

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 28(80) – 2023

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 утверждённый ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата наук, доктора наук

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:

Абдулгасис 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»;

Шейна 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

№ 28(80) – 2023

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 4 от 14.03.2023)

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

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

Адрес редакции: 295006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, д. 3
e-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 27.03.2023.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 10,8.
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.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

| | |
|--|---|
| Золотуха Е.В., Живица В.В. СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАФИТИ КАК ПРИЁМ ПРЕОБРАЖЕНИЯ ОБЛИКА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ | 5 |
|--|---|

Раздел 2. Строительство

| | |
|---|----|
| Алексеев В.Н., Жиленко О.Б. ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАМЕННЫХ ОПОР ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ | 13 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Журавлев П.А., Марукян А.М. УПЛОТНЕНИЕ ПЕСКА. ИСЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ПЕСКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ | 23 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Шаленный В.Т., Степанцова В.В., Халилов А.Э. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УТЕПЛЕНИЯ И ОТДЕЛКИ НАРУЖНЫХ СТЕН ИЗДЕЛИЯМИ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА И ЕЕ ОКУПАЕМОСТЬ | 29 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Духанина У.Н., Балицкий Д.А., Строкова В.В., Есина А.Ю., Кузнецова А.А. СОСТАВ ПРОПИТОЧНОГО РАСТВОРА ДЛЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КОМПОНЕНТАМИ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ | 37 |
|---|----|

Раздел 3. Инженерное обеспечение

| | |
|---|----|
| Неснов Д.В. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ В КОНИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ | 45 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Бунина Л.Н., Николенко И.В., Мовчан С.И. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ОСВЕЩЕНИИ | 53 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Арифов А.М., Бекиров Э.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСТРОЕННЫХ ВОЛОКНО- ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ | 61 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Пажвак А. К РАСЧЕТУ ФИБРОБЕТОННОГО БЛОКА В СОСТАВЕ ЛОКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ФЕРМЕННЫХ УЗЛОВ ИЗ КВАДРАТНЫХ ПОЛЫХ СЕКЦИЙ | 71 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Бекиров О.С., Воскресенская С.Н., Бекиров Э.А. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТЕОСТАНЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В КРЫМУ | 77 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Асташина М.В., Жукова М.А., Хусаинов И.Р., Светлаков Я.И. ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ | 87 |
|---|----|

| | |
|-----------------------|----|
| Список авторов | 95 |
|-----------------------|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| Руководство для авторов | 96 |
|--------------------------------|----|

CONTENT

Section 1. Town planning

Zolotuha E.V., Zhivitsa V.V.

SYNTHESIS OF ARCHITECTURE AND GRAFFITI AS A METHOD OF TRANSFORMING THE APPEARANCE OF THE URBAN ENVIRONMENT 5

Section 2. Construction

Alekseenko V.N., Zhilenko O.B.

RESTORATION OF STONE PILLARS OF HISTORICAL OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE 13

Zhuravlev P.A., Marukyan A.M.

SAND COMPACTION DURING PREPARATORY WORK IN CONSTRUCTION. CALCULATION OF SAND VOLUMES IN CONSTRUCTION. 23

Shalenny V.T., Stepanova V.V., Khalilov A.E.

IMPROVED STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF INSULATION AND FINISHING OF EXTERIOR WALLS WITH FOAM GLASS PRODUCTS AND ITS PAYBACK 29

Dukhanina U.N., Balitsky D.A., Strokova V.V., Esina A.Y., Kuznetsova A.A.

COMPOSITION OF THE IMPREGNATING SOLUTION FOR BACTERIAL BIOMINERALIZATION AND FEATURES OF ITS INTERACTION WITH CEMENT SYSTEM COMPONENTS 37

Section 3. Engineering Support

Nesnov D.V.

ELEMENTS OF FIELD THEORY IN CONIC COORDINATES 45

Bunina L.N., Nikolenko I.V., Movchan S.I.

DESIGN IMPROVEMENT AND RESEARCH WASTE WATER TREATMENT APPARATUS DURING CLARIFICATION 53

Arifov A.M., Bekirov E.A.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MEASURING TEMPERATURE IN THE LONGITUDINAL PROFILE OF A CABLE LINE USING BUILT-IN FIBER-OPTICAL LINES 61

Pazhwak A.

TO THE CALCULATION OF A FIBER CONCRETE BLOCK AS PART OF LOCALLY REINFORCED TRUSS NODES FROM SQUARE HOLLOW SECTIONS 71

Bekirov O.S., Voskresenskaya S.N., Bekirov E.A.

METHODS FOR ANALYZING THE INFORMATION CONTENT OF THE LOCATION OF WEATHER STATIONS TO ASSESS THE WIND POTENTIAL IN THE CRIMEA 77

Astashina M.V., Zhukova M.A., Khusainov I.R., Svetlakov Ya.I.

IMPORT SUBSTITUTION TECHNOLOGIES FOR PURIFICATION AND MINERALIZATION OF DRINKING WATER 87

List of authors 95

Authors Guide 96

Раздел 1. Градостроительство

УДК 72.012.6; 7.011

СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАФФИТИ КАК ПРИЁМ ПРЕОБРАЖЕНИЯ ОБЛИКА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Золотуха Е.В.¹, Живица В.В.²

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

Аннотация. Авторы изучили имеющийся актуальный практический и теоретический опыт по теме статьи, а также исследовали основной терминологический аппарат публикации. Проведён анализ некоторых типов граффити и дана характеристика основным видам. Рассмотрена специфика применения граффити и их назначение в городской застройке на примере г. Симферополь. Сформулированы проблемы применения граффити в современной городской застройке.

Предмет исследования: граффити (муралы) в городской среде.

Материалы и методы: в работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся темы исследования. В процессе подбора материалов по теме публикации и последующего анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

Результаты: Граффити могут быть вписаны в городскую застройку при соблюдении следующих условий: при грамотном выборе места расположения росписи (например, на глухом торце многоквартирного здания или сплошном заборе); подборе верного цветного решения; соответствия тематики росписи архитектурно-градостроительному окружению.

Выводы: Несмотря на то, что граффити возникло сравнительно недавно и является одним из молодых направлений искусства, оно неравномерно изучено и вызывает у зрителей неоднозначные эмоции. Синтез граффити и архитектуры придает городу свежести и привносит новизну, добавляет ярких красок, но при этом есть и негативные примеры, которые дают противоположный эффект. Можно сделать вывод, что феномену граффити следует уделить больше должного внимания и легализовать его не только в правовом поле, но и в сознании людей.

Ключевые слова: граффити, муралы, стрит-арт, типовая застройка, дизайн в городской среде, благоустройство городской среды.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство людей мечтает построить свою жизнь в пределах большого города, однако немногие задумываются о неочевидной, но имеющей большое влияние на моральное состояние человека проблеме – типовой застройке. Однотипные жилые многоквартирные дома, устаревшие морально и физически, остались на всей территории СНГ. В этой связи данное исследование вопросов синтеза искусства граффити и архитектуры как способа преобразования облика городской среды чрезвычайно актуально.

Также необходимо отметить, что существует стереотипное общественное мнение, мешающее нормальному восприятию граффити. Считается, что росписи на стенах – это обязательно акт вандализма, и эти два понятия можно отождествлять. Вандализм является уголовным преступлением и определяется законом как "осквернение зданий или иных сооружений, порча имущества на общественном транспорте или в иных общественных местах" [1]. Из этого определения следует, что преступление заключается в осмысленном оскорблении общественной нравственности. Так, вандализмом можно считать граффити в виде непристойных, оскорбляющих рисунков и надписей, однако к нему несправедливо причисляют весь стрит-арт.

Цель исследования: изучить вопрос синтеза граффити и архитектуры как приёма преобразования облика городской среды.

Задачи исследования:

- изучить практический и теоретический опыт по теме исследования;
- рассмотреть основные термины исследования;
- провести анализ основных видов граффити и дать им характеристики;
- рассмотреть специфику применения граффити и их назначение в городской застройке на примере г. Симферополь;
- сформулировать проблемы применения граффити в современной городской застройке.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В ходе подготовки данной статьи был рассмотрен ряд публикаций так или иначе связанных с темой граффити в современном обществе.

В книге «Искусство и город. Граффити, уличное искусство, активизм» освещаются основные тенденции развития уличного искусства с XX века до настоящего момента и подробно рассмотрено уличное искусство в России [2]. В книге «Искусство граффити» Медведевой О.П. феномен граффити рассматривается с нестандартной точки зрения – как создание композиций на различных поверхностях в любой момент истории [3]. В книге «Неискусство

как искусство» Манина В.С. поднимается проблема адаптации современного искусства под рамки рыночных стандартов, которые убивают в нем всю сущность граффити, как проводника мыслей авторов и оратора актуальных для общества проблем [4]. В статье «Граффити в дизайне современного города» Мальцевой Е.А. и Пирирайнена В.Ю. граффити рассматривается как инструмент для создания прекрасного и светлого мира, наполненный композиционным и эмоциональным смыслом [5]. В статье «Граффити глазами студентов» Стрениевой Н.В. опубликованы результаты опроса студентов Оренбургского государственного университета в рамках исследования композиционно-графических и пунктуационных особенностей граффити [6].

Отрицательно к стрит-арту относится Багина Е.Г. По её мнению: «Граффити на стенах домов – признак болезни общества, порождающей безразличие к архитектуре. Толерантное отношение к граффити приводит к деградации городской среды. Попытки «приручить» райтеров малоэффективны» [7].

Также можно выделить авторов, рассматривающих в своих теоретических трудах вопросы легитимности граффити в современном городе и проблемы, связанные с легализацией стрит-арта в российском законодательстве: Фокеева Е.И., Романова К.Е., Боровкова А.А., Абрамовская Е.Н., Комплектова Г.И., Комплектов А.И. [8], Парусова Е.М., Черкасова А.Д. [9], Сафонов И.Е., Шапиро Е.В., Лукина Е.М., Щепкина С.А. [10], Шубина М.М., Горбаткова А.Ф. [11], Яненко О.К. [12].

Психосоциальные особенности феномена граффити рассмотрены в работах следующих авторов: Белкин А.И. [13], Белкин А.М. [14], Грибенщиков К.В. [15], Нелидкин А.М., Гусева Я.В. [16], Порозов Р.Ю., Ключова П.С. [17], Кузовенкова Ю.А. [18], Бестужева С. [19], Григорьев А.В., Сызранова Д.С. [20].

Таким образом, на основании изученных теоретических трудов по теме исследования, можно сделать вывод, что вопрос граффити в современном обществе чрезвычайно сложен. Приверженцы и противники данного вида стрит-арта формируют два противоборствующих лагеря, приводя научные аргументы в пользу своих теорий. Большое внимание уделяется правовым и психосоциальным аспектам данного вида искусства. Однако, несмотря на огромное количество исследований и специалистов, изучающих вопросы граффити, мы приходим к выводу, что отношение к стрит-арту весьма субъективно. А следовательно необходимо дальнейшее изучение данной темы с целью разработки методики выявления соответствия граффити городскому окружению, алгоритма, по которому можно установить целесообразность размещения граффити заданных параметров в определённой городской застройке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся темы исследования. В процессе подбора материалов по теме публикации и последующего анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Граффити и стрит-арт являются разными понятиями, но на сегодняшний день они стали взаимозаменяемыми. Строго говоря, граффити и стрит-арт – это разные вещи, поскольку стрит-арт является производной от граффити, но в настоящее время рамки между этими понятиями настолько стерлись, что их можно заменять друг другом как синонимами. Это связано с тем, что граффити можно рассматривать в узком и широком смысле. В узком смысле «графффити» представляет собой надписи, называемые тегами. Они возникли в Нью-Йорке 1960-1970-х гг. во время активного создания и развития криминальных группировок, которые сформировались в процессе переселения населения из городов в социальные районы, ставшие в итоге окраинными гетто. С помощью надписей на стенах такие группировки маркировали «принадлежащие» им районы. Позднее, эти люди перекочевали в город, где исключительно с целью протеста и проявления бунтарства стали закрашивать стены в метро, поездные составы, стены зданий [4]. Таким образом они насмехались над полицией, будто говоря «Вы нас не видите, но мы здесь». Позднее граффити решили легализовать, чтобы у райтеров пропал азарт, но это решение дало обратный эффект. Райтеры стали закрашивать фасады однотипных застроек и заброшенных зданий, добавляя красок в шумный серый мегаполис [5]. Таким образом стал зарождаться стрит-арт, который можно назвать граффити в широком смысле.

Можно выделить огромное количество видов граффити [2]. В настоящей статье будут рассмотрены те из них, которые могут иметь значение для архитектурной среды – являться визуальными якорями, акцентами и символами в городской застройке.

Говоря о граффити в широком смысле, следует выделить следующие виды:

- граффити в узком смысле, т.е. теги, надписи, слова, цитаты и т.п.;
- мурал (от испанского *muro* – «стена») – это крупное изображение, нанесенное на всю стену, предназначенное для декорирования;
- постеры: по значению схожи с муралом, но гораздо меньшего размера.
- Clean Advertising – это сравнительно новое направление. Данные изображения могут быть значительного размера (например, занимать фасад многоэтажного здания) и выполняются

исключительно коммерческую функцию – зачастую это один из видов рекламы каких-либо товаров или услуг [7].

В свою очередь, каждый из этих видов граффити имеет свои собственные характеристики. Среди них можно выделить общие для всех параметры, такие как эстетичность, назначение, уместность и материалы.

Эстетичность обусловлена правильным техническим исполнением. Хотя граффити и доступно практически каждому человеку, оно требует особого умения для того, чтобы создать приятное глазу изображение. Одни райтеры создают уникальные граффити в своем собственном стиле,

другие же делают копии работ известных художников для того, чтобы спрятать строения, портящие общий вид города. Например, с помощью граффити, копирующего картину И.К. Айвазовского, художники украсили электрощитовую в г. Симферополе (рис. 1). Это решение добавило яркий цветовой акцент в окружающую застройку, а также скрыло необходимые, но портящие внешний вид сооружения пристройки и провода. Такой объект привлекает внимание прохожих и может стать местной достопримечательностью, ориентиром в городской среде.



Рис.1. Граффити в виде картины И.К. Айвазовского «Корабль среди бурного моря» в г. Симферополь (фотография из открытых источников)

Fig. 1. Graffiti in the form of Aivazovsky's painting "Ship among the stormy sea" in Simferopol (photo from open sources)

Под назначением подразумевается функция, для которой создано граффити. Чаще всего настенные росписи тем или иным образом связаны с историей – выполняют функцию сохранения памяти (рис. 2), с рекламой – выполняют функцию привлечения внимания (рис. 3), могут выполнять воспитательную и патриотическую функции (рис. 4-6), а также использоваться в качестве декорации без каких-либо других контекстов.

Например, граффити на стене, возле которой осуществлялись съёмки фильма режиссера Л.И. Гайдая «Кавказская пленница, или новые

приключения Шурика» с изображением главных героев картины, предназначено для сохранения исторической памяти. Подобный мурал, сопровождающийся пояснительными информационными надписями может также нести просветительскую и патриотическую функции. Данное граффити расположено в городской среде на уровне человеческого роста, что способствует лёгкому визуальному восприятию пешеходами. Размещение росписи на заборе позволило визуально обогатить фронт улицы, сделало рассматриваемый участок интересным и запоминающимся.



Рис. 2. Мурал на стене, напротив которой был снят кадр из фильма «Кавказская пленница», г. Симферополь (фотография из открытых источников).

Fig. 2. Mural on the wall opposite which a frame from the film "The Caucasian captive" was shot, Simferopol (photo from open sources).

Следующий пример – граффити на фасадах парикмахерской «Oldboy» в г. Симферополь ул. Дзюбанова, 2а. (Рис.3). Функция этого мурала – реклама услуг. Основная цель, заключающаяся в привлечении внимания потенциальных посетителей и создании уникального запоминающегося образа заведения, реализуется весьма успешно. Также

подобная роспись добавляет разнообразия в одно-двухэтажную застройку улицы. Целесообразность и уместность этого граффити можно было бы оспорить, если бы окружающая застройка была выполнена в едином архитектурном стиле, не сочетающемся с фасадной росписью.



Рис. 3. Фасад парикмахерской для мужчин в г. Симферополь (фотография из открытых источников).

Fig. 3. The facade of a barber shop for men in Simferopol (photo from open sources).

Также в г. Симферополь, как и в других российских городах, есть патриотические граффити. Основное назначение таких муралов –

сохранение памяти о событиях Великой Отечественной войны 1941-1945 года.



Рис. 4. Мурал на стене Крымского республиканского клинического госпиталя ветеранов войн, созданный в рамках Всероссийского конкурса граффити. Приурочен к празднованию 75-й годовщины Победы. Посвящён Крымской наступательной операции. Адрес: Республика Крым, г. Симферополь, ул. Гайдара 3-Б. (фотография из открытых источников).

Fig. 4. Mural on the wall of the Crimean Republican Clinical Hospital of War Veterans, created as part of the All-Russian graffiti contest. It is timed to celebrate the 75th anniversary of the Victory. Dedicated to the Crimean offensive operation. Address: Republic of Crimea, Simferopol, Gaidar str. 3-B. (photo from open sources).

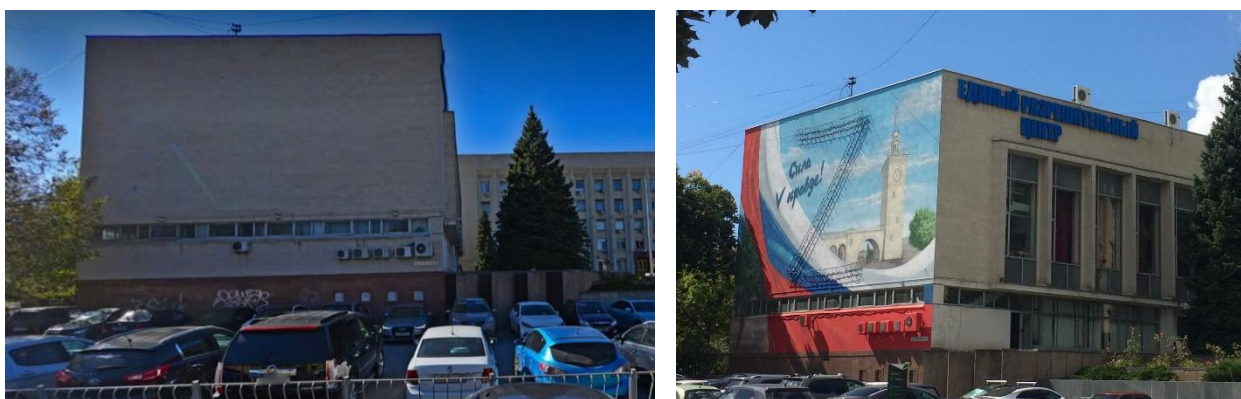


Рис. 5. Состояние здания до оформления фасада граффити (слева) и после оформления фасада граффити (справа). Адрес: г. Симферополь, ул. Толстого, 15.

Fig. 5. The condition of the building before the graffiti facade design (left) and after the graffiti facade design (right). Address: Simferopol, Tolstogo str., 15.



Рис. 6. Граффити на здании по адресу Республика Крым г. Симферополь, ул. Киевская 125А.
Fig. 6. Graffiti of Nazania at the address Republic of Crimea, Simferopol, 125A Kievskaya str.

Ещё одной важной характеристикой граффити является соответствие темы и цветопалитры параметрам росписи месту её нанесения. Расположение мурала должно быть обосновано, иначе он будет выглядеть инородно в окружающей городской среде и вместо передачи заложенного смысла вызывать у зрителя недоумение.

Существует несколько основных проблем внедрения граффити в городскую среду. Первая и основная проблема – отношение людей к граффити. Так, в социологическом исследовании Оренбургского государственного университета на тему граффити в современном обществе можно увидеть некоторые противоречия. На вопрос об

отношении респондентов к граффити большинство ответило «нейтрально», но при этом около 80% говорят о том, что им интересно разглядывать стрит-арт, а 5% сами участвуют в создании таких объектов. Также интересен тот факт, что около половины опрошенных считает, что граффити чаще всего являются вандализмом, но при этом 90% однозначно называют граффити искусством [6].

Вторая проблема берет начало из первой – нет однозначно сформулированного закона, который касался бы граффити. Проблема заключается в том, что многие муралы тяжело согласовать, а несогласованные изображения зачастую уничтожают. Несмотря на то, что у автора росписи

не было намерений осквернить здание, райтеров привлекают к уголовной ответственности.

Третья проблема – несоответствие граффити архитектурно-градостроительному окружению. К основным её характеристикам можно отнести:

- неверный выбор места расположения граффити (например, в окружении зданий классической архитектуры или вблизи архитектурных памятников, объектов культурного наследия);

- подбор не вписывающегося в архитектурно-градостроительное окружение цветочелористического решения;

- выбор темы, не соответствующей городскому окружению.

Выше означенные проблемы можно решить путем уточнения законов об авторском праве и вандализме, поскольку в отношении граффити эти законы противоречат друг другу. А также пересмотром отношения властей к граффити как к простому, эффектному и недорогому средству улучшения облика городской среды.

Также необходимо отметить, что в последнее время всё чаще граффити создаются не по инициативе авторов, но по заказу администрации городов и государства. Всё чаще в последнее время проводятся мероприятия государственного и международного уровня, предоставляющие райтерам площадки для творчества: фестиваль «Таврида.АРТ» (Республика Крым), международный фестиваль уличного искусства «Культурный код» президентской платформы «Россия – страна возможностей» (Казань, Нижний Новгород, Челябинск и пгт. Солнечнодольск) и пр. (режим доступа:

<https://www.medialta.ru/news/article/v-krymu-sozdali-samoe-bolyshoe-graffiti-na-yuge-rossii>). Как правило, такие проекты направлены на популяризацию современного искусства, поддержку талантов и развитие городской среды. Для муралов выделяются большие площади в городских общественных пространствах, и все граффити, выполняемые в рамках подобных мероприятий, являются патриотическими: воспитывают уважение и любовь к Родине.

