republic of Crimea. Online resource: <https://minek.rk.gov.ru/ru/structure/1822>.
3. Water Code of the Russian Federation of 03.06.2006 N 74-FZ (as amended on 02.07.2021) http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/.
4. SP 35.13330.2011 Bridges and pipes. Updated version of SNiP 2.05.03-84. – Moscow: 2011. – 346 p.
5. SP 79.13330.2012 Bridges and pipes. Rules of surveys and tests. Updated version of SNiP 3.06.07-86. – M.: 2012. – 34 p.
6. Belogai, S. G. Monitoring of the technical condition and prolongation of the life cycle of bridge crossings on canals: monograph / S.G. Belogai, Ya.V. Volosukhin, M.A. Bandurin – M: RIOR: INFRA-M, 2019. – 268 p.
7. Certificate of registration of the database RU 2021620320 Database of construction and municipal facilities across the small Alma River (Republic of Crimea) / T.V. Ivankova; applicant and copyright holder T.V. Ivankova. – 2021620320, registration date 24.02.2021.
8. Ivankova T.V. Survey of the basin geosystem of the small Alma River (Republic of Crimea) Information technologies in the survey of operated buildings and structures: materials of the XIX International Scientific and Technical Conference, Novochoerkassk, October 22-23, 2020 / South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov. – Novochoerkassk: Lik, 2020. – Pp. 131-136.
9. Ivankova T.V. Assessment of the degree of anthropogenic load in the basin of the small Alma river Water supply and sanitary equipment. – 2019. – № 12. – Pp. 4-12.
10. Defects and damages of building structures of bridges on meliorative canals of the Rostov region / South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov. – Novochoerkassk: NPI named after M.I. Platov, 2013. – 140 p. (In Russian)
11. Sobolev V.I. Methodology for determining the residual resource based on the development of a block diagram// Sobolev V.I., Yevtushenko S.I., Shutova M.N., Himishev Z.H. / Izv. higher educational institutions. Sev.-Kav. region. Technical sciences. – 2006. No.2. – Adj. No. 2. – Pp.110-112. (In Russian)
12. Sobolev V.I. Preliminary calculation of the residual resource based on the results of the assessment of the reliability of structures by external signs// Sobolev V.I., Yevtushenko S.I., Sobolev V.V., Shutova M.N., Himishev Z.H. / Izv. higher educational institutions. Sev.-Kav. region. Technical sciences. – 2006. No.2. – Appendix No. 2. – Pp.113-115.
13. Krahmalnaya M.P. Development of a methodology for assessing the technical condition, calculating the residual resource and monitoring reinforced concrete road bridges: dissertation. Candidate of Technical Sciences: 05.23.01, 05.23.11 – Rostov-on-Don – 2014.

ENVIRONMENTAL SAFETY ENSURING OF CONSTRUCTION PROJECTS IN BASINS OF SMALL RIVERS

T.V. Ivankova¹, L.N. Fesenko², M.A. Bandurin³

^{1,2}Platov South Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshcheniya, 132, academy-design@maul.ru

³Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
Krasnodar, Kalinina str., 13, 350044, Russia, chepura@mail.ru

Abstract. The article describes problems of construction projects (bridge crossings) in the basin of the small Alma river in the Bakhchisarai district of the Republic of Crimea. The results of multifactorial studies of bridges over the small riverbed are presented. Types of crossings structures, principal types of their defects and damages are described. The paper provides a calculation of the residual resource of bridge structures. A model of a multifunctional software complex of a geoinformation system (IPC GIS) developed by the authors is submitted, based on the collected field data structured into databases. The IPC GIS model is aimed at a risk-oriented structure for control of bridge structures along the riverbed. This product will allow you to plan inspections depending on the risk level and residual life of the structure.

Subject of research: transport construction facilities in the basin of the small Alma River, allowing to develop the basics of modeling and a method for predicting environmental safety in the river basin.

Materials and methods: the study used general scientific and geographical methods - statistical, cartographic and others, which are represented as a set of field and desktop studies. The diagnosis of anthropogenic load was carried out by decrypting detailed Google maps, SAS.Planet, Yandex.Maps and usage of GIS technologies (QGIS software package). The riverbed and valley were surveyed by walking routes. The observation points were plotted on a topographic basis. The description of the objects was accompanied by photo documentation. Structures in the basin of the Alma were examined according to the relevant operational instructions with the use of certified measuring equipment.

Results: numerous defects have been experimentally established on the bridge structures in the basin of the small Alma River. Twenty-one surveyed structures that were used as the basis for testing, 3 bridge crossings are in a non operable condition, 7 are in a limited working condition. Complete or partial destruction of urban facilities in the riverbed creates a real threat of collapse of structures and can lead to accidents with material damage and human casualties. A system has been developed to collect data on urban and transport construction sites in the basin of the small Alma River. Databases are a set of relational tables that contain information that organizes connectivity according to set parameters. The model «Multifunctional software complex «Geoinformation system of objects of urban, transport and water management construction of the basin of the small Alma River of the Republic of Crimea» has been developed, it is based on data from field studies, multifactorial inspection of structures, calculation of the residual life cycle of operated structures and forecasting their further technical conditions.

Conclusions: the research results should be considered as the basis of practical methods for a comprehensive assessment of the environmental safety of the natural and technical system of river basins. Further development of the issue may be related to scaling up studies of urbanized territories, monitoring of crisis areas and forecasting the future state of urban and transport construction facilities.

Key words: bridge structures, defects, damages, residual resource, risk-oriented approach, geoinformation system.

СПИСОК АВТОРОВ

- Бандурин М.А.** д.т.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар.
- Бездитный А.А.** Севастопольский филиал ФГБОУВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», г. Севастополь.
- Бут А.Ю.** старший преподаватель, доцент, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь.
- Галкин М.А.** аспирант, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.
- Гофман О.В.** старший преподаватель, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.
- Данченко Н.В.** магистрант, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Демина А.В.** аспирант, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.
- Енджиевская И.Г.** к.т.н., доцент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.
- Живица В.В.** старший преподаватель кафедры Градостроительства, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Иванкова Т.В.** аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет, г. Новочеркасск.
- Клиндух Н.Ю.** к.т.н., доцент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.
- Когай Э.А.** старший преподаватель, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Конопацкий Е.В.** д.т.н., доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Краматорск.
- Котовская Е.Е.** старший преподаватель, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Котовский А.Е.** обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Макарова Е.С.** к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Мороз В.В.** к.т.н., доцент, Брестский государственный технический университет, г. Брест.
- Николенко И.В.** д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Перминов Д.А.** к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Середа В.Г.** к.т.н., доцент, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь.
- Синцов А.В.** к.т.н., доцент кафедры СК, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Суворов А.И.** старший преподаватель, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Урецкий Е.А.** Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ», г. Витебск.
- Федоркин С.И.** д.т.н., профессор Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Фесенко Л.Н.** д.т.н., профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет, г. Новочеркасск.
- Шаленный В.Т.** д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Щегула Р.В.** обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Эрайзер А.А.** обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес ger_bilenko@cfuv.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу ger_bilenko@cfuv.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу ger_bilenko@cfuv.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную)

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru сканированным виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлекцией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject of research)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть**. Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.