В Крыму действуют несколько успешных фирм, предоставляющих услуги росписи стен: krymgraf (<https://vk.com/krymgraf>), DISLAV (<https://vk.com/shadeart>), художники арт-кластера "Таврида" (https://vk.com/tavrida_art) и др. Именно этим творческим коллективам принадлежат работы, приведённые в настоящей статье.

ВЫВОДЫ

Несмотря на то, что граффити возникло сравнительно недавно и является одним из молодых направлений искусства, оно неравномерно изучено и вызывает у зрителей неоднозначные эмоции. Этот вид искусства наглядно показывает, что синтез граффити и архитектуры придает городу свежести и привносит новизну, добавляет ярких красок, но при этом есть и негативные примеры, которые дают

противоположный эффект. Можно сделать вывод, что феномену граффити следует уделить больше внимания и легализовать его не только в правовом поле, но и работать над принятием этого вида искусства в сознании людей.

Стрит-арт может быть вписан в городскую застройку только при грамотном выборе места расположения росписи (например, на глухом торце многоквартирного здания или сплошном заборе), подборе верного цветочелористического решения и соответствия его тематики архитектурно-градостроительному окружению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 14.07.2022, с изм. от 18.07.2022) // Собрание законодательства РФ. – 17.06.1996. – № 25. – ст. 1.
2. Поносов, И. Искусство и город. Граффити, уличное искусство, активизм / И. Поносов. – Тверь: ИПК Парето Принт, 2016. – 208с.
3. Медведева, О.П. Искусство граффити / О.П. Медведева – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 77 с.
4. Манин, В.С. Неискусство как искусство [Текст] / В.С. Манин – СПб.: Аврора, 2006. – 272 с.
5. Мальцева, Е.А. Граффити в дизайне современного города / Е.А. Мальцева, В.Ю. Пириайнен // Дизайн, материалы, технология. – 2019. - №3(55). – С. 26-29.
6. Стренева, Н.В. Граффити глазами студентов (результаты анкетирования) / Н.В. Стренева // Альманах современной науки и образования. – 2012. – №2 (9): в 3-х ч. Ч III. – С. 206-208.
7. Багина, Е. Граффити и архитектура [Текст] / Багина Е. // Проект Байкал. 2018. Т. 15. № 56. – С. 100-101.
8. Фокеева, Е.И. Площадки для стрит-арта и граффити как средство привлечения креативной молодежи [Текст] / Фокеева Е.И., Романова К.Е., Боровкова А.А., Абрамовская Е.Н., Комплектова Г.И., Комплектов А.И. // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2022. № 6. – С. 242-246.
9. Парусова, Е.М. Проблема легализации граффити в петербурге: государство против искусства / Парусова Е.М., Черкасова А.Д. Вестник Белого генерала. 2021. № 7. – С. 31-42.
10. Сафонов, И.Е. Граффити для города или город для граффити? Легитимность нелегальных граффити в историческом центре Санкт-Петербурга / Сафонов И.Е., Шапиро Е.В., Лукина Е.М., Щепкина С.А. Galactica Media: Journal of Media Studies. 2022. Т. 4. № 3. – С. 100-122.
11. Шубина, М.М. Граффити: способ коммуникации или вид современного искусства / Шубина М.М., Горбаткова А.Ф. // Символ науки: международный научный журнал. 2017. Т. 3. № 4. – С. 195.
12. Яненко, О.К. Актуальные вопросы российского гражданского законодательства охраны прав на граффити как произведений

изобразительного искусства / Яненко О.К. // Право и политика. 2015. № 1. – С. 25-30.

13. Белкин, А.И. Исследование граффити в психологии и интенциональность сознания авторов граффити / Белкин А.И. // Креативная экономика и социальные инновации. 2012. Т. 2. № 1 (2). – С. 36-54.

14. Белкин, А.М. Социальная перцепция граффити и оценка неинституциональной изобразительной деятельности авторов граффити / Белкин А.М. Вестник Самарского государственного университета. 2011. № 7 (88). – С. 166-172.

15. Грибенщиков, К.В. Мотивы молодых людей, пытающихся выразить своё творческое начало через граффити / Грибенщиков К.В. // Аллея науки. 2017. Т. 2. №-9. – С. 368-371.

16. Нелидкин, А.М. Граффити как молодежная субкультура (от вандализма до стрит-арта) / Нелидкин А.М., Гусева Я.В. // В сборнике: Направления и формы гуманитаризации высшего образования. Межвузовский сборник научных трудов. Под редакцией Сергея Владимировича Демидова. Рязань, 2015. – С. 152-159.

17. Порозов, Р.Ю. Молодежь как субъект вандальной активности в субкультуре граффити / Порозов Р.Ю., Ключова П.С. // Политическая лингвистика. 2020. № 6 (84). – С. 150-155.

18. Кузовенкова, Ю.А. Между искусством и вандализмом: дискурсивная представленность граффити и стрит-арта / Кузовенкова Ю.А. // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2021. № 4. – С. 592-603.

19. Граффити - хулиганство или панацея? / Бестужева С. // Народное образование. 2008. № 2 (1375). – С. 248-252.

20. Григорьев, А.В. Граффити и стрит-арт как социальные практики в современном городском пространстве / Григорьев А.В., Сызранова Д.С. В сборнике: Прикладные социологические исследования астраханского региона. Астрахань, 2020. – С. 93-100.

21. Srossarea.ru. Vidy i stili graffiti [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <https://crossarea.ru/graffiti/vidy-i-stili-graffiti/> (data obrashcheniya 10.11.2022).

REFERENCES

1. Ugolovnyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 13.06.1996 № 63-FZ (red. ot 14.07.2022, s izm. ot 18.07.2022) // Sobranie zakonodatel'stva RF. – 17.06.1996. – № 25. – st. 1.

2. Ponosov, I. Iskusstvo i gorod. Graffiti, ulichnoe iskusstvo, aktivizm / I. Ponosov. – Tver'. IPK Pareto Print, 2016. – 208 p.

3. Medvedeva, O.P. Iskusstvo graffiti / O.P. Medvedeva – Rostov-na-Donu: Feniks, 2008. – 77 s.

4. Manin, V.S. Neiskusstvo kak iskusstvo / V.S. Manin – Spb.: Avror, 2006. – 272 p.

5. Mal'ceva, E.A. Graffiti v dizajne sovremennogo goroda / E.A. Mal'ceva, V.YU. Piirajnen // Dizajn, materialy, tekhnologiya. – 2019. - №3(55). – Pp. 26-29.

6. Strenева, N.V. Graffiti glazami studentov (rezul'taty anketirovaniya) / N.V. Strenева // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya. – 2012. – №2 (9): v 3-h ch. CH III. – Pp. 206-208.

7. Bagina, E. Graffiti i arhitektura [Tekst] / Bagina E. // Proekt Bajkal. 2018. Т. 15. № 56. – Pp. 100-101.

8. Fokeeva, E.I. Ploshchadki dlya strit-arta i graffiti kak sredstvo privlecheniya kreativnoj molodezhi / Fokeeva E.I., Romanova K.E., Borovkova A.A., Abramovskaya E.N., Komplektova G.I., Komplektov A.I. // Arhitektura i dizajn: istoriya, teoriya, innovacii. 2022. № 6. – Pp. 242-246.

9. Parusova, E.M. Problema legalizacii graffiti v peterburge: gosudarstvo protiv iskusstva / Parusova E.M., SHERKASOVA A.D. Vestnik Belogo generala. 2021. № 7. – Pp. 31-42.

10. Safonov, I.E. Graffiti dlya goroda ili gorod dlya graffiti? Legitimnost' nelegal'nyh graffiti v istoricheskom centre Sankt-Peterburga / Safonov I.E., SHapiro E.V., Lukina E.M., SHCHepkina S.A. Galactica Media: Journal of Media Studies. 2022. Т. 4. № 3. – Pp. 100-122.

11. SHubina, M.M. Graffiti: sposob kommunikacii ili vid sovremennogo iskusstva / Shubina M.M., Gorbatkova A.F. // Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2017. Т. 3. № 4. – Pp. 195.

12. YAnenko, O.K. Aktual'nye voprosy rossijskogo grazhdanskogo zakonodatel'stva ohrany prav na graffiti kak proizvedenij izobrazitel'nogo iskusstva / YAnenko O.K. // Pravo i politika. 2015. № 1. – Pp. 25-30.

13. Belkin, A.I. Issledovanie graffiti v psihologii i intencional'nost' soznaniya avtorov graffiti / Belkin A.I. // Kreativnaya ekonomika i social'nye innovacii. 2012. Т. 2. № 1 (2). – Pp. 36-54.

14. Belkin, A.M. Social'naya percepciya graffiti i ocenka neinstitutional'noj izobrazitel'noj deyatel'nosti avtorov graffiti / Belkin A.M. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 7 (88). – Pp. 166-172.

15. Gribenshchikov, K.V. Motivy molodyh lyudej, pytayushchihsvya vyrazit' svoyo tvorcheskoe nachalo cherez graffiti / Gribenshchikov K.V. // Alleya nauki. 2017. Т. 2. №-9. – Pp. 368-371.

16. Nelidkin, A.M. Graffiti kak molodezhnaya subkul'tura (ot vandalizma do strit-arta) / Nelidkin A.M., Guseva YA.V. // V sbornike: Napravleniya i formy gumanitarizacii vysshego obrazovaniya. Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Pod redakciej Sergeya Vladimirovicha Demidova. Ryazan', 2015. – Pp. 152-159.

17. Porozov, R.YU. Molodezh' kak sub'ekt vandal'noj aktivnosti v subkul'ture graffiti / Porozov R.YU., Klyusova P.S. // Politicheskaya lingvistika. 2020. № 6 (84). – Pp. 150-155.

18. Kuzovenkova, YU.A. Mezhdru iskusstvom i vandalizmom: diskursivnaya predstavlenost' graffiti i strit-arta / Kuzovenkova YU.A. // Vestnik Permskogo universiteta. Filosofiya. Psihologiya. Sociologiya. 2021. № 4. – Pp. 592-603.

19. Graffiti - huliganstvo ili panaceya? / Bestuzheva S. // Narodnoe obrazovanie. 2008. № 2 (1375). – Pp. 248-252.

20. Grigor'ev, A.V. Graffiti i strit-art kak social'nye praktiki v sovremennom gorodskom prostranstve / Grigor'ev A.V., Syzranova D.S. V sbornike: Prikladnye sociologicheskie issledovaniya astrahanskogo regiona. Astrahan', 2020. – Pp. 93-100.

21. Srossarea.ru. Vidy i stili graffiti [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <https://crossarea.ru/graffiti/vidy-i-stili-graffiti/> (data obrashcheniya 10.11.2022).

SYNTHESIS OF ARCHITECTURE AND GRAFFITI AS A METHOD OF TRANSFORMING THE APPEARANCE OF THE URBAN ENVIRONMENT

Zolotuha E.V., Zhivitsa V.V.

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

Abstract. The authors studied the available actual practical and theoretical experience on the topic of the article, and also investigated the main terminological apparatus of the publication. An analysis of some types of graffiti was carried out and a description of the main types was given. The specifics of the use of graffiti and their purpose in urban development are considered on the example of the city of Simferopol. The problems of using graffiti in modern urban development are formulated.

Subject of research: graffiti (murals) in the urban environment.

Materials and methods: the paper analyzes the theoretical and practical materials related to the research topic. In the process of selecting materials on the topic of publication and subsequent analysis of the results obtained, the following methods were applied: deduction, theoretical analysis and synthesis, the analogy method.

Results: Graffiti can be inscribed in urban development under the following conditions: with a competent choice of the location of the mural (for example, on the blind end of an apartment building or a solid fence); choosing the right color solution; matching the theme of the painting to the architectural and urban environment.

Conclusions: Despite the fact that graffiti appeared relatively recently and is one of the young areas of art, it is unevenly studied and evokes ambiguous emotions in the audience. This type of art clearly shows that the synthesis of graffiti and architecture gives the city freshness and novelty, adds bright colors, but there are also negative examples that give the opposite effect. In the course of this study, we can conclude that the phenomenon of graffiti should be given more due attention and legalized not only in the legal field, but also in the minds of people. If this allows the development of graffiti, then it will help develop the city.

Key words: graffiti, murals, street art, typical building, design in the urban environment, improvement of the urban environment.

Раздел 2. Строительство

УДК 624.159.2

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАМЕННЫХ ОПОР ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Алексеев В.Н., Жиленко О.Б.

Институт «Академия строительства и архитектуры»
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181
e-mail: avn108@mail.ru; o.b.zhilenko@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность эксплуатации исторических объектов транспортной инфраструктуры с допустимым уровнем безопасности. Основными задачами являются: осуществление конструктивных решений реставрации, позволяющих скрыть элементы усиления, сохранить аутентичность исторических объектов транспортной инфраструктуры.

Предмет исследования: скрытое усиление каменных опор исторических объектов транспортной инфраструктуры.

Материалы и методы анализ литературных источников. Физический эксперимент скрытого усиления каменных опор исторических объектов транспортной инфраструктуры.

Результаты: разработан метод усиления каменных опор исторических объектов транспортной инфраструктуры путем устройства вклеиваемых анкеров.

Выводы: разработаны предложения по расчету и проектированию скрытого усиления каменных опор исторических объектов транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: объект транспортной инфраструктуры, физический эксперимент, расчет.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственные сооружения во все времена являлись важной составляющей транспортной инфраструктуры. Большинство старинных и древних мостов возведены из природных каменных материалов местных месторождений. Эти сооружения, обладали в прошлые века функциями не только военно-фортификационного назначения, но и обеспечения жизнедеятельности населения, развития территорий.

Сегодняшний день наделяет такие сооружения особым смыслом – сохранение исторической аутентичности объектов военно-инженерного

искусства прошлого обеспечивает незримую связь поколений [1].

Проблема эксплуатации мостовых сооружений автомобильных дорог и поддержания их в состоянии допустимых рисков по надежности представляет сложную многофакторную задачу, особенно в сейсмоопасных районах [2]. Для таких сооружений прошлых веков сохранение аутентичности является, в определенных ситуациях, приоритетной целью, что накладывает ограничения на арсенал технических решений по их усилению традиционными способами устройства железобетонных рубашек или подведения дополнительных опор.



Рис. 1. Древнеримский мост через р. Оронт. Провинция Хама Сирийской Арабской Республики. Возведение сооружения датируется 105-200 г.г. нашей эры. Кладка 10 арок. Повреждения, связанные с нарушениями консолидации каменных кладок.

Fig. 1. Ancient Roman bridge across the river Orontes. Hama province of the Syrian Arab Republic. The erection of the structure dates back to 105-200 AD. Masonry 10 arches. Damage associated with violations of the consolidation of masonry



Рис.2. Укрепленный мост, ведущий к цитадели Алеппо. Возведение сооружения датируется 944-957 г.г. нашей эры. Провинция Алеппо Сирийская Арабская Республика. Кладка 7-гранных арок. Повреждения связаны с утратами каменных фрагментов и локальными нарушениями консолидации кладки.

Fig. 2. Fortified bridge is leading to the citadel of Aleppo. The erection of the structure dates back to 944-957 AD. Aleppo province of the Syrian Arab Republic. Masonry of 7-sided arches. Damage is associated with the loss of stone fragments and local disturbances in the consolidation of the masonry.

Сохранение таких сооружений требует индивидуального подхода и разработки нетрадиционных решений по усилению [3, 44-46]. Необходимость усиления каменных опор искусственных сооружений возникает при механических повреждениях кладки, наличии трещин, признаков деформаций. Как правило, необходима консолидация кладки опор из крупных блоков природного камня известняка или песчаника (Рис.1,2).

Авторами разработан метод усиления каменных опор объектов транспортной инфраструктуры путем устройства вклеиваемых анкеров [40-43].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Работа стальных анкеров, закрепленных в бетонном основании, воспринимающих усилия растяжения и сдвига от статических нагрузок, в том числе при их совместном действии, достаточно хорошо изучена [4-19]. Ведущие мировые производители анкерных креплений Hilti, Fisher, Spit и др. [20-22], предлагают методики расчета и прогнозирования длительной несущей способности анкеров, закрепленных в бетонном основании. В рекомендациях по проектированию и монтажу анкерных креплений навесных фасадных систем, разработанных В.Н. Воробьевым [23], достаточно полно изложены варианты креплений фасадных систем, однако, рассмотренные типы анкерного крепления не содержат информации о работе клевого стального анкера в элементах из природного известняка. Испытания анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях при определении прочности их заложения в бетон при кратковременных, длительных и динамических

нагрузках, проведенные Г.А. Молодченко, В.А. Скляровым, Л.Н. Шутенко, М.С. Золотовым и др. [24-31] выявили возможность их использования для крепления строительных конструкций и оборудования при действии на них различных сочетаний нагрузок. При этом применение вышеприведенных известных методик для расчета и конструирования анкерных креплений на клеевой основе в элементах каменной кладки из природного известняка, является некорректным. Для обеспечения надежности анкерных креплений необходим учет совместной работы клеевой оболочки анкера и основания из природного каменного материала [32-37]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика натуральных испытаний и правила определения несущей способности анкеров по отношению к продольным осевым вытягивающим нагрузкам применительно к реальному строительному основанию излагаются в СТО 44416204-010-2010 «Крепления анкерные. Метод определения несущей способности по результатам натуральных испытаний» [38].

Сущность данного метода состоит в том, что проводимыми испытаниями анкерных креплений на вытягивающую нагрузку, прикладываемую к анкеру вдоль его оси, определяют сопротивление крепления нагрузке и деформации, соответствующие характерным для него предельным состояниям, а затем обработкой результатов испытаний вычисляют несущую способность анкеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Авторами проведены натурные физические эксперименты. Определена прочность клевого соединения, при установке анкеров в основание из камней природного известняка. Общие методы экспериментальных и теоретических исследований: анализ, синтез, дедукция, индукция, аналогия.

На основании анализа и обработки полученных результатов определены следующие прочностные характеристики:

Физико-механические свойства камня природного известняка, используемого при изготовлении опытных образцов, определены испытанием каменного элемента 120x100 мм; h=150 мм; объемный вес 1944 кг/м³. Испытание проведено в соответствии с актуализированной редакцией ГОСТ 8.136-74 на прессе гидравлическом П-125.

На основании анализа и обработки полученных результатов определены прочностные характеристики камня природного известняка (таблица 1).

Таблица 1. Физико-механические свойства камня природного известняка.

Table 1. Physical and mechanical properties of natural limestone stone

| Геометрические характеристики: $a \times b \times h, м$ | Масса: $m, кН$ | Объемный вес: $\rho, кг/м^3$ | Разрушающая нагрузка: $F, кН$ | Предел прочности на сжатие: $\sigma_{сж}, МПа$ | Марка камня |
|--|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0,12×0,10×0,15 | 0,035 | 1944 | 88,26 | 6,8 | М 50 |

Физико-механические свойства арматуры класса А 500С, используемой при изготовлении опытных образцов, определены испытанием стержней длиной 350 мм. Испытание проведено в соответствии с актуализированной редакцией ГОСТ 1497-84 на разрывной машине МР-500.

На основании анализа и обработки полученных результатов определены следующие прочностные и деформативные характеристики арматуры: физический предел текучести σ_y , временное сопротивление σ_u , модуль упругости E_s , предельные относительные деформации ϵ_{ux} , соответствующие классу А 500С.

Применена клеевая смесь для анкеровки и крепления стальных элементов в бетоне.

Испытание образцов проводилось после набора прочности растворной смеси через 28 суток.

Для решения поставленных задач, в экспериментальной части исследованы клеевые соединения арматуры класса А 500С при выдергивании из каменного основания. Разрушением определены несущая способность и деформативность клеевых соединений стальных анкеров в каменных элементах из природного известняка. Глубина анкеровки арматурного стержня, для получения объективных результатов, принималась различной исходя из технологических соображений закрепления опор мостовых переходов на автомобильных дорогах.

Был запланирован объем эксперимента, позволяющий получить количество опытных данных, необходимых для статистического анализа и обработки результатов, обеспечивающих решение задач, поставленных в настоящем исследовании.

Испытательная установка представляет собой разрывную машину Р-20, в которую устанавливается опытный образец в инвентарной металлической обойме. На образец устанавливаются индикаторы часового типа МИГ-1 для измерения деформаций сдвига анкера

относительно внешней перпендикулярной ему поверхности каменного основания.

Для назначения нагрузки при испытании клевого соединения была построена численная модель в ПК «ЛИРА» и определены усилия, действующие в анкерных стержнях, при устройстве закреплений фрагментов опор мостовых переходов автомобильных дорог.

Испытания проводились в соответствии с требованиями актуализированной редакции ГОСТ 1497-84.

Нагрузку прикладывали этапами по 10% от ожидаемого значения разрушающей, для отслеживания динамики разрушения и деформаций клевого соединения в опытном образце.

В опытных образцах, испытанных через 28 суток, рост деформаций зависел также от глубины анкеровки. Смещение анкера проходило по зоне контакта «анкерный состав-камень».

Разрушения анкерных креплений могут быть следующими:

– разрушение по соединению анкера с основанием (в случаях, когда типоразмер или марка анкера не соответствует вытягивающей нагрузке, при недостаточной глубине анкеровки, при нарушении технологии установки анкера);

– отказ материала основания (при недостаточной прочности материала основания, несоблюдения минимальных осевых расстояний);

– скол основания в угловых зонах (при недостаточных краевых расстояниях, высокой силе расклинивания, высокой нагрузке на срез);

– разрушение по стали анкера (самый редкий случай отказа).

Предельно допустимые деформации в испытуемом образце наступали при нагрузке от 24,52 кН до 30,4 кН.

Опытные образцы, испытанные для определения прочности клевого соединения разрушились проскальзыванием клевого соединения по зоне

контакта «клеевая оболочка – поверхность камня» и сопровождались последующим расколом фрагментов камней. Это обстоятельство подтверждает необходимость учета совместной работы элементов анкерной системы в зоне контакта материалов.

Установлено, что истощение несущей способности клевого соединения происходит при смещении анкера относительно поверхности камня достигающей величины 0,4 мм.

При дальнейшем приложении нагрузки наблюдалось проскальзывание анкера относительно каменного основания, сопровождающееся поперечным расколом камней.

Раскол камней происходил при нагрузках, превышающих на 15-20 % нагрузку истощения несущей способности клевого соединения (по предельному смещению анкера 0,4 мм).

Таким образом, при действии растягивающих усилий в анкере, вклеенном в каменный элемент кладки из природного известняка, происходит разрушение по контакту «клеевая оболочка – поверхность камня».

Для разработки предложений по расчету прочности стальных анкеров в элементах из природного известняка следует принимать критерии предельного смещения анкеров (0,4 мм),

при которых не допускается нарушения совместной работы материалов.

В связи с природной изменчивостью структуры камней природного известняка, образовавшегося в качестве продукта отложения, целесообразно оперировать факторами совместной работы элементов анкерной системы, исходя из допущений только упругой стадии работы [4-19]. Следует подчеркнуть, что учет неупругой работы элементов может привести к неоправданному и весьма опасному завышению проектных прочностных характеристик анкерных соединений в природном известняке.

По результатам экспериментов установлено предельное напряжение сцепления клеевой оболочки стального анкера с поверхностью шпура камня природного известняка прочностью, соответствующей марке М50.

$$\tau_{cl(0,95)} = \frac{P}{\pi \cdot d_h \cdot h_{ef}} \quad (1)$$

где: d_h – диаметр шпура, предварительно просверленного в камне, мм;

h_{ef} – глубина заделки анкера (эффективная глубина анкерной системы), мм;

P – разрушающая нагрузка, кН.

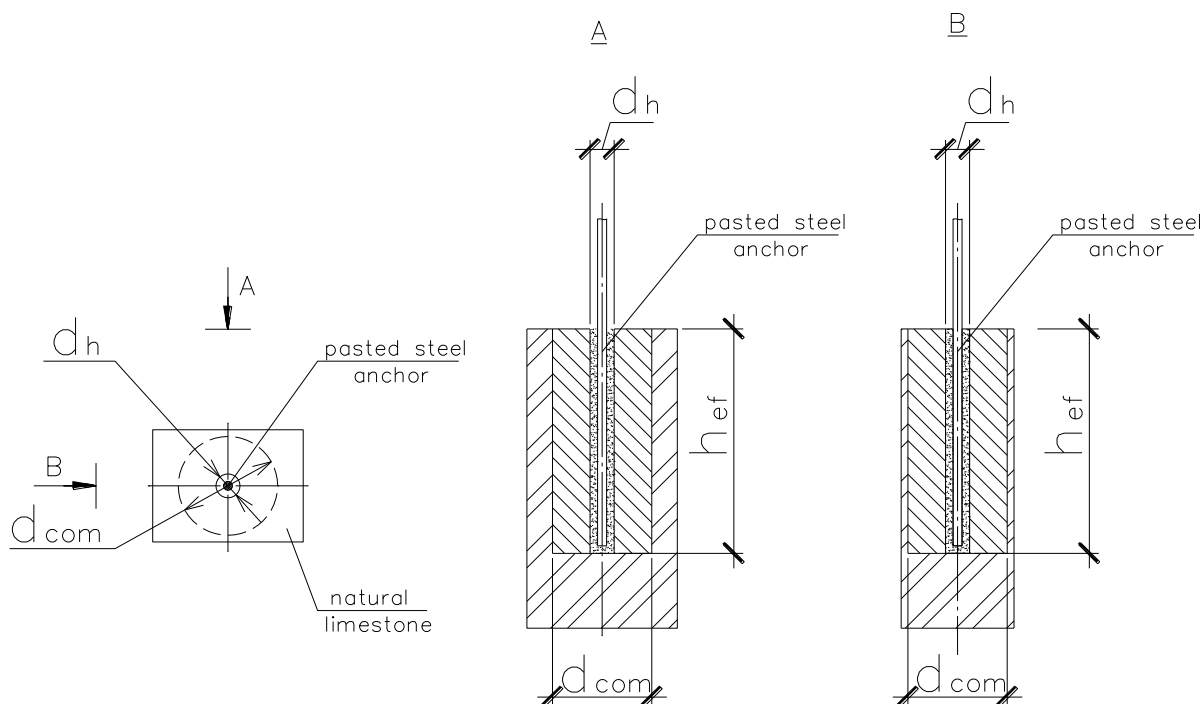


Рис. 3. Схема опытного образца камня природного известняка с клевым стальным анкером.

Fig. 3. Scheme of a prototype natural limestone stone with an adhesive steel anchor

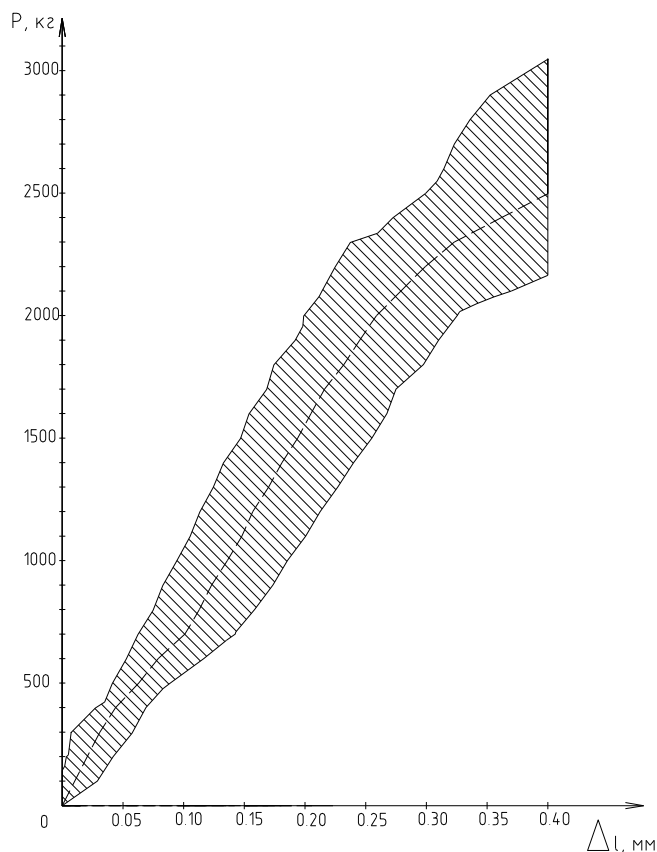


Рис. 4. Деформативность клеевого соединения опытных образцов Δl (мм) в зависимости от прилагаемой нагрузки P (кг) (▨ - область значений деформативности клеевого соединения опытных образцов; - - - - линия средних значений деформативности клеевого соединения опытных образцов).

Fig. 4. Deformability of the adhesive joint of prototypes Δl (mm) depending on applied load P (kg) (▨ - range of values of deformability of the adhesive joint of prototypes; - - - - line of average values of deformability of the adhesive joint of prototypes)

Из вышеизложенного следует, что при учете только упругой стадии работы расчет глубины заделки анкера в камнях природного известняка определяется формулой:

$$h_{ef} = \frac{P}{\tau_{cl(0,95)} \cdot \pi \cdot d_h} \quad (2)$$

Площадь каменного элемента, подверженная сжатию от выдергивания анкера, определяется диаметром условной каменной оболочки, вовлекаемой в совместную работу:

$$A_{com} = \frac{\pi}{4} (d_{com}^2 - d_h^2) \quad (3)$$

где d_{com} – диаметр условной каменной оболочки, вовлекаемой в совместную работу.

Предельно допустимая площадь сжатия для камней марки М50:

$$A_{ult.com.} = \frac{P}{M} \quad (4)$$

где:

P – разрушающая нагрузка (растягивающие усилия в анкере), кН;

M – марка камня, МПа.

$$\frac{\pi}{4} (d_{com}^2 - d_h^2) = \frac{P}{M} \quad (5)$$

Из равенства (5) диаметр условной каменной оболочки, вовлекаемой в совместную работу:

$$d_{com} = \sqrt{0.025 \cdot P + d_h^2} \quad (6)$$

Минимально допустимое расстояние между шпурами или расстояние от шпура до наружной грани камня (рис. 5) определяется следующим образом:

$$B_{min} = d_{com} + 2d_h \quad (7)$$

Рекомендуемое расстояние между шпурами или до наружной грани камня (рис. 5) определяется формулой:

$$B_{opt} = 2(d_{com} + d_h) \quad (8)$$

Расчетная несущая способность анкера на выдергивание в природном известняке марки по прочности М50 составит:

$$P_f = 1.75 \cdot h_{ef} \cdot \pi \cdot d_h \quad (9)$$

Где: 1.75 МПа – наиболее осторожное значение с гарантированной вероятностью 0.95 предельно допустимого напряжения сцепления клеевой оболочки анкера с поверхностью шпура в камне природного известняка прочностью, соответствующей М50.

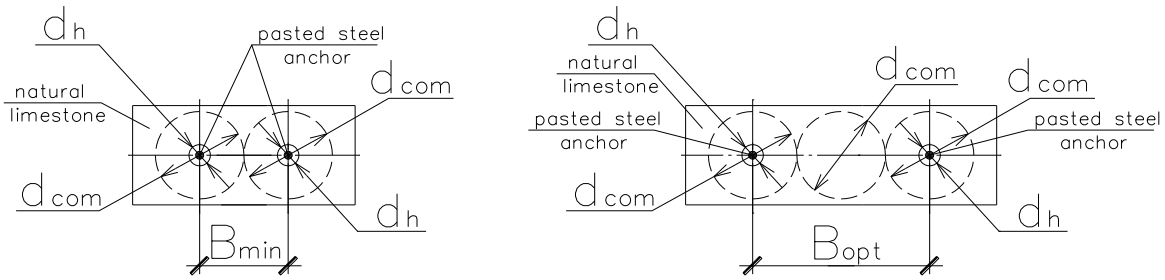


Рис. 5. Расчетная схема размещения шпуров для клеиваемых анкеров в природном известняке.
Fig. 5. Calculation scheme for the placement of holes for glued anchors in natural limestone

Для оперативной оценки и принятия технического решения размещения клеиваемых анкеров различного диаметра удобно пользоваться

номограммами (рис. 6), разработанными авторами на основании проведенных экспериментов и статистической обработки полученных результатов.

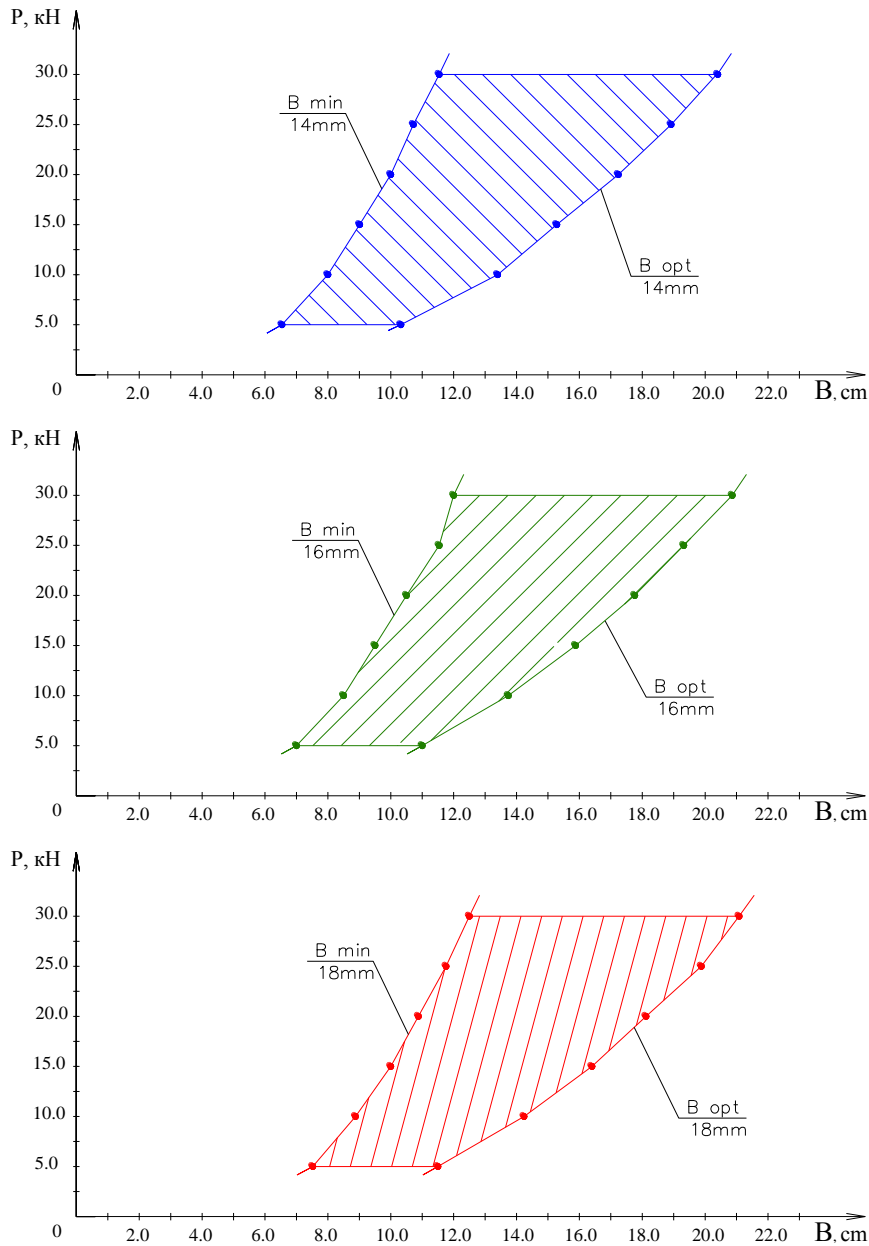


Рис. 6. Рекомендуемые расстояния между шпурами (диаметром 14 мм, 16 мм, 18 мм) или до наружной грани камня (для клеевых стальных анкеров) в камне природного известняка с прочностью соответствующей марке М50.
Fig. 6. Recommended distances between boreholes (diameter 14 mm, 16 mm, 18 mm) or to the outer edge of the stone (for adhesive steel anchors) in natural limestone stone with a strength corresponding to the M50 grade

ВЫВОДЫ

1. На основе экспериментальных исследований разработаны предложения по расчету и проектированию вклеиваемых анкеров усиления каменных опор объектов транспортной инфраструктуры, учитывающие условия совместной работы разнородных материалов.

2. Предложенные авторами конструктивные решения позволяют скрыть элементы усиления, сохраняя аутентичность объектов транспортной инфраструктуры прошлых веков (классифицированных как объекты культурного наследия) с допуском уровнем эксплуатационной безопасности.

3. В связи с естественной изменчивостью структуры камней природного известняка, образовавшегося в качестве продукта отложения, учет неупругой работы элементов может привести к неоправданному и весьма опасному завышению проектных прочностных характеристик анкерных соединений в природном известняке.

4. При выполнении расчета и конструирования анкеров в природных камнях иной структуры или геологического возраста необходимо выполнение контрольных испытаний, уточняющих фактические параметры совместной работы элементов в зоне контакта «клеевая оболочка – поверхность камня».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 5567-2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия».

2. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2011. 167 с.

3. Алексеенко В.Н. Сохранение памятников архитектуры в сейсмоопасных районах / В.Н. Алексеенко, О.Б. Жиленко // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее. – Москва: МАРХИ, 2011. – С. 138.

4. СТО 36554501-048-2016. Анкерные крепления к бетону. Правила проектирования. М: ОАО "НИЦ "Строительство". 2014. 37 с.

5. СТО СРО-П 60542948 00036-2015. Проектирование анкеров, устанавливаемых в затвердевший бетон железобетонных конструкций. М: СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ». 2015. 65 с.

6. МДС 31-4.2000. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03-85). М: ЦНИИпромзданий. 2001. 105 с.

7. Jiuk Shin, JunHee Kim, Hak-Jong Chang. Anchor plate effect on the breakout capacity in tension for thin-walled concrete panels. *Engineering Structures* 106 (2016) 147-153.

8. Siamak Epackachi, Omid Esmaili, Seyed Rasoul Mirghaderi, Ali Asghar Taheri Behbahani. Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads. *Journal of Constructional Steel Research* 114 (2015) 269-280.

9. A.F. Ashoura, M.A. Alqedra. Concrete breakout strength of single anchors in tension using neural networks. *Advances in Engineering Software* 36 (2005) 87–97.

10. Theodoros Pitrakkos, Walid Tizani. Experimental behaviour of a novel anchored blind-bolt in tension. *Engineering Structures* 49 (2013) 905-919.

11. Walid Tizani, Norashidah Abd Rahman, Theodoros Pitrakkos. Fatigue life of an anchored blind-bolt loaded in tension. *Journal of Constructional Steel Research* 93 (2014) 1-8.

12. Francisco González, Jaime Fernández, Galit Agranati, Paula Villanueva. Influence of construction conditions on strength of post installed bonded Anchors. *Construction and Building Materials* 165 (2018) 272-283.

13. Priyank Upadhyaya, S. Kumar. Pull-out capacity of adhesive anchors: An analytical solution. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 60 (2015) 54-62.

14. Dongpo Wang, Dongsheng Wu, Chaojun Ouyang, Siming He, Xinpo Sun. Simulation analysis of large-diameter post-installed anchors in concrete. *Construction and Building Materials* 143 (2017) 558-565.

15. Alireza Mohyeddin, Emad F Gad, Kinley Yangdon, Rinchen Khandu, Jessey Lee. Tensile load capacity of screw anchors in early age concrete. *Construction and Building Materials* 127 (2016) 702-711.

16. CINTEC Anchor In Action, September, 2000, Интернет-сайт <http://www.cintec.com>.

17. Павлова М.О. Прочность и деформативность кладки стен из различных материалов в зоне заделки анкеров при действии на них продольных и поперечных сил, ГУЛ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва, 2000 г.

18. Элигенхаузен Р., Малле Р., Крепления в бетонных конструкциях и в каменной кладке, Ж. «Строительная инженерная практика», изд. «Вильгельм Эрнст&Сын» Берлин, 2000.

19. Eligehausen R.; Hoehler M., Testing of post-installed fastenings to concrete structures in seismic regions, Conference Proceedings of the fib Symposium on Concrete Structures in Seismic Regions, Athens, Greece, 2003.

20. Руководство по анкерному креплению Hilti. Княжество Лихтенштейн: Корпорация Hilti. FL-9494 Schaan. 2008. 419 с.

21. Технический справочник Fisher для фасадов с воздушным зазором. Выпуск 2007. 78 с.

22. Техническое руководство по анкерной технике SPIT. Выпуск 2010. 33 с.

23. Воробьев В.Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по проектированию и монтажу анкерных креплений / В.Н. Воробьев // ООО «ПортАктивСтрой». Владивосток. 2017. 44 с.

24. Молодченко Г.А. Кратковременная прочность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях / Г.А. Молодченко, В.А. Скларов // Коммунальное хозяйство городов. К.: Техника. 2000. вып. 25. С. 109-111.

25. Молодченко Г.А. Длительная прочность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях / Г.А. Молодченко, В.А. Скляр // Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. 2000. вип. 5. С. 75-81.

26. Молодченко Г.А. Влияние глубины заделки на прочность клевого анкера / Г.А. Молодченко, В.А. Скляр // Моделирование и оптимизация в материаловедении. Одесса. 2001. С. 90-91.

27. Молодченко Г.А. Расчетные характеристики анкерных болтов на акриловых клеях / Г.А. Молодченко, В.А. Скляр // Тез. докладов XXXI науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. Ч. 1. Харьков: ХГАГХ. 2002. С. 11-13.

28. Скляр В.А. Исследование на выносливость анкерных болтов / В.А. Скляр // Тез. докладов XXX науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. Ч.2. Харьков. 2000. С. 57-58.

29. Шутенко Л.Н. Прочность анкерных болтов на акриловых клеях при динамических нагрузках / Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, В.А. Скляр // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГтаП, 2005. Вип.12. С.346-354.

30. Шутенко Л.Н. Расчетные характеристики анкерных болтов на акриловых клеях / Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, В.А. Скляр // Совершенствование качества строительных материалов и конструкций (модели, составы, свойства, эксплуатационная стойкость). Новосибирск: НГАУ. 2005. С.39-42.

31. Элигенхаузен Р., Окело Р., Проектирование групповых креплений для режимов разрушения в результате выдергивания или проталкивания для отдельных анкеров из группы, Отчет № 18/1-96/20, Институт строительных материалов, Университет Штутгарта, 1996 г.

32. J. Guerreiro, A.S. Gago, J. Ferreira, J. Proença. An innovative anchoring system for old masonry buildings. Journal of Building Engineering 13 (2017) 184-195.

33. Francesca Ceroni, Roberto Cuzzilla, Marisa Pecc. Assessment of performance of steel and GFRP bars as injected anchors in masonry walls. Construction and Building Materials 123 (2016) 78-98.

34. Loredana Contrafatto, Renato Cosenza. Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone. Construction and Building Materials 68 (2014) 355-369.

35. Rosana Muñoz, Paulo B. Lourenço, Susana Moreira. Experimental results on mechanical behaviour of metal anchors in historic stone masonry. Construction and Building Materials 163 (2018) 643-655.

36. Kelly Streeter, P.E., Keith Luscinski. Mechanical Anchor Strength in Stone Masonry. STRUCTURE magazine (2013) 14-16.

37. Marco Andrea Pisani. Theoretical approach to the evaluation of the load-carrying capacity of the tie rod

anchor system in a masonry wall. Engineering Structures 124 (2016) 85-95.

38. СТО ФГУ ФЦС 44416204-10-2010 Крепления анкерные. Метод определения несущей способности по результатам натуральных испытаний.

39. Узел соединения элементов крупноблочной кладки. Патент: №164221 Рос.Федерация: МПК E04G23/00 (2006.01) / Алексеенко В.Н., Чепурная Е.А.

40. Способ усиления простенков стен зданий. Патент на полезную модель 71144 Украина, МПК (2012.01) E04G 23/00 / Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.

41. Устройство усиления купола кладочной структуры. Патент на полезную модель RU 188063 30.11.2017 / Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.

42. Alekseenko V., Zhilenko O. Seismic stability of the restored architectural monument. /Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 7. Pp. 31–38. doi: 10.5862/MCE.67.4.

43. Alekseenko V., Zhilenko O. Bearing capacity of pasted anchors in the masonry walls of natural limestone. /Magazine of Civil Engineering. 2018. 81(5). Pp. 52–63. doi: 10.18720/MCE.81.6.

44. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Опыт реставрации объектов культурного наследия в сейсмических районах. / Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 12 (39). С. 57-75.

45. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Усиление куполов кладочной структуры, поврежденных ударно-взрывными воздействиями / Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Сборник научных статей XIX научно-методической конференции ВИТУ – Санкт-Петербург. – 2015. –С. 19–23.

46. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Сохранение аутентичности и приспособление объекта культурного наследия – компромисс или конфликт/ Строительство и архитектура. №1 2021г. Самара, с.4-17

REFERENCES

1. GOST 5567-2013 « The procedure for organizing and conducting engineering and technical research at cultural heritage sites ».

2. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh. Minregion Rossii. - M.: OAO "TsPP", 2011. 167 s.

3. Alekseyenko V.N., Zhilenko O.B. Sokhraneniye pamyatnikov arkhitektury v seysmopasnykh rayonakh // Ustoychivaya arkhitektura: nastoyashcheye i budushcheye. M.: Izd-vo MARKhI, 2012. S. 620 – 628.

4. STO SRO-P 60542948 00036-2015. Design of anchors installed in hardened concrete reinforced concrete structures. M: SRO NP «SOUZATOMPROEKT». 2015. 65 p.

5. MDS 31-4.2000. A manual on the design of anchor bolts for fixing building structures and equipment (к СНиП 2.09.03-85). M: CNIPromzdaniy. 2001. 105 p.

6. Jiuk Shin, JunHee Kim, Hak-Jong Chang. Anchor plate effect on the breakout capacity in tension for thin-walled concrete panels. *Engineering Structures* 106 (2016) 147-153.
7. Siamak Epackachi, Omid Esmaili, Seyed Rasoul Mirghaderi, Ali Asghar Taheri Behbahani. Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads. *Journal of Constructional Steel Research* 114 (2015) 269-280.
8. A.F. Ashoura, M.A. Alqedra. Concrete breakout strength of single anchors in tension using neural networks. *Advances in Engineering Software* 36 (2005) 87-97.
9. Theodoros Pitrakos, Walid Tizani. Experimental behaviour of a novel anchored blind-bolt in tension. *Engineering Structures* 49 (2013) 905-919.
10. Walid Tizani, Norashidah Abd Rahman, Theodoros Pitrakos. Fatigue life of an anchored blind-bolt loaded in tension. *Journal of Constructional Steel Research* 93 (2014) 1-8.
11. Francisco González, Jaime Fernández, Galit Agranati, Paula Villanueva. Influence of construction conditions on strength of post installed bonded Anchors. *Construction and Building Materials* 165 (2018) 272-283.
12. Priyank Upadhyaya, S. Kumar. Pull-out capacity of adhesive anchors: An analytical solution. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 60 (2015) 54-62.
13. Dongpo Wang, Dongsheng Wu, Chaojun Ouyang, Siming He, Xinpo Sun. Simulation analysis of large-diameter post-installed anchors in concrete. *Construction and Building Materials* 143 (2017) 558-565.
14. Alireza Mohyeddin, Emad F Gad, Kinley Yangdon, Rinchen Khandu, Jessey Lee. Tensile load capacity of screw anchors in early age concrete. *Construction and Building Materials* 127 (2016) 702-711.
15. CINTEC Anchor In Action, September, 2000, Интернет -сайт <http://www.cintec.com>.
16. Pavlova M.O. Strength and deformation of the masonry of walls from various materials in the zone of anchoring of the anchors under the action of longitudinal and transverse forces on them, GUL TsNIISK them. V.A. Kucherenko, M., 2000.
17. Eligenhausen R., Malle R. Fixings in concrete structures and in masonry, J. "Building engineering practice", ed. "Wilhelm Ernst & Son" Berlin, 2000.
18. Eligenhausen R.; Hoehler M., Testing of post-installed fastenings to concrete structures in seismic regions, Conference Proceedings of the fib Symposium on Concrete Structures in Seismic Regions, Athens, Greece, 2003.
19. Guide to anchor fasteners Hilti. Principality of Liechtenstein: Corporation Hilti. FL-9494 Schaan. 2008. 419 p.
20. Technical Reference Fisher for facades with air gap. Release 2007. 78 p.
21. Technical Guide to Anchor Technology SPIT. Release 2010. 33 p.
22. Vorobyov V.N. Suspended facade systems. Recommendations for the design and installation of anchorages / V.N. Vorobiev // LLC PortActivStroy. Vladivostok. 2017. 44 p.
23. Molodchenko G.A. Short-term strength of anchor bolts on modified acrylic adhesives / G.A. Molodchenko, V.A. Sklyarov // Municipal economy of cities. K.: Equipment. 2000. Release. 25. P. 109-111.
24. Molodchenko G.A. Long-term strength of anchor bolts on modified acrylic adhesives / G.A. Molodchenko, V.A. Sklyarov // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne. 2000. Release. 5. P. 75-81.
25. Molodchenko G.A. Effect of embedment depth on the strength of the adhesive anchor / G.A. Molodchenko, V.A. Sklyarov // Modeling and optimization in materials science. Odessa. 2001. P. 90-91.
26. Molodchenko G.A. Calculation characteristics of anchor bolts on acrylic adhesives / G.A. Molodchenko, V.A. Sklyarov // Thesis. reports XXXI scientific and technical conference of teachers, post-graduate students and employees of the Kharkov State Academy of Municipal Economy. Part 1. Kharkiv: KGAGH. 2002. P. 11-13.
27. Sklyarov V.A. Study on the endurance of anchor bolts / V.A. Sklyarov // Thesis. reports XXX scientific and technical conference of teachers, post-graduate students and employees of the Kharkov State Academy of Municipal Economy. Part 2. Kharkiv: KGAGH. 2000. P. 57-58.
28. Shutenko L.N. Strength of anchor bolts on acrylic adhesives under dynamic loading / LM Shutenko, M.S. Zolotov, V.A. Sklyarov // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne: NUVHtaP, 2005. Release. 12. P. 346-354.
29. Shutenko L.N. Calculation characteristics of anchor bolts on acrylic adhesives / L.M. Shutenko, M.S. Zolotov, V.A. Sklyarov // Perfection of the quality of building materials and structures (models, compositions, properties, operational durability). Novosibirsk: NSAU. 2005. P. 39-42.
30. Eligenhausen R., Okelo R. Design of group fastenings for failure modes as a result of pulling or pushing for individual anchors from the group, Report No. 18 / 1-96 / 20, Institute of Building Materials, University of Stuttgart, 1996.
31. J. Guerreiro, A.S. Gago, J. Ferreira, J. Proença. An innovative anchoring system for old masonry buildings. *Journal of Building Engineering* 13 (2017) 184-195.
32. Francesca Ceroni, Roberto Cuzzilla, Marisa Pecc. Assessment of performance of steel and GFRP bars as injected anchors in masonry walls. *Construction and Building Materials* 123 (2016) 78-98.
33. Loredana Contrafatto, Renato Cosenza. Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone. *Construction and Building Materials* 68 (2014) 355-369.
34. Rosana Muñoz, Paulo B. Lourenço, Susana Moreira. Experimental results on mechanical behaviour

of metal anchors in historic stone masonry. *Construction and Building Materials* 163 (2018) 643-655.

35. Kelly Streeter, P.E., Keith Luscinski. Mechanical Anchor Strength in Stone Masonry. *STRUCTURE magazine* (2013) 14-16.

36. Marco Andrea Pisani. Theoretical approach to the evaluation of the load-carrying capacity of the tie rod anchor system in a masonry wall. *Engineering Structures* 124 (2016) 85-95.

37. STO FGU FTSS 44416204-10-2010 Anchoring fastenings. The method of determining the load-bearing capacity by the results of full-scale tests.

38. Knot for connecting elements of large-block masonry. Patent: №164221 Russian Federation: MPK E04G23/00 (2006.01) / Alekseenko V., Chepurnaya E.

39. A method of strengthening the walls of the walls of buildings. utility model patent 71144 Ukraine, MPK (2012.01) E04G 23/00 / Alekseenko V., Zhilenko O.

40. Device for strengthening the dome of the masonry structure. utility model patent RUS 188063 30.11.2017 / Alekseenko V., Zhilenko O.

41. Alekseenko V., Zhilenko O. Seismic stability of the restored architectural monument. / *Magazine of Civil*

Engineering. 2016. No. 7. Pp. 31–38. doi: 10.5862/MCE.67.4.

42. Alekseenko V., Zhilenko O. Bearing capacity of pasted anchors in the masonry walls of natural limestone. / *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 81(5). Pp. 52–63. doi: 10.18720/MCE.81.6.

43. Alekseenko V., Zhilenko O. Experience in the restoration of cultural heritage sites in seismic regions. / *Construction of unique buildings and structures*. 2015. № 12 (39). P. 57-75.

44. Alekseenko V., Zhilenko O. Reinforcement of masonry structure domes damaged by shock-explosive effects / *Defects in buildings and structures. Strengthening building structures. Collection of scientific articles of the XIX scientific and methodological conference VITY – St. Petersburg*. – 2015. –P. 19–23.

45. Alekseenko V., Zhilenko O. Preservation of authenticity and adaptation of a cultural heritage site - compromise or conflict / *Construction and architecture*. №1 2021г. Samara, P.4-17

RESTORATION OF STONE PILLARS OF HISTORICAL OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Alekseenko V.N., Zhilenko O.B.

Academy of Construction and Architecture
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
295493 RK g. Simferopol', ul. Kievskaja, 18
e-mail: avn108@mail.ru; o.b.zhilenko@mail.ru

Abstract. The article considers the possibility of operating historical transport infrastructure objects with an acceptable level of security. The main tasks are: implementation of constructive restoration solutions that allow hiding reinforcement elements, preserving the authenticity of historical transport infrastructure objects.

Subject of research: concealed strengthening of stone pillars of historical transport infrastructure objects.

Materials and research methods: analysis of literary sources. Physical experiment of hidden reinforcement of stone pillars of historical objects of transport infrastructure.

Results: a method was developed to reinforce the stone pillars of historical transport infrastructure objects by installing glued anchors.

Conclusions: proposals have been developed for the calculation and design of hidden reinforcement of stone pillars of historical transport infrastructure objects.

Key words: object of transport infrastructure, physical experiment, calculation.

УПЛОТНЕНИЕ ПЕСКА. ИСЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ПЕСКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ.

Журавлев П. А., Марукян А.М.

НИУ МГСУ Московский государственный строительный университет».

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

E-mail: ¹ pazh@yandex.ru, ² A8874316@yandex.ru

Аннотация. Производство строительной продукции связано с использованием материальных ресурсов. Проектной документацией по сооружению насыпей земляного полотна автомобильных и железных дорог устанавливается коэффициент уплотнения песчаных грунтов, используемый для получения фактической плотности материала на участках строительства и сравнения с требуемыми нормативными значениями. Большие масштабы транспортируемого и перемещаемого в транспортном строительстве песчаного грунта предопределяют важность вопроса соотношения и анализа объемов инертных материалов, указанных в проектной документации (требуемой плотности) с потребными объемами (в организационно-технологической документации), необходимыми для фактического уплотнения и сооружения насыпей земляного полотна.

Значимость указанного соотношения и анализа оказывает непосредственное влияние на качество и объемы выполняемых земляных работ, а также технико-экономические показатели.

Предмет исследования: Предметом исследования являются факторы и условия, связанные с определением потребного количества инертного материала, необходимого для выполнения технологического процесса сооружения насыпей земляного полотна (в том числе, основания земляного полотна на слабых грунтах).

Материалы и методы: Описаны характерные свойства пористых песчаных грунтов, рассмотрены организационно-технологические условия и факторы, оказывающие действие на расхождение объемов грунта, установленных в проектной документации, с фактически потребными объемами поставок нерудных материалов. Метод исследования – структурный и функциональный анализ.

Результаты: Алгоритм определения требуемого фактического объема песка, исчисляемого в транспортных средствах и перевозимого к площадке строительства для устройства насыпи, с учетом насыпной плотности при естественной влажности в разрыхленном состоянии и трудноустраимых потерь при транспортировании и перемещении.

Выводы: На основании оценки свойств песчаных грунтов и условий поставки, сформулированы основные организационные критерии, определяющие показатели потребности в закупках и доставке песка, исключающие расхождение в объемах поставляемых нерудных материалов. Описан алгоритм определения требуемого фактического объема песка, исчисляемого в транспортных средствах и перевозимого к площадке строительства для устройства насыпи, с учетом насыпной плотности при естественной влажности в разрыхленном состоянии и трудноустраимых потерь при транспортировании и перемещении.

Ключевые слова: организация дорожно-строительных работ, свойства песчаного грунта, уплотнение песчаных оснований, земляного полотна, коэффициент относительного уплотнения

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги являются важной составляющей транспортной инфраструктуры страны. В последние годы в России проводится модернизация транспортной инфраструктуры в целях обеспечения растущего спроса на пассажирские и грузовые перевозки с целью создание задела для дальнейшего развития [1,2].

В рамках комплексного освоения и развития территорий вопросы о темпах расширения автодорожной сети, обеспечения равномерного охвата дорогами различных регионов страны, а также низкого качества дорожного строительства постоянно находятся в центре внимания [3].

Специфические свойства территорий, занятых слабыми грунтами, вынуждают проводить комплекс специальных мероприятий, для создания условий выполнения строительно-монтажных работ, прокладки дорог, инженерных коммуникаций, возведения зданий и сооружений [4-6]. В этой связи, важным является учет требований, предъявляемых к материалам для возведения оснований и слоев земляного полотна [7-10].

Следует отметить, что наиболее устойчивыми грунтами в земляном полотне считаются крупно и среднезернистые пески [11, 12]. Теоретически весь грунт можно использовать в дорожном строительстве, однако следует учитывать их природные свойства, применять при строительстве грунты, обладающие лучшими строительными свойствами, а для отдельных типов грунтов (слабые грунты) следует предусматривать конструктивные и технологические мероприятия, обеспечивающие несущую способность и устойчивость основания, скорость его осадки, а также прочность дорожной одежды, сооружаемой на таком основании.

Особенности применения в строительстве песка характеризуются его свойствами. Обладая пористой структурой нерудные сыпучие материалы под воздействием вибрации, тряски в процессе транспортировки, собственного веса при хранении, за счет удаления воздуха из пор, способны давать усадку, а при производстве погрузочно-разгрузочных работ – раскροшку, раструску и разпыление. Начиная с момента добычи песка и заканчивая уплотнением, происходят изменения в его составе, свойствах и плотности. Последняя характеристика сильно зависит от условий добычи,

величины гранулометрического состава, количественного и качественного состава примесей песчаного грунта, объема впитавшейся влаги, способа и длительности маршрута перевозки.

Учитывая описанное, важное и актуальное значение при организации дорожно-строительных работ, является определение потребности в объемах инертных материалов, как для корректного определения сметной стоимости выполняемых работ, так и для установления сроков и в целом обеспечения эффективности реализации инвестиционных проектов.

Цель исследования – организационные критерии, определяющие особенности исчисления потребных объемов закупок и доставки карьерного песка для возведения земляного полотна линейных объектов.

Задача исследования:

- оценка организационно-технологических факторов и условий, влияющих на порядок определения фактически потребляемых объемов песчаного грунта;

- описание алгоритма определения требуемого фактического объема песка, исчисляемого в транспортных средствах и перевозимого к площадке строительства для устройства насыпи, с учетом насыпной плотности при естественной влажности в разрыхленном состоянии и трудноустраняемых потерь при транспортировании и перемещении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс возведения насыпей в основном состоит из последовательной укладки грунта. Доставленный на место строительства насыпи грунт укладывают в определенном порядке в зависимости от рельефа местности, проектных решений и конструкции земляного полотна. Обычно укладку грунта ведут таким образом, чтобы образовался ровный слой определенной толщины, который сравнительно легко можно уплотнить. Последовательно укладывая слои один на другой, доводят насыпь до проектной отметки, получая требуемую плотность грунта в любой части насыпи. Вместе с тем, качественное выполнение технологических процессов по уплотнению грунтов при сооружении земляного полотна (в том числе основания) является одной из основных задач при строительстве линейных объектов, от которого зависит не только прочность, устойчивость, но и безопасность и эксплуатационная надежность сооружения [13,14].

В целях минимизации рисков смещения сроков производства работ по разработке, обратной засыпке, отсыпке, разравниванию и уплотнению грунта, установленных в календарных планах производства работ, в организационно-технологической документации особое внимание уделяется требованиям, основанным факторами и условиями, влияющими на результаты уплотнения: типам и свойства грунта, содержанию влаги, методу

уплотнения и применяемым средствам механизации [15].

Согласно СП 45.13330 в ППР по устройству насыпей автомобильных дорог должны быть указаны требования к подготовке поверхности (основания) насыпи и обратной засыпки, а также требуемая степень уплотнения грунтов:

- для однородных по виду и составу грунтов - плотность в сухом состоянии;
- для разнородных - коэффициент уплотнения.

СП 45.13330 содержит требования к производству опытного уплотнения грунтов насыпей и обратных засыпок при наличии указаний в проекте, а при отсутствии специальных указаний - при объеме поверхностного уплотнения на объекте 10 тыс. м³ и более.

По результатам опытного уплотнения должны быть установлены:

- а) в лабораторных условиях по ГОСТ 22733:
 - максимальные значения плотности уплотненных грунтов;
 - оптимальная влажность, при которой достигаются максимальные плотности;
 - допустимые диапазоны изменения влажности уплотняемого грунта и соответственно значения показателей коэффициентов (А и В), при которых достигаются заданные коэффициенты уплотнения для всех видов применяемых грунтов;
 - величины плотностей уплотненных грунтов, при заданных значениях коэффициента уплотнения, или наоборот, значения коэффициентов уплотнения уплотненных грунтов при заданных значениях максимальной плотности уплотненных грунтов;

- б) толщина отсыпаемых слоев, число проходов уплотняющих машин по одному следу, продолжительность воздействия вибрационных и других рабочих органов на грунт, а также другие технологические параметры, обеспечивающие проектную плотность грунта;

- в) величины косвенных показателей качества уплотнения, подлежащих операционному контролю («отказа» для уплотнения укаткой, трамбованием, числа ударов динамического плотномера и др.).

Если опытное уплотнение предусмотрено проводить в пределах возводимой насыпи, места выполнения работ должны быть указаны в проекте.

Нижнюю часть насыпи земляного полотна, располагающуюся ниже поверхности земли, устраивают из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 1,0 м/сут. (согласно Пособия). При этом, толщина слоя из такого грунта должна быть на 0,3 - 0,5 м больше суммарной величины расчетной осадки основания и мощности удаляемого слоя.

Особенности природно-климатических условий и свойств территорий оказывают влияние на принятие проектных решений, связанных с количественными показателями выполнения земляных работ. К примеру, для обеспечения устойчивости земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании (при прохождении трассы через залесенную местность), проектной

документацией обосновываются решения по удалению и замене (частичной или полной) слабого грунта в основании земляного полотна. Таким образом, учитывая, что наиболее устойчивыми грунтами в основании сооружаемой насыпи земляного полотна считаются крупно и средне - зернистые пески, проектными решениями учитываются, в том числе, объемы песчаного грунта, замещаемые в основании насыпи.

Свойства песчаных грунтов и природных песков, поставляемых из различных источников поставок, а также организационные условия поставок на строительную площадку влияют на специфику определения потребных объемов пористых нерудных материалов. Следовательно, для недопущения поставок на строительную площадку песчаных грунтов в недостаточном объеме, необходим учет их основных характеристик и свойств, а также насыпной плотности и коэффициента их уплотнения.

Учитывая, что потребность в песке в дорожном строительстве исчисляется многими сотнями тысяч тонн, даже незначительный рост затрат на одном кубометре объема или километре пробега транспорта может вылиться в огромные потери.

СП 45.13330 регламентирует учитывать потери грунта при транспортировании в земляные сооружения автомобильным транспортом, скреперами и землевозами на расстояние не более 1 км - 0,5%, при больших расстояниях - 1,0% [16].

Наряду с различными техническими параметрами видов песка, его характеристики и свойства играют особое значение, особенно с учетом показателя влажности.

При использовании в дорожном строительстве песка карьерного происхождения (добытого механическим путем) следует учитывать (по результатам лабораторных испытаний) его влажность в естественном состоянии, наличие примесей, а также показатель плотности (насыпной плотности ГОСТ 32721-2014), влияющие на организационно-технологическую и экономическую составляющую.

Обычно, решения проектной документации определяют объемы возводимых насыпей, как привило в плотном теле, с учетом коэффициента уплотнения. В этой связи, учет организационно-технологических особенностей строительного производства, учитывающих добычу, получение песка, его транспортировку, укладку в проектное положение, применение средств механизации для достижения требуемых показателей уплотнения, а также экономических затрат, зависящих от технических характеристик применяемого песка, его массы и объема, требует особого внимания.

Затраты по перевозке к месту строительства зависят:

- от плотности песка в карьере, находящегося в естественном состоянии;
- от его влажности, поскольку сметные нормативы на перевозку выведены на единицу массы;

- а также от показателя увеличения объема разрыхленных грунтов и пород, при их разработке в карьере (нормативные показатели регламентированы ЕНиР сборником «Земляные работы»).

Не вызывает сомнения, что с увеличением влажности материала пропорционально возрастают его масса, объем, а также, казалось бы, и плотность. Поэтому следовало бы предположить, что насыпная плотность влажного песка также должна увеличиться пропорционально доли влажности.

Однако, максимально большой объем песок занимает при влажности примерно 4 – 8% (по массе), при этом насыпная плотность песка уменьшается. При увеличении влажности примерно с 8 до 20%, когда вода полностью заполняет межзерновую пустотность, происходит наоборот, уменьшение объема песка и увеличение насыпной плотности.

Для песков с различных местных карьеров (в том числе, в зависимости от содержания примесей), показатели будут несколько отличаться. Как следствие, при использовании в дорожном строительстве песка в больших объемах из определенного карьера (или различных карьеров), по результатам лабораторных испытаний следует построить график изменения характеристик песка в зависимости от влажности.

Природная влажность песка находится, как правило, в интервале от 5 до 10 %, где как раз и происходит максимальное увеличение объема материала. Именно поэтому необходимо при каждой поставке песка определять, насколько уменьшился объем песка в зависимости от влажности данной конкретной партии песка.

В случае, если соответствующая подтверждаемая информация о характеристиках песка, поставляемого для нужд строительства отсутствует, предлагается следующий алгоритм определения требуемого фактического объема для устройства насыпи, с учетом естественной влажности.

В целях определения плотности грунта в карьере используются данные, приведенные в Методике определения коэффициента относительного уплотнения песков, утвержденной ФГУП «Союздорнии» 01.01.2001 (далее – Методика).

Согласно приведенных в Методике терминологий и определений (приложения 2) коэффициент относительного уплотнения (K_1) является отношением требуемой плотности (скелета) сухого грунта (песка) в насыпи (P^{TP}_d), установленной с учетом коэффициента уплотнения по табл. 7.3 СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги», к его плотности (P_d) (устанавливаемой по данным инженерных изысканиях), принятой при исчислении объемов грунта (песка в карьере).

$$K_1 = P^{TP}_d / P_d$$

Отсюда, вычисляется плотность песка в карьере:

$$P_d = P^{TP}_d / K_1$$

$$P_d = 1,73 / 1,05 = 1,65 \text{ т/м}^3$$

где 1,05 – коэффициент относительного уплотнения песка, принимаемый по таблице В.14 СП 34.13330.2012 при требуемом коэффициенте уплотнения грунта 0,95.

С учетом требуемого коэффициента уплотнения песка $K_{упл}$ в подстилающем слое основания дорожной одежды значение требуемой плотности (скелета) сухого песка (P^{TP}_d) определяется по формуле (п. 2.2.16 Методики):

$$P^{TP}_d = P_{dmax} \times K_{упл},$$

$$P^{TP}_d = 1,82 \times 0,95 = 1,73 \text{ т/м}^3,$$

где P_{dmax} – максимальная стандартная плотность, принята согласно примеру (Вариант 1) Методики и составляет 1,82 т/м³;

$K_{упл}$ – требуемый коэффициент уплотнения песка, принимаемый на основании таблицы 7.3 СП 34.13330.2012, или по проектным данным. Для расчета принимаем $K_{упл} = 0,95$ (для капитальных дорожных одежд, II, III дорожно-климатических зон, в рабочем слое выемки ниже зоны сезонного промерзания, глубина расположения слоя от поверхности покрытия – до 1,2 м);

Из формулы определения плотности (скелета) сухого песка в карьере (Вариант 1 Приложение 4 Методики) выводится насыпная плотность песка ($P_{н. \text{песка}}$) с учетом естественной влажности:

$$P_{н. \text{песка}} = P_d / (1 + 0,01 \times W) = 1,65 / (1 + 0,01 \times 8,2) = 1,53 \text{ т/м}^3$$

где P_d – плотность сухого песка, т/м³;

W – естественная влажность %, принимается согласно исходных данных примера (Вариант 1 Приложение 4) Методики, $W = 8,2\%$;

При определении объема карьерного песка, исчисляемого в транспортных средствах и перевозимого к площадке строительства, необходимо учесть его насыпную плотность при естественной влажности в разрыхленном состоянии, а также трудноустраняемые последующие потери при транспортировании, хранении и перемещении.

Требуемый объем карьерного песка, исчисляемый в транспортных средствах (в разрыхленном состоянии) для устройства насыпи согласно п. 2.1.1 Методики определяется по формуле:

$$V_{тр} = K_1 V_2,$$

K_1 – фактический коэффициент относительного уплотнения, 1,13;

V_2 – объем песка основания насыпи, согласно данным проектной документации в плотном теле, в расчете, условно принимаемый в объеме 100 000 м³.

$$K_1 = P^{TP}_d / P_{н. \text{песка}} = 1,73 / 1,53 = 1,13$$

$$V_{тр} = 1,13 \times 100\,000 = 113\,000 \text{ м}^3$$

Потребность в дополнительных объемах обусловлены, также потерями при транспортировании автотранспортом, зависящие от дальности возки, а также перемещении при засыпке и укладке.

Согласно общим положениям ФЕР Сборник 1 «Земляные работы» объем грунта, подлежащий подвозке автотранспортом на объект для засыпки пазух, подсыпки под полы или в насыпь вертикальной планировки исчисляется по проектным размерам с добавлением на потери:

- при транспортировании автотранспортом на расстояние до 1 км – 0,5 %;
- при транспортировании автотранспортом на расстояние более 1 км – 1,0 %;
- при перемещении грунта бульдозерами по основанию, сложенному грунтом другого типа: при обратной засыпке траншей и котлованов – 1,5 %; при укладке в насыпи – 2,5 %.

Требуемый объем песка в разрыхленном состоянии с учетом потерь в транспортных средствах и при укладке в насыпи составит:

$$V_{тр} = 113\,000 \times 1,01 \times 1,025 = 116\,983,25 \text{ м}^3.$$

ВЫВОДЫ

В целях качественного выполнения технологического процесса по устройству основания и конструкций земляного полотна и недопущения организации поставок песка в недостаточном объеме, исходя из способности песка пропускать воду (коэффициент фильтрации), его плотности (насыпная плотность), влажности на момент засыпки (в пределах 10 %), модуля крупности (показатель определяет большую часть свойств подушки и дренажа), трудноустраняемых потерь при транспортировании, хранении и перемещении средствами механизации сформулированы основные организационные критерии, определяющие показатели потребности в закупках и доставке песка:

- объем песка;
- масса перевозимого песка, с учетом коэффициента относительного уплотнения, принятого в проектной документации;
- результаты лабораторного определения максимальной плотности и оптимальной влажности;
- насыпной вес песка в условиях естественной влажности;
- климатические и погодные условия на период транспортировки, в том числе наличие отрицательных температур;
- вид и способ транспортировки;
- количество ходок транспортных средств в процессе строительства;
- стоимостные показатели песка с учетом транспортных, трудноустраняемых и других сопутствующих затрат.

Представлен алгоритм определения требуемого фактического объема песка, исчисляемого в

транспортных средствах и перевозимого к площадке строительства для устройства насыпи, с учетом насыпной плотности при естественной влажности в разрыхленном состоянии и трудноустраимых потерь при транспортировании и перемещении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косов М.Е. Государственная поддержка транспорта и дорожного хозяйства, повышение их эффективности // Вестник экономической безопасности. – 2019. – №4. – С. 295-304.

2. Моттаева А.Б. Планирование и моделирование региональной транспортной инфраструктуры // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. – 2020. – № 3. – С. 101-108.

3. Васильева, Е.Ю. Привлечение инвестиций в транспортную инфраструктуру России // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 150-153.

4. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Использование лесных ресурсов в России // Хвойные бореальной зоны. – 2016. – №1-2 Вып. 34. – С. 56-60.

5. Вишневский А.В., Стетюха В.А. Деформации дорожного полотна на структурно-неустойчивых грунтах // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2018. – vol. 24. № 10. – С. 411.

6. Подольский В. П., Глагольев А. А., Нгуен Фьонг Нгок. Разработка мероприятий для обеспечения климатической устойчивости автомобильных дорог на слабых основаниях // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 4. – С. 46-52.

7. Илюшина С.В., Бугаева А.И., Красина И.В., Минязова А.Н. Применение геосинтетических нетканых материалов в дорожном строительстве // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – №5. – С. 61-63.

8. Подольский В.П., Нгуен Ван Лонг, Ле Ван Чунг. Повышение эксплуатационных параметров земляного полотна с использованием геоматериалов в условиях Вьетнама // Вестник МГСУ. – 2013. – №1. – С. 139-147

9. Федосов С.В., Поспелов П.И., Гойс Т.О., Грузинцева Н.А., Матрохин А.Ю., Гусев Б.Н. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С. 101-106

10. Шнайдер В.А., Левашов Г.М., Сиротюк В.В. Определение требуемой прочности геосинтетических материалов для противоэрозионной защиты неподтопляемых откосов земляного полотна // Вестник СибАДИ. – 2016. – №1 (47). – С. 72-80.

11. Мошенжал А.В. Учет механизма взаимодействия геосинтетических материалов с сыпучими грунтами в расчетах сдвигустойчивости дорожных одежд с позиции теории о механике

зернистых сред // Вестник евразийской науки. – 2014. – №5 (24). – С. 7-14.

12. Орехов В.В., Орехов М.В. Использование модели упрочняющегося грунта для описания поведения песка различной плотности при нагружении // Вестник МГСУ. – 2014. – №2. – С. 91-97.

13. Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Организация и технология ремонтно-строительных работ. Учебное пособие – М.: Изд-во ООО «Стройинформиздат». 2021. – 225 с.

14. Сборщиков С. Б., Ермолаев Е. Е., Журавлев П.А. Технология строительных процессов: Учебно-методическое пособие. Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет). – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Стройинформиздат». – 2021. – 242 с.

15. Минаев О.П. Выбор и использование метода уплотнения песчаных оснований и сооружений // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 7. – С. 66-75.

16. Симанович В.М., Журавлев П.А. Трудноустраимые потери и отходы материалов в строительстве. Объем недобора грунта: Учебное пособие. – М.: Изд-во ООО «Стройинформиздат». – 2021. – 132 с.

REFERENCES

1. Kosov M.E. State support of transport and road facilities, increasing their efficiency // Bulletin of Economic Security. 2019. No. 4. Pp. 295-304. (in Russian).

2. Mottaeva A.B. Planning and modelling of regional transport infrastructure. In: Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics. 2020. No. 3. Pp. 101-108. (in Russian).

3. Vasil'eva, E.Yu. Privlechenie investicij v transportnyu infrastrukturu Rossii Transportnoe delo Rossii. 2019. No 2. Pp. 150-153.

4. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. Ispol'zovanie lesnyh resursov v Rossii Hvojnye boreal'noj zony. 2016. No. 1-2. vol. 34. Pp. 56-60.

5. Vishnevsky A., Stetjuha V. Deformation of roadbed on structurally unstable soils // Transbaikalian State University Journal, 2018, vol. 24. No. 10. Pp. 411. (in Russian).

6. Podolsky V. P., Glagoliev A. A., Nguen Fyong Ngok. Sovremennye naukoemkie tehnologii (Modern knowledge-intensive technologies). 2016. No. 4. Pp. 46-52. (in Russian).

7. Ilyushina S.V., Bugaeva A.I., Krasina I.V., Minyazova A.N. Primenenie geosinteticheskikh netkanyh materialov v dorozhnom stroitel'stve. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2017. No. 5. Pp. 61-63.

8. Podol'skij V.P., Nguen Van Long, Le Van Chung. Povyshenie ekspluatacionnyh parametrov zemlyanogo polotna s ispol'zovaniem geomaterialov v

usloviyah V'etnama. Vestnik MGSU. 2013. No.1. Pp 139-147.

9. Fedosov S.V., Pospelov P.I., Gojs T.O., Gruzinceva N.A., Matrohin A.YU., Gusev B.N. Problemy ocenki kachestva i standartizacii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2016. No. 1. Pp. 101-106.

10. SHnajder V.A., Levashov G.M., Sirotiyuk V.V. Opredelenie trebuemoj prochnosti geosinteticheskikh materialov dlya protivooerozionnoj zashchity nepodtoplyaemyh otkosov zemlyanogo polotna. Vestnik SibADI. 2016. No. 1 (47). Pp. 72-80.

11. Moshenzhal A.V. Uchet mekhanizma vzaimodejstviya geosinteticheskikh materialov s sypuchimi gruntami v raschetah sdvigoustojchivosti dorozhnyh odezhd s pozicii teorii o mekhanike zernistykh sred. Vestnik evrazijskoj nauki. 2014. No. 5 (24). Pp. 7-14.

12. Orekhov V.V., Orekhov M.V. Ispol'zovanie modeli uprochnyayushchegosya grunta dlya opisaniya

povedeniya peska razlichnoj plotnosti pri nagruzhenii. Vestnik MGSU. 2014. No.2. Pp. 91-97.

13. Sborshchikov S.B., Zhuravlev P.A. Organization and technology of repair and construction works: Educational and methodical manual. Moscow. Limited Liability Company "Stroyinformizdat". 2021. – 225 p. (in Russian).

14. Sborshchikov S. B., Ermolaev E.E., Zhuravlev P. A. Technology of construction processes: Educational and methodical manual. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). – Moscow: Stroyinformizdat Limited Liability Company. 2021. - 242 p. (in Russian).

15. Minaev O.P. Selection and use of the method of compaction of sandy foundations and structures // Civil Engineering magazine. 2014. No. 7, pp. 66-75. (in Russian).

16. Simanovich V.M., Zhuravlev P.A. Intractable losses and waste of materials in construction. The volume of soil shortage: A textbook. – M.: Publishing house of LLC "Stroyinformizdat". 2021. – 132 p. (in Russian).

SAND COMPACTION DURING PREPARATORY WORK IN CONSTRUCTION. CALCULATION OF SAND VOLUMES IN CONSTRUCTION

Zhuravlev¹ P.A., Marukyan² A.M.

^{1,2} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation.

E-mail: ¹ pzh@yandex.ru, ² A8874316@yandex.ru

Abstract. The production of construction products is associated with the use of material resources. The design documentation for the construction of embankments of the roadbed and railways establishes the coefficient of compaction of sandy soils used to obtain the actual density of the material at the construction sites and compare it with the required normative values. The large scale of sandy soil transported and transported in transport construction determines the importance of the issue of the ratio and analysis of the volumes of inert materials specified in the design documentation (required density) with the required volumes (in the organizational and technological documentation) necessary for the actual compaction and construction of embankments of the roadbed.

The significance of this ratio and analysis has a direct impact on the quality and volume of excavation work performed, as well as technical and economic indicators.

Subject: The subject of the study are the factors and conditions associated with determining the required amount of inert material required to perform the technological process of constructing embankments of the roadbed (including the foundation of the roadbed on weak soils).

Materials and methods: The characteristic properties of porous sandy soils are described, organizational and technological conditions and factors affecting the discrepancy between the volumes of soil established in the project documentation with the actual required volumes of supplies of non-metallic materials are considered. The research method is structural and functional analysis.

Conclusions: Based on the assessment of the properties of sandy soils and delivery conditions, the main organizational criteria are formulated that determine the indicators of the need for procurement and delivery of sand, excluding discrepancies in the volumes of non-metallic materials supplied. An algorithm is described for determining the required actual volume of sand, calculated in vehicles and transported to the construction site for the installation of an embankment, taking into account the bulk density at natural humidity in a loosened state and difficult-to-remove losses during transportation and movement.

Key words: organization of road construction works, properties of sandy soil, compaction of sandy foundations, roadbed, coefficient of relative compaction

УДК 69.699.865

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УТЕПЛЕНИЯ И ОТДЕЛКИ НАРУЖНЫХ СТЕН ИЗДЕЛИЯМИ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА И ЕЁ ОКУПАЕМОСТЬ

Шаленный В.Т., Степанцова В.В., Халилов А.Э.

Институт «Академия строительства и архитектуры»
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: ¹v_shalennyj@mail.ru, ¹vasilinka311@mail.ru, ¹si.al.mz@yandex.ru

Аннотация. Настоящая работа является обобщением и продолжением комплекса научно-прикладных и квалификационных магистерских работ, направленных на ресурсосберегающее развитие строительного сектора российской экономики. В частности, статья рассматривает вопросы совершенствования конструкций, технологии их устройства и экономику наружного утепления и отделки стен гражданских зданий с использованием изделий из пеностекла. Обосновано предложено усовершенствованную конструкцию стенового ограждения с утеплителем из блоков пеностекла штукатурного типа, представлена оценка сравнительной экономической эффективности по критерию простого срока окупаемости на конкретном гражданском объекте в г. Феодосия.

Предмет исследования: конструктивно-технологические системы наружного утепления и отделки стен гражданских зданий, технико-экономическая эффективность их реализации в нынешних экономических реалиях Республики Крым.

Материалы и методы: анализ состояния вопроса с обоснованием и детализацией сущности предложенной технологии, организационно-технологическое проектирование производства работ на конкретном объекте, локальные сметные расчеты конкурирующих технологий и оценка простого срока окупаемости энергосбережения по этим технологиям.

Результаты: усовершенствованная конструкция стенового ограждения с утеплителем из блоков пеностекла толщиной 100 мм, технология ее монтажа и отделки армированной штукатуркой типа «короед». Технико-экономические показатели предложенной системы по сравнению с наиболее распространенной системой штукатурного типа из пенополистирола и минеральной ваты примерно такой же толщины.

Выводы: Полученные результаты не вступают в резкое противоречие с ранее опубликованными и проанализированными нами работами авторитетных специалистов строительной отрасли. Не устраивающий инвесторов срок окупаемости инвестиций в утепление объекта изделиями из пеностекла практически такой же, как и для утепления повсеместно распространенными плитами из пенополистирола в сочетании с минераловатными противопожарными рассечками. Но с учетом таких неоспоримых преимуществ пеностекла как его долговечность, прочность и огнестойкость, предложенная конструктивно-технологическая система утепления и отделки может иметь свою рациональную область применения в строительстве. Пока же окупаемость вложений в энергосбережение может существенно улучшиться только в случае сочетания этого мероприятия с другими, продлевающими жизненный цикл строительного объекта, а также приближения тарифов на тепло к уровню мировых цен, как это уже практически произошло по затратам на производство работ по утеплению и отделке.

Ключевые слова: конструктивно-технологические системы утепления и отделки, пеностекло, окупаемость инвестиций.

ВВЕДЕНИЕ

С момента первой постройки «пассивного дома» в 1991 году в Германии, идея строительства домов с низким энергопотреблением уже получила широкое распространение в мире. Стандарт на строительство пассивных домов был разработан в Западной Европе со средними широтами. В странах, находящихся за пределами 60° северной широты, была также предпринята попытка разработать концепцию здания, которое бы «отапливало само себя». Эффективная теплоизоляция, система вентиляции с рекуперацией тепла, рационально подобранная схема системы отопления и позволяют пассивному дому быть энергоэффективным и рентабельным. Как оказалось, в скандинавских странах, капитальные затраты на строительство пассивного дома не более чем на 10% выше, чем для обычного здания, а сроки окупаемости составляют 6 лет [1]. Хотелось бы стремиться к подобным результатам и в Российской Федерации, в полном соответствии с ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...».

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Столкнувшись в конце прошлого столетия с очередным обострением энергетического кризиса, развитые страны Европы до сих пор с переменным успехом решают проблемы экономии энергоресурсов при возведении, эксплуатации и модернизации строительных объектов. И в целом, проблема экономии энергоресурсов в строительной отрасли остается актуальной, находит отражение в научных исследованиях и публикациях множества специалистов и до настоящего времени. Состояние данного вопроса освещалось также и в наших статьях [2-4] и монографиях [5 и 6]. Регулярно публикуются работы исследователей различных школ и организаций РФ, например, [7-11].

Здесь акцентируем внимание лишь на некоторых относительно новых выводах и замеченных противоречиях, подтверждающих целесообразность дальнейших изысканий в обозначенном

направлении. Так продолжают работы специалистов Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого под руководством профессора Ватина Н.И. [12, 13]. Предложенная методика оценки прогнозируемых сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий по утеплению наружных стен различными конструктивно-технологическими системами и с использованием различных материалов, к сожалению, дает неутешительные результаты. Например, при существующем и прогнозируемом уровне цен на энергоносители в Санкт-Петербурге, устройство прогрессивного, но дорогого, вентилируемого фасада и использованием теплоизоляционных изделий «URSA GEO» из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем, является экономически не целесообразным для заказчика.

Ведь расчетный срок простой (без дисконтной) окупаемости инвестиций, направленных на дополнительное утепление фасадов существующего многоквартирного жилого дома, составил 59,5 лет. Срок окупаемости, рассчитанный с учетом роста тарифов на энергоносители, выплаты процентов по кредиту и дисконтирования будущих денежных потоков (сложная окупаемость инвестиций) составил: 26,4 года – с учетом необходимости выплат процентов по кредиту (если строительная компания взяла кредит на реализацию данного энергосберегающего мероприятия); 24 года – без учета выплат процентов по кредиту (в случае использования застройщиком собственных (не заемных) средств). К экономически трудно учитываемым, но очевидным преимуществам такого утепления следует отнести также повышение долговечности эксплуатации объекта да его эстетические качества.

Как результат исследования, в другой публикации [14], сообщается, что для крупнопанельных жилых домов старой серии 1-464-А9 в г. Курске, дополнительное утепление плитами из пенополистирола может окупиться за 16 лет, а срок его эксплуатации после модернизации может продлиться еще на 30-50 лет. Отсюда делается вывод о целесообразности модернизационных мероприятий крупнопанельных домов по приведению их к действующим требованиям по теплотехнической защите зданий даже при таком длительном периоде окупаемости инвестиций.

Получая подобные результаты, другие исследователи, наоборот, утверждают, что «целесообразность утепления дома со стенами в два кирпича в Московском регионе является неоднозначной. Затраты на практике могут достигать значений на уровне 2–4 тыс. руб./м², что делает мероприятие нерентабельным, а поэтому можно говорить «о преждевременности утепления кирпичного дома при отоплении газом, т. к. текущее значение стоимости данного энергоносителя ниже предельного, полученного в расчете, при котором утепление еще целесообразно» [15].

Обозначенными причинами и противоречивыми выводами можно объяснить и малое распространение других прогрессивных энергосберегающих, но дорогих, технологий устройства наружных стен. Здесь обратимся к последнему номеру журнала «ПГС» за истекший 2022 год под названием «25 лет универсальной вакуумно-порошковой теплоизоляционной панели». [16]. Там констатируется, что «сейчас вакуумно-порошковые панели производят в странах Европы, США, Китае и др. Их применяют в холодильниках, рефрижераторах, автомобилях, поездах, самолетах, в системах солнечного обогрева и др. К сожалению, в России, самой холодной и обширной стране на планете Земля, нет ни одного предприятия, которое бы производило эти изделия, теплозащитные свойства которых в 8-10 раз выше, чем у традиционных теплоизоляционных материалов».

Пока же в РФ находят применение относительно менее дорогостоящие штукатурные системы «мокрого фасада», а также рекомендуется устройство наружных стен из многослойных блоков [17]. Разновидностью таких блоков представляются и изделия из пеностекла, обладающие как неоспоримыми преимуществами, так и недостатками [18], часть из которых возможно попытаться устранить.

Изделия из пеностекла в Российской Федерации производятся и имеют неоспоримые преимущества долговечности и огнестойкости, но с существенным недостатком высокой стоимости, прежде всего, из-за энергоемкости самого производства и транспортных расходов [19]. Как утверждают эти авторы, несмотря на кажущуюся высокую удельную стоимость пеностекляных материалов, их применение в строительстве позволяет на самом деле не только снизить затраты на материалы, но и существенно снизить нагрузку на несущие конструкции, тем самым повысить надежность возводимых зданий и сооружений.

И в Республике Беларусь изделия из пеностекла выпускают, технология их использования регламентируется как обычная отделочно-изоляционная система штукатурного типа [20]. Такая технология предусматривает так называемое «дюбелирование» выполненных каменной кладкой блоков пеностекла. Но пеностекло – хрупкий материал и может при этом повреждаться, поэтому ранее мы и предложили несколько вариантов крепления блоков пеностекла при помощи кронштейнов из углепластика или пластмассы на оцинкованных анкерах в утепляемой стене (Рис.1), [3]. Однако последующий критический анализ показал, что и последнее конструктивно-технологическое решение также не лишено отдельных недостатков, которые можно устранить при дальнейшем развитии технологии и организации работ.

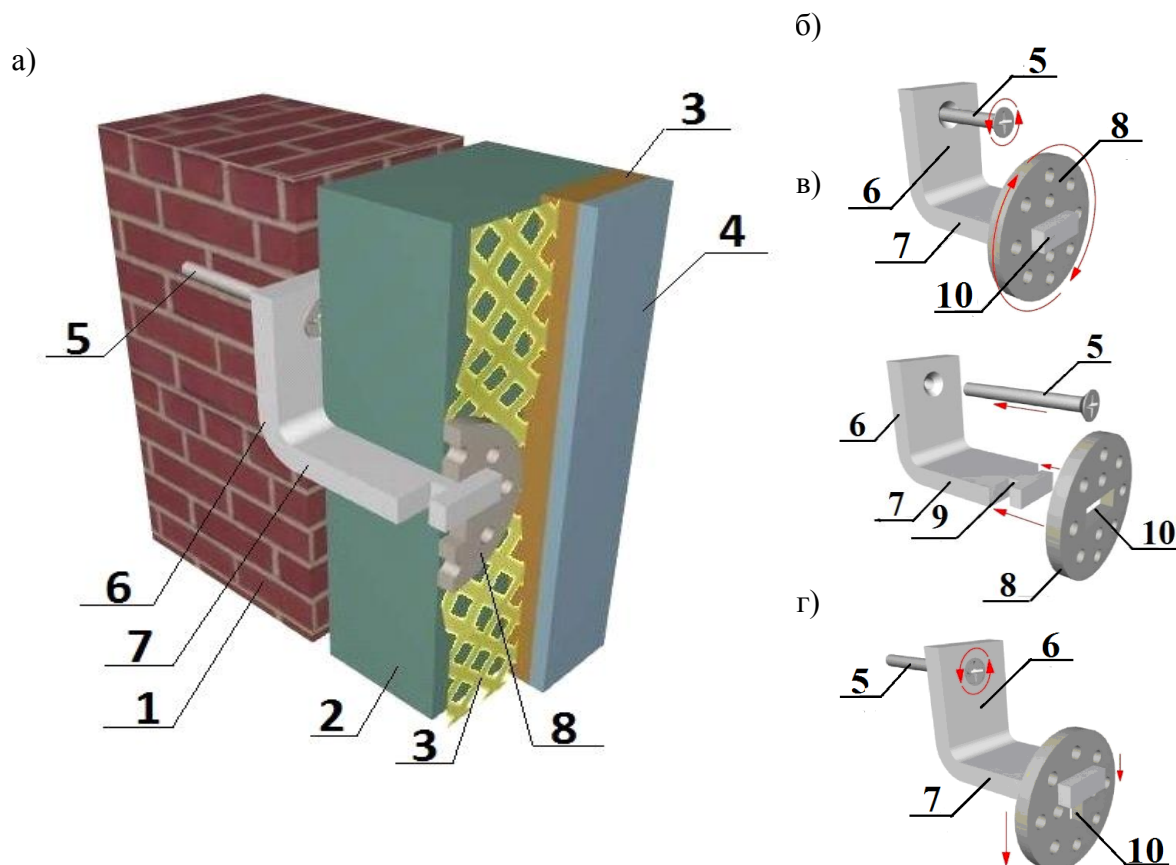


Рис.1. Конструктивно-технологическая система наружного утепления и отделки стен блоками пеностекла с разъемными пластиковыми кронштейнами: а) – общий вид в разрезе; б) – г) – этапы сборки элементов крепления блоков на поверхности стеновой конструкции; 1 – стена, 2 – утеплитель, 3 – армирующий штукатурный слой, 4 – облицовка, 5 – дюбель, 6 – кронштейн, 7 – его горизонтальная часть, 8 – шайба, 9 – паз в кронштейне 6, 10 – отверстие в шайбе 8

Fig.1. Structural and technological system of external insulation and wall decoration with foam glass blocks with detachable plastic brackets: a) - general view in section; b) – d) – assembly stages of the elements of fastening blocks on the surface of the wall structure; 1 – wall, 2 – insulation, 3 – reinforcing plaster layer, 4 – facing, 5 – dowel, 6 – bracket, 7 – its horizontal part, 8 – washer, 9 – groove in bracket 6, 10 – hole in washer 8

Цель работы – дальнейшее совершенствование конструктивно-технологической системы наружного утепления и отделки стен блоками пеностекла для приспособления технологии к реалиям строительно-коммунального сектора российской экономики. **Задачи:**

- Анализ отечественного и зарубежного опыта энергосберегающей политики, использования для этого изделий из пеностекла в конструкциях утепления и отделки строительных объектов с определением целесообразности, цели, задач и возможных направлений дальнейшего развития выделенной технологии;

- Разработка и патентование конструкции стеновой изоляционной системы штукатурного типа, предполагающей исключение выявленных недостатков и приближение ее к практике строительства и реконструкции;

- Оценка прогнозируемой эффективности использования разработки в проекте строительства конкретного объекта – 10-этажного жилого дома по Черноморской набережной в г. Феодосия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Устраняемым недостатком стеновой конструкции-прототипа представляется повышенное требование к ровности конструкции подосновы (стены) и калиброванной толщины блоков утеплителя. Только при таком условии возможна предложенная система фиксации утеплителя и армирующей сетки без существенного зазора между ними. На практике же часто наблюдаются как неровности утепляемой стены, так и колебания толщины используемых блоков утеплителя. Поэтому в основу строительно - технологического совершенствования стеновой конструкции поставлена техническая задача приспособления ее к условиям возможных неровностей предварительно устроенной поверхности стены и толщины устраиваемого слоя утеплителя. Решение поставленной задачи осуществляется путем обеспечения возможности организации плоскости фиксации шайбы на уголке кронштейна на изменяющемся расстоянии от стены. Для чего предложено часть кронштейна выполнить с профилированной нарезкой, имеющей утолщения,

а отверстие в шайбе меньше этих утолщений. Причем предпочтительно чтобы упомянутые

утолщения профиля нарезки были направлены к стене, как показано на Рис.2б.

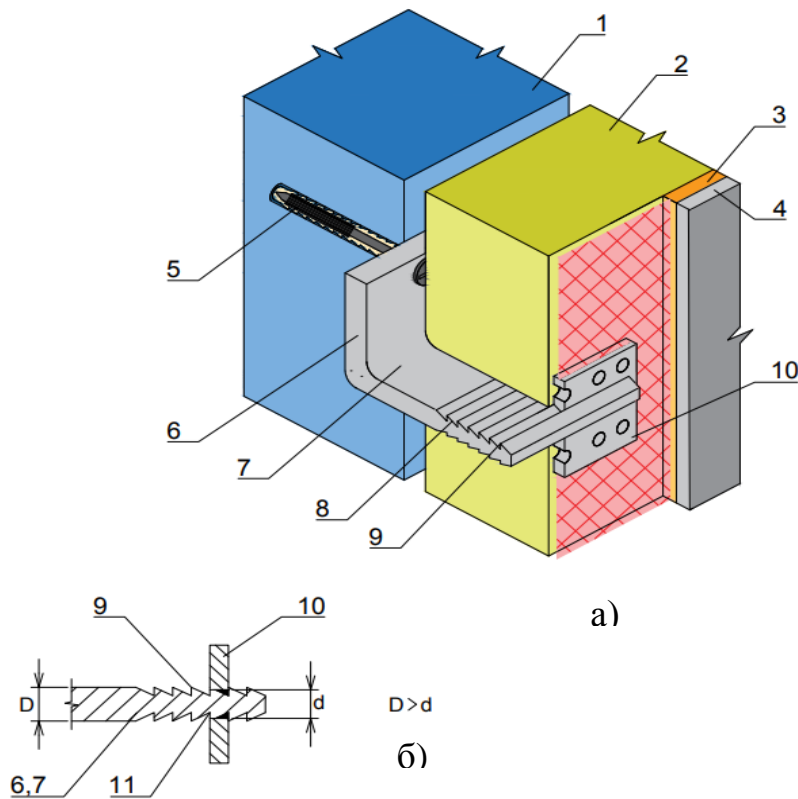


Рис.2. Конструктивно-технологическая система наружного утепления и отделки стен блоками пеностекла с разъемными пластиковыми кронштейнами: а) – общий вид в разрезе; б) – деталь фиксации шайбы на кронштейне
Fig.2. Structural and technological system of external insulation and wall decoration with foam glass blocks with detachable plastic brackets: a) - general view in section; b) -detail of fixing the washer on the bracket

Патентуемая изоляционно-отделочная конструкция (заявка №2023100833 от 16.01.2023г.) представляет собой подлежащую наружному утеплению и отделке стену 1, слой теплоизоляции 2 из блоков пеностекла, армирующий слой 3 и последующий слой наружной штукатурки 4. Крепление к стене 1 теплоизоляции 2 и армирующего слоя 3 выполнено при помощи оцинкованного анкера 5 с пластиковым уголком 6 кронштейна 7. Его горизонтальная полка снабжена профилированной нарезкой 8 с утолщениями 9 в направлении к стене 1. На кронштейн 7 одета шайба 10, отверстие 11 в которой меньше утолщений 9 нарезки 8.

Производство работ по устройству изоляционно-отделочной конструкции стены заключается в ниже следующем. В стене 1 пробуривают отверстия под анкеры 5. Слой теплоизоляции 2, преимущественно в виде кладки из блоков пеностекла, доводят до уровня будущего расположения горизонтальной полки 7 кронштейна 6 с профилированной нарезкой 8. Оцинкованный анкер 5, вместе с кронштейном 7 фиксируют в пробуренной скважине стены 1. На растворе или клеевом составе выполняют следующий ряд теплоизоляции 2 на полке 7 кронштейна 6 с нарезкой 8. На выступающую из плоскости теплоизоляции 2 часть кронштейна 6 одевают сначала сетку армирующего слоя 3, а затем

– шайбу 10. Отверстие 11 в шайбе 10 размером d меньше обращенных к стене утолщений 9 размером D нарезки 8 кронштейна 7, Рис. 2б. Прикладывая горизонтальные усилия к шайбе 10, последняя, деформируясь, перемещается к упору в слой теплоизоляции 2. Проскочив соответствующее утолщение 9 нарезки 8, шайба 10 обратно сдвигаться не сможет, таким образом фиксируя как собственное положение, так и слой теплоизоляции 2, вместе с сеткой армирующего слоя 3. Выступающую за шайбу 10 часть кронштейна 7 с нарезкой 8 срезают так, чтобы она не выходила за поверхность отделочного слоя впоследствии устраиваемой штукатурки 4.

Как пример, запроектированная изоляционно-отделочная система стены из тяжелого бетона толщиной 200 мм имеет слой теплоизоляции из блоков пеностекла толщиной 100 мм на растворе прикреплена к стене при помощи пластиковых кронштейнов длиной 150 мм и сечением 2 x 20 мм. Шайба крепления в исходном состоянии, до монтажа, имеет прямоугольное отверстие размером 21 x 1,5 мм, а глубина впадин в нарезке кронштейна – 0,25 мм. Таким образом, деформируясь под горизонтально приложенным усилием, шайба «скользит» по выступам нарезки кронштейна и фиксируется в нужном положении, соответствующем местным неровностям в профиле

стены и возможным отклонениям в толщине блочного или плитного утеплителя. Мы предполагаем, что подобный принцип фиксации утеплителя и армирующей сетки может быть применен и для других утепляюще-отделочных отделочных систем, например, с рулонным или плитным минераловатным утеплителем.

Проектирование технологии утепления и отделки наружных стен изделиями из пеностекла выполнено на примере 10-этажного жилого дома по Черноморской набережной в г. Феодосия. Конструктивная схема здания состоит из пространственного монолитного железобетонного каркаса, монолитных плит перекрытий, связанных со стенами жестко. Наружные и внутренние несущие стены здания номинальной толщиной 200 мм выполнены из монолитного железобетона. Перемычки оконных и дверных проемов – металлические из швеллера №20. Остекление оконных проемов из металлопластиковых изделий. Изначальным проектом предусматривалось утепление стен из пенополистирола с обрамлением оконных проемов минеральной ватой, финишная отделка - из декоративной штукатурки «короед».

Расчет стоимости строительного-монтажных работ по устройству конкурирующих систем теплоизоляции и отделки на объекте производился базисно-индексным методом с применением лицензированного программного комплекса «Гранд-Смета», с использованием нормативных сборников, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Крым № 483 от 25.09.2017г. «О введении в действие изменений в территориальные сметные нормативы Республики Крым». Локальные сметы составлены с применением накладных расходов, сметной прибыли и дополнительных начислений на условия труда, согласно Методик определения стоимости строительной продукции на территории Российской

Федерации: - с учетом непредвиденных работ и затрат в размере 2%; - при расчете применены индексы изменения сметной стоимости строительства по статьям затрат на 1 квартал 2023года для Республики Крым (Письмо Минстроя России от 30.01.2023 № 4125-ИФ/09). - налог на добавленную стоимость в размере 20%.

Расчет рыночной стоимости строительных материалов, использованных при производстве строительного-монтажных работ и отраженных в локальном сметном расчете. Стоимость аналогов установлена путем обзора цен предложения в сети Internet. Не учитывалась стоимость доставки при использовании объектов-аналогов, продаваемых в других регионах и городах РФ, в связи с тем, что географические границы рынка для потребительских товаров не являются ценообразующим признаком.

Экономия затрат на отопление в стоимостном выражении определялась по формуле:

$$\Delta \Theta = \Delta U \times \frac{24 \cdot \text{ГСОП}}{1163 \cdot 1000} \times \text{Ст.}, \text{ где:}$$

ΔU – разность потерь тепловой энергии через 1 м² наружной стены до проведения мероприятий по утеплению стен и после утепления;

ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, для жилого здания в г. Феодосия ГСОП = 2755,2 °С сут. /год;

1163 – переводной коэффициент из квтч в Гкал;

24 – количество часов в сутках;

1000 – переводной коэффициент мощности теплового потока из Вт в кВт;

Ст. – величина тарифа, руб./Гкал; (для расчета принимаем 2699,29 руб./Гкал – для г. Феодосия).

В результате получены сметные затраты и технико-экономические показатели сравнительной эффективности проекта, представленные в таблице.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели сравнительной эффективности технологий утепления изделиями из пеностекла и пенополистирола с минеральной ватой

Table 1. Technical and economic indicators of the comparative effectiveness of insulation technologies with products made of foam glass and expanded polystyrene with mineral wool

| № п.п. | Наименование показателя | Ед. измерения | Значение по варианту конструкции утепления и отделки | |
|--------|--|-----------------------|--|-------------------------|
| | | | Пенополистирол с минеральной ватой | Изделиями из пеностекла |
| 1 | Площадь утепляемого фасада | Кв. м | 3590 | 3590 |
| 2 | Толщина утеплителя | мм | 100 | 100 |
| 3 | Плотность утеплителя | кг/ м ³ | 30 | 160 |
| 4 | Термическое сопротивление конструкции стены | м ² ·°С/Вт | 2,55 | 2,36 |
| 5 | Теплопотери через кв. м стенового ограждения | кВт/м ² | 38,35 | 39,06 |
| 6 | Годовая экономия тепловой энергии на отопление | кВт/м ² | 29,19 | 28,68 |
| 7 | То же, в стоимостном выражении на объекте | тыс. руб. | 0,3676 | 0,3369 |
| 8 | Капитальные затраты на утепление и отделку кв. м | тыс. руб. | 9,947 | 10,371 |
| 9 | Простой срок окупаемости | лет | 26,62 | 30,7 |

ВЫВОДЫ

Полученные результаты не вступают в резкое противоречие с ранее опубликованными и проанализированными нами работами авторитетных специалистов строительной отрасли. Не устраивающий инвесторов срок окупаемости инвестиций в утепление объекта изделиями из пеностекла практически такой же, как и для утепления повсеместно распространенными плитами из пенополистирола в сочетании с минераловатными противопожарными рассечками. Но с учетом таких неоспоримых преимуществ пеностекла как его долговечность, прочность и огнестойкость, предложенная конструктивно-технологическая система утепления и отделки может иметь свою рациональную область применения в строительстве. Пока же окупаемость вложений в энергосбережение может существенно улучшиться только в случае сочетания этого мероприятия с другими, продлевающими жизненный цикл строительного объекта [2], а также приближения тарифов на тепло к уровню мировых цен, как это уже практически произошло по затратам на производство работ по утеплению и отделке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джигит, Т., Дюрр, Д., Туунанен, Я., Луома, М. Пассивные дома в Финляндии // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 8(13). – С. 12-19. DOI: 10.18720/CUBS.13.2
2. Шаленный В.Т., Мороз В.В. Возможность сокращения сроков окупаемости инвестиций в энергосбережение путем учета и совершенствования и других ресурсосберегающих мероприятий при реконструкции // Строительство и реконструкция. – 2016. – №6(67). – С.108-115.
3. Шаленный, В.Т. Ресурсосберегающее развитие конструктивно-технологических решений утепления и отделки наружных стен блоками из пеностекла /В.Т. Шаленный, О. Древетняк // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 10(62). – С. 89-96. – EDN VKAIQA.
4. Шаленный, В.Т. Повышение конкурентоспособности утепления наружных стен пеностеклом путём развития их конструктивно-технологических решений //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2019. – №3-4. – С.33-36.
5. Романенко, Т.Н. Утепление ограждающих конструкций / Т.Н. Романенко, С.И. Федоркин, В.Т. Шаленный. – Vienna: “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2016. – 365 с. – ISBN 978-3-903115-58-3. – EDN XFVFMN.
6. Шаленный, В.Т. Интенсификация и эргономика строительного производства / В.Т. Шаленный. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2021. – 340с. – ISBN 978-5-4365-8243-6. – EDN INGYRA.
7. Авдеева, А.О. Конструктивно-технологические решения возведения штукатурных фасадов зданий / А.О. Авдеева // Colloquium-Journal. – 2019. – № 9-1(33). – С. 12-13. – EDN AGYIQE.
8. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов //Жилищное строительство. – 2011. – №8. – С.2-6.
9. Горшков, А.С. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям [Текст] / А.С. Горшков, В.И. Ливчак // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №3(30) – С.3-30.
10. Дворецкий, А.Т. Низкоэнергетические здания: окна, фасады, солнцезащита, энергоэффективность: монография / А.Т. Дворецкий, А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин. – М.: Директ-Медиа, 2022. – 232с.
11. Езерский, В.А. Оптимизация параметров тепловой защиты зданий по экономическому критерию / В.А. Езерский, П.В. Монастырев, Р.Ю. Клычников //Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – №3. – С.13-16.
12. Вилинская, А.О., Немова, Д.В., Давыдова, Е.И., Гнам, П.А. Повышение класса энергоэффективности общественного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 9(36). – С. 7-17. DOI: 10.18720/CUBS.36.1.
13. Немова, Д.В., Горшков, А.С., Ватин, Н.И., Кашабин, А.В., Цейтин Д.Н., Рымкевич, П.П. Техничко-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11(26). С. 70-84. DOI: 10.18720/CUBS.26.6.
14. Вяткина, А. А. Анализ окупаемости работ по утеплению фасадов жилых домов для повышения их энергоэффективности при капитальном ремонте / А. А. Вяткина // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения: материалы Международных академических чтений, Курск, 15 ноября 2019 года. – Курск: Курский государственный университет, 2019. – С. 240-245. – EDN XVDBSU.
15. Окунев, А. Ю. Оптимизация утепления наружных стен на примере частных жилых домов / А.Ю. Окунев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 126-139. – DOI 10.31675/1607-1859-2019-21-1-126-139. – EDN VUHEQK.
16. Кокоев, М. Н. 25 лет универсальной вакуумно-порошковой теплоизоляционной панели // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – №12. С.22-28. doi: 10.33622/0869-7019.2022.12.22-28.
17. Богданов, В.Ф. Техничко-экономическая эффективность многослойных наружных стен / В.Ф. Богданов, Д.Н. Тарасов, И.П. Федосеева, В.П. Чумаков //Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции НАСКР-2016. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2016. – С. 343-348.

18. Степанцова, В.В. Достоинства и недостатки использования пеностекла в наружном утеплении стен зданий / В.В. Степанцова // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее: сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2022, Симферополь, 17-19 ноября 2022 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. – С. 216-219. – EDN KWMTWF.

19. Шелковникова, Т. И. Стратегический анализ и оценка рыночных перспектив материалов и изделий из пеностекла / Т. И. Шелковникова, Е. В. Баранов, Е. А. Пряженцева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 6. – С. 15-20. – DOI 10.12737/article_5b115a5f648ca5.27747964. – EDN FILDPU.

20. Болотин, В.Н. Виват, пеностекло! По материалам АО «Гомельстекло» / В.Н. Болотин // Стекло мира. – 2011. – № 1. – С. 28-30.

21. Минько, Н.И. Перспективы развития технологии и производства и применения пеностекла / Н.И. Минько, О.В. Пучка, М.Н. Степанова // Стекло мира. – 2011. – № 1. – С. 61-62. – EDN QZDNLB.

22. Минько, Н.И., Пучка, О.В., Евтушенко, Е.И., Нарцев, В.М., Сергеев, С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6. – С.849-854.

REFERENCES

1. Dzhigit, T., Durr, D., Tuunanen, Ya., Luoma, M. Passive houses in Finland // Construction of unique buildings and structures. 2013. No. 8(13). pp. 12-19. DOI: 10.18720/CUBS.13.2

2. Shalenny V.T., Moroz V.V. The possibility of reducing the payback period of investments in energy saving by taking into account and improving other resource-saving measures during reconstruction // Construction and reconstruction. – 2016. – № 6(67). – Pp.108-115.

3. Shalenny, V.T. Resource-saving development of structural and technological solutions for insulation and finishing of exterior walls with foam glass blocks / V.T. Shalenny, O. Drevetnyak // Construction and technogenic safety. – 2018. – № 10(62). – Pp. 89-96. – EDN VKAIQA.

4. Shalenny, V.T. Improving the competitiveness of insulation of external walls with foam glass by developing their structural and technological solutions // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. – 2019. – №3-4. – Pp.33-36.

5. Romanenko, T.N. Insulation of enclosing structures / T.N. Romanenko, S.I. Fedorkin, V.T. Shalenny. – Vienna: “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2016. – 365 p. – ISBN 978-3-903115-58-3. – EDN XFVFM.

6. Shalenny, V.T. Intensification and ergonomics of construction production / V.T. Shalenny. – Moscow: Limited Liability Company "Knorus Publishing House",

2021. – 340 p. – ISBN 978-5-4365-8243-6. – EDN INGYRA.

7. Avdeeva, A.O. Constructive and technological solutions for the construction of plaster facades of buildings / A.O. Avdeeva // Colloquium-Journal. – 2019. – № 9-1(33). – Pp. 12-13. – EDN AGYIQE.

8. Gagarin, V.G. Requirements for thermal protection and energy efficiency in the project of the updated SNIP "Thermal protection of buildings" / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Housing construction. – 2011. – No.8. – Pp.2-6.

9. Gorshkov, A.S. History, evolution and development of regulatory requirements to enclosing structures [Text] / A.S. Gorshkov, V.I. Livchak // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №3(30). – Pp.3-30.

10. Dvoretzky, A.T. Low-energy buildings: windows, facades, sun protection, energy efficiency: monograph / A.T. Dvoretzky, A.V. Spiridonov, I.L. Shubin. – M.: Direct-Media, 2022, 232 p.

11. Ezersky, V.A. Optimization of parameters of thermal protection of buildings by economic criterion / V.A. Ezersky, P. V. Monastirev, R.Y. Klychnikov // Industrial and civil construction. 2010. – No. 3. – Pp.13-16.

12. Vilinskaya, A.O., Nemova, D.V., Davydova, E.I., Gnam, P.A. Improving the energy efficiency class of a public building // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 9(36). Pp. 7-17. DOI: 10.18720/CUBS.36.1.

13. Nemova, D.V., Gorshkov, A.S., Vatin, N.I., Kashabin, A.V., Tseitin, D.N., Rymkevich, P.P. Feasibility study on insulation of exterior walls of an apartment building with a ventilated facade // Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 11(26). Pp. 70-84. DOI: 10.18720/CUBS.26.6.

14. Vyatkina, A.A. Analysis of the payback of work on the insulation of facades of residential buildings to increase their energy efficiency during major repairs / A. A. Vyatkina // Safety of the Russian Construction Fund problems and solutions: Materials of International Academic Readings, Kursk, November 15, 2019. – Kursk: Kursk State University, 2019. – Pp. 240-245. – EDN XVDBSU.

15. Okunev, A. Yu. Optimization of insulation of external walls on the example of private residential buildings / A. Yu. Okunev // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. – 2019. – VOL. 21. – No. 1. – Pp. 126-139. – DOI 10.31675/1607-1859-2019-21-1-126-139. – EDN VUHEQK.

16. Kokoev, M.N. 25 years of universal vacuum-powder thermal insulation panel // Industrial and civil construction. – 2022. – No.12. pp.22-28. doi: 10.33622/0869-7019.2022.12.22-28.

17. Bogdanov, V.F. Technical and economic efficiency of multilayer exterior walls / V.F. Bogdanov, D.N. Tarasov, I.P. Fedoseeva, V.P. Chumakov // New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials of the III International (IX All-Russian) Conference of NASKR-2016. – Cheboksary Chuvash Publishing House. un-ta. – 2016. – Pp. 343-348.

18. Stepantsova, V.V. Advantages and disadvantages of using foam glass in the external insulation of walls of buildings / V. V. Stepantsova // Innovative development of construction and architecture: a Look into the future: a collection of abstracts of participants of the International Student Construction Forum – 2022, Simferopol, November 17-19, 2022. – Simferopol: Limited Liability Company "Publishing House Printing House "Arial", 2022. – Pp. 216-219. – EDN KWMTWF.

19. Shelkownikova, T.I. Strategic analysis and evaluation of market prospects of materials and products made of foam glass / T.I. Shelkownikova, E.V. Baranov, E.A. Pryazhentseva // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. –

2018. – No. 6. – Pp. 15-20. – DOI 10.12737/article_5b115a5f648ca5.27747964. – EDN FILDPU.

20. Bolotin, V.N. Vivat, foam glass! Based on the materials of JSC "Gomelsteklo" / V.N. Bolotin // Glass of the world. – 2011. – No. 1. – pp. 28-30.

21. Minko, N. I. Prospects for the development of technology and production and application of foam glass / N.I. Minko, O. V. Puchka, M. N. Stepanova // Glass of the world. - 2011. – No. 1. – Pp. 61-62. – EDN QZDNLB. Minko, N.I., Pucha, O.V., Yevtushenko, E.I., Nartsev, V.M., Sergeev, S.V. Foam glass is a modern effective inorganic thermal insulation material // Fundamental Research No 6, 2013, Pp. 849-854.

IMPROVED STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF INSULATION AND FINISHING OF EXTERIOR WALLS WITH FOAM GLASS PRODUCTS AND ITS PAYBACK

Shalenny V.T., Stepanova V.V., Khalilov A.E.

Institute "Academy of Construction and Architecture"
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation

Abstract. This work is a generalization and continuation of the complex of scientific and applied and qualifying master's works aimed at resource-saving development of the construction and communal sector of the Russian economy. In particular, the article examines the issues of improving structures, the technology of their device and the economics of external insulation and wall decoration of civil buildings using foam glass products. The improved design of a wall fence with insulation made of plaster-type foam glass blocks is substantiated, an assessment of comparative economic efficiency by the criterion of a simple payback period at a specific civil facility in Feodosia is presented.

Subject of research: structural and technological systems of external insulation and wall decoration of civil buildings, technical and economic efficiency of their implementation in the current economic realities of the Republic of Crimea.

Materials and methods: analysis of the state of the issue with justification and detailing of the essence of the proposed technology, organizational and technological design of work at a specific facility, local estimates of competing technologies and evaluation of the simple payback period of energy saving for these technologies.

Results. the improved design of the wall fence with insulation made of foam glass blocks with a thickness of 100 mm, the technology of its installation and finishing with reinforced plaster of the "bark beetle" type. Technical and economic indicators of the proposed system in comparison with the most common plaster type system made of expanded polystyrene and mineral wool of approximately the same thickness.

Conclusions: The results obtained do not come into sharp contradiction with the previously published and analyzed works of reputable specialists in the construction industry. Investors are not satisfied with the payback period for investments in the insulation of the object with foam glass products is almost the same as for insulation with ubiquitous styrofoam plates in combination with mineral wool fire cuts. But taking into account such indisputable advantages of foam glass as its durability, strength and fire resistance, the proposed structural and technological system of insulation and finishing can have its own rational scope of application in construction. In the meantime, the payback of investments in energy saving can significantly improve only if this event is combined with others that prolong the life cycle of a construction object, as well as the approximation of heat tariffs to the level of world prices, as has already practically happened in terms of the costs of insulation and finishing works.

Key words: structural and technological systems of insulation and finishing, foam glass, return on investment.

УДК 691.535, 620.22

СОСТАВ ПРОПИТОЧНОГО РАСТВОРА ДЛЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КОМПОНЕНТАМИ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Духанина У.Н., Балицкий Д.А., Строкова В.В., Есина А.Ю., Кузнецова А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46,
Duhanina777@yandex.ru

Аннотация. Строительные материалы и изделия подвергаются различным видам коррозии, развитие которой сопряжено с большим числом переменных факторов, протекающих в сложной взаимосвязи. Скорость и характер протекания коррозионных процессов зависит от проницаемости бетонных изделий. Миграция агрессивных веществ в теле бетонной матрицы в результате транспортных механизмов (фильтрация, капиллярный перенос, диффузия) приводит к изменению пористости и, как следствие, физико-механических свойств материалов. Интенсивность транспортных процессов обуславливается с одной стороны внутренними параметрами (природой и составом вяжущего и иных компонентов цементной и бетонной системы, размерами заполнителей и пор), с другой, внешними параметрами (состоянием и степенью однородности поверхности изделия, наличием защитных покрытий, пропиток, изоляции и др.). В свою очередь установлено, что микробно-индуцированное осаждение кальция способствует повышению и/или пролонгации резистентности материалов к воздействию внешних агрессивных факторов.

Для оптимизации процесса нанесения пропиточного биоцементирующего состава высказана гипотеза о возможности введения бактериального инокулята и прекурсоров в состав эмульсии. В качестве базового состава предложено использование полисилоксановой эмульсии на основе водорастворимого полимера, предназначенной для гидрофобизации поверхности цементобетонных изделий, в виду ее биопозитивности за счет отсутствия в ее составе летучих органических веществ в качестве растворителя гидрофобизирующей смолы. Для установления влияния отдельных компонентов и технологических особенностей получения эмульсии на продуцирующую способность бактерий, проведена оценка влияния на них кремнийорганической жидкости ГКЖ-94, поливинилового спирта (ПВС), температуры и интенсивности диспергирования (эмульгирования).

Предмет исследования: влияние компонентов полисилоксановой эмульсии на бактериальную жизнедеятельность *B. pumilus*.

Материалы и методы: обоснование путей возможных технологических решений и их реализации при подборе состава пропиточного раствора, применяемого для бактериальной минерализации в цементной системе совместно с компонентами полисилоксановой эмульсии.

Результаты: зафиксировано отсутствие губительного воздействия как ПВС, так и ГКЖ на бактерии *B. pumilus*. Нагрев раствора ПВС с бактериальным инокулятом до 80° С привело к споруляции более 80% бактерий. Установлено, что высокоскоростное диспергирование вызывает повреждение клеток, отмечается споруляция бактерий до $1,3 \cdot 10^6$ КОЕ/мл против начального значения $2 \cdot 10^8$ КОЕ/мл.

Выводы: анализ влияния отдельных компонентов и технологических операций получения эмульсии на сохранность жизнеспособности бактериальных клеток подтвердила перспективность высказанной гипотезы.

Ключевые слова: бактерии, инкапсуляция, эмульсия, бактериальная биоминерализация, бетон.

ВВЕДЕНИЕ

Изделия на основе цемента являются наиболее широко используемыми строительными материалами благодаря их уникальным преимуществам, таким как физико-механические свойства, простота отливки в различные формы, низкая себестоимость и повышенная долговечность. Однако, наряду с вышеперечисленными преимуществами бетонные конструкции в процессе эксплуатации могут подвергаться различным видам коррозии. В результате фильтрации, капиллярного переноса или диффузии из окружающей среды в тело бетона и/или вынос вещества из бетона в окружающую среду происходит коррозия строительных конструкций, что в свою очередь приводит к увеличению пористости и снижению механических свойств строительных изделий. Таким образом, коррозия бетонных конструкций является результатом различных абиотических и биотических процессов [1].

В настоящее время для обработки поверхности строительных изделий широко используются различные защитные составы/покрытия и методы нанесения на поверхности для обеспечения качественной защиты. В виду того, что существуют некоторые недостатки, такие как разные коэффициенты теплового расширения защитного слоя и нижележащего слоя, деградация защитного слоя с течением времени и постоянный уход за ним [2].

Гигроскопичность и кислотонеустойчивость бетонов способствуют заселению их микроорганизмами и дальнейшей биокоррозии. Причинами биодеградации строительных материалов являются три основных процесса: механический, ассимиляционный (строительные материалы являются источником питания и энергии для микроорганизмов) и диссимиляционный (взаимодействие строительных материалов с агрессивными метаболитами микроорганизмов). Воздействие микроорганизмов на бетонные конструкции можно классифицировать по их влиянию на цементную матрицу, а также по

появлению дефектов и росту трещин. Это дополняется химическим действием микробных метаболитов, приводящим к изменению физико-химических свойств бетонных материалов и ускоряющим процесс разрушения [3].

Воздействие микроорганизмов на бетон приводит к увеличению пористости бетона, появлению трещин, сколов и других повреждений, что в конечном итоге значительно снижает срок службы этого материала. Благоприятными условиями для роста микробов на бетонных поверхностях являются повышенная влажность (от 60% до 98%), длительные циклы увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания, высокая концентрация углекислого газа, высокая концентрация Cl^- или SO_4^{2-} ионы и кислоты, продуцируемые микроорганизмами [4]. Основными деструкторами являются не только бактерии, но и микромицеты, синтезирующие широкий спектр органических кислот, которые могут быть чрезвычайно агрессивны по отношению к бетону [5].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рядом авторов описано применение технологии микробно-индуцированного осаждения кальцита как метода вторичной защиты памятников архитектуры. Так образующаяся плотная биоминерализованная пленка на поверхности мрамора формируется с помощью технологии МІСР как методом погружения, так и сплошным нанесением пропиточных растворов, что приводит к повышению долговечности. Аналогичные характеристики наблюдаются в образцах известняка, обработанных бактериями *Bacillus sphaericus* при оптимальной дозировке мочевины и источника кальция, что и для образцов, обработанных этилсиликатами, наряду со

снижением водопоглощения и устойчивостью к ультразвуку [1]. Таким образом, поверхностная обработка природного камня по технологии микробно-индуцированного осаждения кальцита приводит к коагматации кристаллическими новообразованиями пор строительных и отделочных материалов и, как следствие, изменению физических свойств.

Несмотря на большое разнообразие существующих методов и технологических решений восстановления бетонных изделий при формировании различного рода микродефектов и трещин, одним из достаточно новых, но перспективных направлений является применение карбонатной биоминерализации. Бактериальное осаждение карбоната кальция в цементной матрице приводит к уплотнению порового пространства и заполнению новообразованиями трещин, что, соответственно, приводит к восстановлению структуры цементного камня и исходных физико-механических свойств бетонных изделий. Однако, в процессе гидратации цемента повышается рН, изменяется объем цементного камня за счет усадки при твердении или набухания за счет поглощения воды из окружающей среды. Данные процессы влияют на ферментативную активность и жизнедеятельность карбонатогенных бактериальных культур, а, следовательно, и на эффективность биоминерализации. Согласно, исследованиям зарубежных и отечественных авторов по залечиванию микротрещин в бетонах с целью защиты микроорганизмов применяют технологии иммобилизации: инкапсулирование и абсорбирование. Абсорбирование осуществляется пористыми по своей структуре материалами за счет внутренней диффузии бактериальных клеток от поверхности вглубь заполнителя по порам различного размера [1].



Рис. 1. Методы инкапсулирования бактерий с последующим введением в бетон
Fig. 1. Methods for encapsulating bacteria with subsequent introduction into concrete

Технология инкапсулирования получила широкое распространение в различных областях промышленности, в том числе и в производстве строительных материалов. Существующие

технологии инкапсуляции микроорганизмов используют в качестве капсул биосовместимые нереакционноспособные материалы. Выбор материала для капсулирующей матрицы зависит от

назначения, способа и факторов высвобождения содержимого. Содержимое капсул может высвобождаться путем механического разрушения оболочки под действием деформаций цементобетонов (капсулы из стекла, форполимеров), а также при воздействии физических факторов: расплавление при повышении температуры и растворении при диффузии влаги из окружающей среды и повышении уровня pH (пленочные покрытия, стабилизированные эмульсии, гидрофильные матрицы) [6].

Наиболее применимыми методами инкапсуляции бактерий с последующим введением в бетон являются экструзия, сушка распыление и эмульгирование (рисунок 1).

Полимеризация. При полимеризации используемый для капсулирования хитозан модифицировали метакриловым альдегидом. 20 г/л хитозана растворяли в растворе уксусной кислоты (2 мас./об.%) при механическом перемешивании при комнатной температуре в течение 8 ч. После полного растворения pH смеси доводили до 5 добавлением 5 М раствора NaOH. Смешивание хитозана и метакрилового альдегида осуществлялось в течение 3 ч с последующей лиофилизацией. Заключительным этапом полимеризации являлось растворение модифицированного хитозана в водном растворе уксусной кислоты с нагреванием на водной бане при температуре 35 °С с добавлением бактерий *Bacillus sphaericus* [7, 8].

Экструзия. При инкапсуляции методом экструзии через сопла формирующих устройств под давлением капсулируемый материал подается в стабилизирующий раствор [9]. Смешанные бактерии *Bacillus sphaericus* с альгинатом натрия, подаются с помощью перистальтического насоса в раствор $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ для отверждения. Полученные капсулы осаждаются гравитационным методом и промываются дистиллированной водой [10].

В другом исследовании споры *Bacillus sphaericus* суспендировали до гомогенной суспензии в 200 мл 2% раствора альгината натрия и с помощью перистальтического насоса при 120 об/мин через иглу шприца диаметром 6 мм подавали в 2% раствор CaCl_2 . Твердение капсул осуществлялось при комнатной температуре 30 мин. Образовавшиеся капсулы промывали стерильной дистиллированной водой, сушили на чистой бумаге до полного высыхания и затем хранили в эксикаторе [11].

Метод распылительной сушки. Входящий воздух нагревался до 105 °С после прохождения через вентилятор. Перистальтический насос доставлял смешанные споры *Bacillus sphaericus* с 2% раствором альгината натрия в распылитель жидкости из нержавеющей стали. Температуру воздуха на выходе поддерживали до 73 °С, регулируя скорость потока подаваемого раствора и скорость аспирации на 10% и 100%. Высушенные капсулы хранились в плотно закрытом эксикаторе [11].

Метод сублимационной сушки. Перед сублимацией суспензию спор в 2% растворе альгината натрия замораживали при температуре – 46 °С в жидком этаноле, а затем смешанный раствор лиофилизировали в течение 24 часов в лабораторной сублимационной сушилке при температуре ниже 0 °С и давлении в камере 0,05 мбар (5 Па). Высушенные инкапсуляты измельчались и хранились в эксикаторе [11].

Коацервация и эмульгирование. Метод коацервации построен на концепции использования полифосфата в качестве добавки к цементу. Бионеорганический полимер является распространенным компонентом всех бактерий. Микрочастицы полифосфата кальция готовили путем добавления 2,8 г $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ растворяли в 25 мл дистиллированной воды и добавляли к 1 г *NanopolyP* в 25 мл дистиллированной воды при комнатной температуре при pH 10. После перемешивания образовывались микрочастицы, которые собирали фильтрованием, промывали этанолом и сушили. Микрочастицы имели размер ≈160–250 нм в диаметре [12]. Далее путем эмульгирования инкапсулировали питательные компоненты для биоминерализации. Для этого 10 г поливинилового спирта (ПВС) растворяли в 100 мл дистиллированной воды при 90 °С при перемешивании в течение 3 часов. Этот раствор добавляли к 200 мл парафинового масла с 10% Tween-80 с последующим введением 10 мл раствора CaCl_2 . После перемешивания частицы получали осаждением. Образовавшиеся сферы лиофилизировали при 80 °С. Для получения биополифункциональной добавки *PolyP* почвенные бактерии суспендировались в 1,0 мл 0,85% раствора NaCl, центрифугировались и с последующим экстрагированием. При оценке взаимодействия «инокулят *Escherichia coli* – эмульсионная система» и «добавки *PolyP* – эмульсионная система» отмечалась конверсия коацервата на поверхности цементного камня [13].

Таким образом, на основании анализа научной литературы предложена гипотеза о взаимном биопозитивном влиянии компонентов гидрофобизирующего пропиточного раствора с биоминерализующим, включающим в свой состав бактериальные культуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бактериальные культуры. В качестве бактериальной культуры, вызывающей гетерогенную нуклеацию кристаллов карбоната кальция в цементных системах, использована *Bacillus pumilus* (VKM В-23) Всероссийской коллекции микроорганизмов (VKM) Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина Российской академии наук (ИБФМ РАН). Выбор основан на способности бактерий продуцировать уреазу, возможности

спорообразования, отсутствие патогенности, токсичности, авирулентности.

Прекурсоры, участвующие в преципитации новообразований, и среды для культивирования микроорганизмов. С целью стимуляции уреазной ферментативной активности бактерий и продуцирования кристаллов карбоната кальция применялись следующие прекурсоры: CaCl_2 «ЧДА» производства ЗАО «Вектон», CH_4N_2 «ЧДА» производства ООО ПО «УфаХимПроект».

Питательной средой для роста бактериальных культур являлся раствор, имеющий в своем составе: пептон для бактериологических питательных сред сухой производства ООО НИЦФ, г. Санкт-Петербург; D-глюкозу ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) производства ЗАО «Вектон».

Компонентный состав гидрофобизирующей эмульсии. В роли дисперсной фазы выступает кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94 производства ООО «Химпродукт» (г. Люберцы), а в

качестве дисперсионной среды поливиниловый спирт (ПВС) марки SUNDY PVA 088-05 производства SINOPEC SICHUAN VINYLON WORKS (Китай).

Условия подготовки компонентов пропиточного раствора:

1. Для получения накопительных культур и оценки жизнеспособности бактериальные микроорганизмы инкубировались в жидкой питательной среде пептона с добавлением глюкозы.

2. CaCl_2 растворялся в дистиллированной воде и подвергался стерилизации методом автоклавирования при температуре 120°C в течение 20 мин. Гранулированную мочевины стерилизовали в сухожаровом шкафу при температуре 100°C в течение 20 мин с последующим растворением в дистиллированной воде с CaCl_2 . Компонентный состав кристаллизационного раствора представлен в таблице 1.

Таблица 1. Компонентный состав кристаллизационного раствора
Table 1. Component composition of the crystallization solution

| Наименование бактерий | Количественное содержание в составе кристаллизационного раствора, г/л | | | | |
|-----------------------|---|---------------------------|---------|---------------------------------|-----------------|
| | Дистиллированная вода, л | Питательные компоненты, г | | Прекурсоры, г | |
| | | Пептон | Глюкоза | $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ | CaCl_2 |
| <i>B. pumilus</i> | 1 | 30 | 10 | 20 | 20 |

Методы оценки взаимного влияния компонентов пропиточного раствора.

Определение взаимного влияния бактерий и компонентов эмульсии осуществлялось с помощью инвертированного микроскопа МИБ-Р с фотофиксацией. Для проведения измерений каплю помещали на предметное стекло и накрывали покровным стеклом, предварительно обезжирив их ацетоном.

Методика получения полисилоксановой эмульсии. Полисилоксановая эмульсия готовится путем высокоскоростного перемешивания при помощи лабораторного смесителя Silverson серии L5, где в качестве рабочей насадки используется сито для эмульгирования. Для приготовления

дисперсной фазы, включающей в себя ПВС, к смесителю дополнительно был собран лабораторный комплекс, состоящий из следующих элементов: нагревающего термостата-циркулятора Huber MPC-202C для поддержания температуры, двухшприцевого инфузионного насоса Dixon Instilar 1428 для дозирования дисперсионной среды, TDS-метра, и стакана-рубашки, используемого в качестве емкости для приготовления. Такой комплекс позволяет приготавливать эмульсии с требуемой концентрацией дисперсной фазы, что обеспечивает оптимальный состав, требуемой дисперсности, без применения каких-либо поверхностно-активных веществ (ПАВ), что повышает биопозитивность состава.

Таблица 2. Компонентный состав полисилоксановой эмульсии
Table 2. Component composition of polysiloxane emulsion

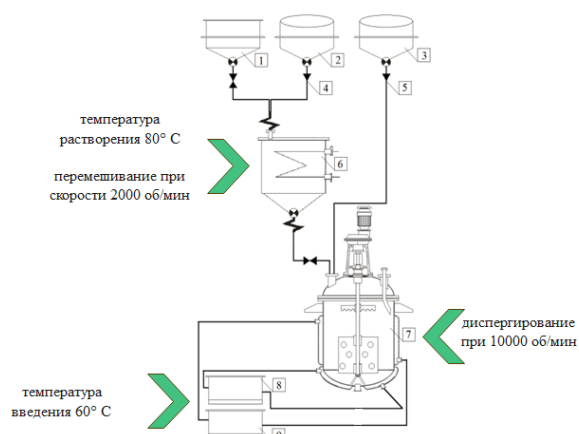
| Наименование компонента | Количественное содержание в составе |
|--|-------------------------------------|
| Дистиллированная вода, мл | 315 |
| Поливиниловый спирт (ПВС), г | 35 |
| Кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94, г | 150 |

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Этапы технологии приготовления силикоксановой эмульсии. С целью максимальной реализации природоподобных технологий в строительном материаловедении для вторичной защиты эксплуатируемых бетонных конструкций необходимо сформировать новые функционально-технологические свойства. Данные технологические решения могут достигаться путем подбора оптимальных пропиточных составов гидрофобизирующих эмульсий, включающих карбонатогенные бактериальные культуры. Предполагается, что компоненты силикоксановой эмульсии будут выполнять роль защитного покрытия для бактериальных культур в процессе инициации кристаллизации на поверхности и внутри цементного камня.

Технологию приготовления силикоксановой эмульсии можно разбить на следующие последовательные этапы [14]:

I – приготовление раствора ПВС.



1 – расходный бункер ПВС, 2 – емкость с водой, 3 – емкость с ГКЖ, 4 – насос с расходомером, 5 – дозировочный насос, 6 – реактор для синтеза водного раствора ПВС, 7 – смеситель, 8, 9 – термостат

Рис. 2. Технологическая схема и общий вид лабораторного комплекса для получения полисиликоксановых эмульсий

Fig. 2. Technological scheme and general view of the laboratory complex for the production of polysiloxane emulsions

Оценка влияния компонентов силикоксановой эмульсии и технологических этапов ее приготовления на жизнеспособность бактериальных культур. Анализировалось влияние каждой технологической операции и концентрации бактериального инокулята и компонентов пропиточного биоцементирующего состава.

С целью оценки жизнеспособности бактерий, участвующих в процессе индукции карбоната кальция в строительных материалах, исследована

Гранулированный ПВС добавляется в дистиллированную воду с дальнейшим перемешиванием при температуре 80° С на магнитной мешалке при скорости 2100 об/мин. Раствор охлаждают до комнатной температуры.

II – введение раствора ПВС в раствор ГКЖ-94. В раствор ГКЖ-94 на скорости 10000 об/мин двухшприцевым инфузионным насосом Dixon Instilar 1428 вводится раствор ПВС со скоростью 250 мл/час в стакан-рубашку, подключенный к термостату. Эмульгирование осуществляется до полного введения раствора ПВС при температуре не более 60°С до постоянства мутности.

Для подтверждения целесообразности применения технологии производства полисиликоксановой эмульсии проведена оценка влияния компонентов системы (кремнийорганической жидкости ГКЖ-94, поливинилового спирта (ПВС) и физических факторов технологических этапов (температура, перемешивание, диспергирование) на жизнеспособность бактерий (рисунок 2).



Лабораторный комплекс: лабораторный смеситель Silverson серии L5 с термостатом-циркулятором Huber MPC-202C и двухшприцевым инфузионным насосом Dixon Instilar 1428

культура рода *V. pumilus* как наиболее продуцирующая кристаллические новообразования и проявляющая устойчивость к физическим факторам окружающей среды. Для определения рациональной концентрации раствора бактериального инокулята с прекурсорами, его количество составляло 10% и 100% замещения дистиллированной воды, с последующим добавлением гранулированной формы ПВС (таблица 3).

Таблица 3. Компонентный состав пропитки
Table 3. Component composition of the impregnation

| Наименование компонента | Количественное содержание в составе | | | |
|---|-------------------------------------|-----|-------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Бактериальный инокулят <i>B. pumilus</i> с прекурсорами, мл | 31,5 | 315 | 31,5 | 315 |
| Дистиллированная вода, мл | 283,5 | – | 283,5 | – |
| Поливиниловый спирт (ПВС), г | 35 | 35 | – | – |
| кремнийорганическая жидкость ГКЖ–94, г | – | – | 150 | 150 |

В ходе оценки влияния компонентов эмульсии зафиксировано отсутствие губительного воздействия как ПВС, так и ГКЖ на бактерии *B. pumilus*.

С целью выявления термических условий влияния на жизнедеятельность бактерий нагревание раствора ПВС осуществлялось до 80° С. Установлено, что высокотемпературное воздействие при скорости перемешивания привело к споруляции более 85% бактерий для состава с полной заменой дистиллированной воды. Оценка

жизнеспособности культур при добавлении 10% бактериального инокулята без перемешивания вызвала затруднение количественного подсчета в виду агрегации микроорганизмов (рисунок 3).

Установлено, что высокоскоростное диспергирование вызывает повреждение клеток, отмечается споруляция бактерий до $1,3 \times 10^6$ КОЕ/мл против начального значения 2×10^8 КОЕ/мл при 100% замене дистиллированной воды (рисунок 3).

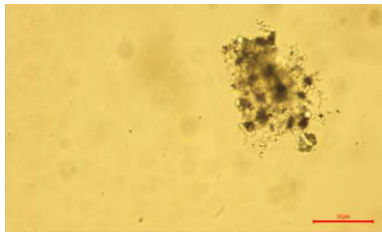
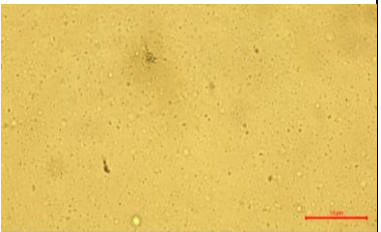
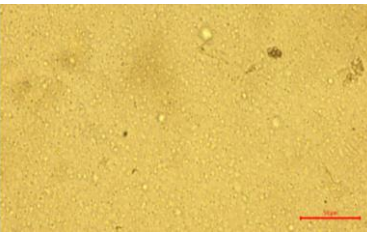
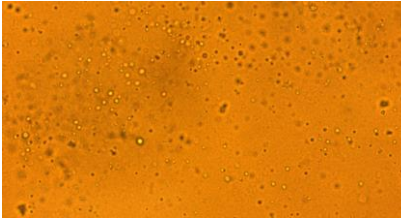
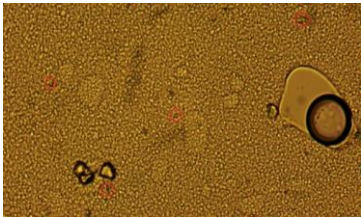
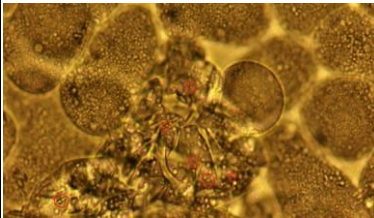
| | Без физического воздействия на бактерии | Перемешивание при t=80° С со скоростью 2000 об/мин | |
|-----|---|---|--|
| ПВС | 10% раствора бактериального инокулята с прекурсорами | 10 % раствора бактериального инокулята с прекурсорами (1) | 100 % раствора бактериального инокулята с прекурсорами (2) |
| |  |  |  |
| ГКЖ | 10% раствора бактериального инокулята с прекурсорами | Диспергирование при 10000 об/мин при t=60° С | |
| | | 10 % раствора бактериального инокулята с прекурсорами (3) | 100 % раствора бактериального инокулята с прекурсорами (4) |
| |  |  |  |

Рис. 3. Оценка жизнеспособности бактерии *B. pumilus* (составы 1–4 указаны согласно таблице 3)
Fig. 3. *B. pumilus* viability assessment (compositions 1–4 are indicated according to Table 3)

Анализ влияния отдельных компонентов и технологических операций получения эмульсии на сохранность жизнеспособности бактериальных

клеток подтвердил перспективность высказанной гипотезы.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ применяемых методов инкапсуляции бактериальных агентов для их использования в технологии карбонатной биоминерализации строительных материалов, обеспечивающих сохранение жизнеспособности и ферментативной активности бактерий за счет подбора биосовместимых сырьевых компонентов.

В ходе экспериментальных исследований обоснована возможность совместного использования компонентов силиконовой эмульсии с бактериальным инокулятом и прекурсорами как пропиточного раствора для вторичной защиты бетонов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

The work was realized within the framework of the implementation of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FZWN-2023-0006 using equipment of High Technology Center at BSTU named after V.G. Shukhov

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В., Духанина У.Н., Балицкий Д.А. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития // Строительные материалы. – 2019. – № 9. – С. 83-103.

2. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Сядук Г.В., Плитарак Ю.В. Гидрофобизация бетона как средство для повышения долговечности строительных конструкций // Бетон и железобетон. – 2015. – № 2. – С. 24-27.

3. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Коррозия и защита железобетонных конструкций в биологически активных средах // Вестник НИЦ Строительство. – 2013. – № 7-8. – С. 111-118.

4. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 708-716.

5. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Дергунова А.В., Завалишин Е.В. Повышение биостойкости строительных материалов и изделий посредством пропитки их пористой структуры // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2(14). – С. 218-222.

6. Maqbool S., Singh K. Effect of bacterial encapsulation in concrete: A review on applications and effects // Materials Today: Proceedings. 2020. Vol. 33.

pp. 1713 – 1719.

7. Zhu X., Mignon A., Nielsen S., Zieger S., Koren K., Boon N., De Belie N. Viability determination of *Bacillus sphaericus* after encapsulation in hydrogel for self-healing concrete via microcalorimetry and in situ oxygen concentration measurements // Cement and Concrete Composites. 2021. Pp. 119.

8. Wang J., Mignon A., Trenson G., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. A chitosan based pH-responsive hydrogel for encapsulation of bacteria for self-sealing concrete // Cement and Concrete Composites. 2018. № 93. Pp. 309 – 322.

9. Souid A., Esaker M., Elliott D., Hamza O. Experimental data of bio self-healing concrete incubated in saturated natural soil // Data in Brief. 2019. Vol. 26. pp. 104394

10. Feng J., Rohaizat R., Qian S. Polydopamine@carbon nanotube reinforced and calcium sulphoaluminate coated hydrogels encapsulating bacterial spores for self-healing cementitious composites // Cement and Concrete Composites. 2022. Pp. 20133.

11. Pungrasmi W., Intarasontron J., Jongvivatsakul P., Likitlersuang S. Evaluation of microencapsulation techniques for micp bacterial spores applied in self-healing concrete // Scientific reports. 2019. №9 (1). Pp. 12484.

12. Emad A., A new polyphosphate calcium material with morphogenetic activity // Materials Letters. 2015. Vol. 148. Pp. 163-166.

13. Müller W., Tolba E., Wang S., Li Q., Neufurth M., Ackermann M., Muñoz-Espí R., Schröder H., Wang X. Transformation of construction cement to a self-healing hybrid binder // International journal of molecular sciences. 2019. Vol. 20. Pp. 2948.

14. Ищенко А.В., Баскаков П.С., Строкова В.В., Молчанов А.О. Стабилизация и коалесценция гидрофобизирующих эмульсий на основе полисилоксановой жидкости // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – № 2. – С. 203 – 213.

REFERENCES

1. Strokova V.V., Vlasov D.Yu., Frank-Kamenetskaya O.V., Dukhanina U.N., Balitsky D.A. Application of microbial carbonate biomineralization in biotechnologies of building materials creation and restoration: analysis of the state and prospects of development // Stroitel'nye materialy. 2019. N 9. Pp. 83-103. (In Russian)

2. Rozental N.K., Chekhniy G.V., Syaduk G.V., Plitarak Yu.V. Hydrophobization of concrete as a means to increase the durability of building structures // Beton i zhelezobeton. 2015. N 2. Pp. 24-27. (In Russian)

3. Rosenthal N.K., Chekhniy G.V. Corrosion and protection of reinforced concrete structures in biologically active environments // Vestnik NITS Stroitel'stvo. 2013. N 7 – 8. Pp. 111-118. (In Russian)

4. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biocorrosion of cement concretes,

features of its development, assessment and forecasting // *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014. N 12. Pp. 708-716. (In Russian)

5. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Dergunova A.V., Zavalishin E.V. Increasing the biostability of building materials and products by impregnating their porous structure // *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2010. N 2 (14). Pp. 218 -222. (In Russian)

6. Maqbool S., Singh K. Effect of bacterial encapsulation in concrete: A review on applications and effects // *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 33. Pp. 1713- 1719.

7. Zhu X., Mignon A., Nielsen S., Zieger S., Koren K., Boon N., De Belie N. Viability determination of *Bacillus sphaericus* after encapsulation in hydrogel for self-healing concrete via microcalorimetry and in situ oxygen concentration measurements // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Pp. 119.

8. Wang J., Mignon A., Trenson G., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. A chitosan based pH-responsive hydrogel for encapsulation of bacteria for self-sealing concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2018. N 93. Pp. 309-322.

9. Souid A., Esaker M., Elliott D., Hamza O. Experimental data of bio self-healing concrete incubated in saturated natural soil // *Data in Brief*. 2019.

Vol. 26. pp. 104394

10. Feng J., Rohaizat R., Qian S. Polydopamine@carbon nanotube reinforced and calcium sulphoaluminate coated hydrogels encapsulating bacterial spores for self-healing cementitious composites // *Cement and Concrete Composites*. 2022. Pp. 20133.

11. Pungrasmi W., Intarasontron J., Jongvivatsakul P., Likitlersuang S. Evaluation of microencapsulation techniques for micp bacterial spores applied in self-healing concrete // *Scientific reports*. 2019. N 9 (1). Pp. 12484.

12. Emad A., A new polyphosphate calcium material with morphogenetic activity // *Materials Letters*. 2015. Vol. 148. Pp. 163-166.

13. Müller W., Tolba E., Wang S., Li Q., Neufurth M., Ackermann M., Muñoz-Espí R., Schröder H., Wang X. Transformation of construction cement to a self-healing hybrid binder // *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20. Pp. 2948.

14. Ishchenko A.V., Baskakov P.S., Strokova V.V., Molchanov A.O. Stabilization and coalescence of water-repellent emulsions based on polysiloxane fluid // *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*. 2018. N 2. Pp. 203-213. (In Russian)

COMPOSITION OF THE IMPREGNATING SOLUTION FOR BACTERIAL BIOMINERALIZATION AND FEATURES OF ITS INTERACTION WITH CEMENT SYSTEM COMPONENTS

Dukhanina U.N., Balitsky D.A., Strokova V.V., Esina A.Yu., Kuznetsova A.A.

BSTU named after V.G. Shukhov,
Duhanina777@yandex.ru

Abstract. Building materials and products are subjected to various types of corrosion, the development of which is associated with a large number of variable factors occurring in a complex relationship. The speed and nature of corrosion processes depends on the permeability of concrete products. The migration of aggressive substances in the body of the concrete matrix as a result of transport mechanisms (filtration, capillary transfer, diffusion) leads to a change in porosity and, as a consequence, the physical and mechanical properties of materials. The intensity of transport processes is determined on the one hand by internal parameters (the nature and composition of the binder and other components of the cement and concrete system, the size of aggregates and pores), on the other – by external parameters (the condition and degree of uniformity of the surface of the product, the presence of protective coatings, impregnations, insulation, etc.). In turn, it was found that microbial-induced calcite deposition contributes to an increase and/or prolongation of the resistance of materials to external aggressive factors.

In order to optimize the process of applying an impregnating biocementitious composition, a hypothesis has been proposed about the possibility of introducing bacterial inoculate and precursors into the composition of the emulsion. The use of a polysiloxane emulsion based on a water-soluble polymer intended for the hydrophobization of the surface of cement concrete products, due to its biopositivity due to the absence of volatile organic substances in its composition as a solvent of hydrophobizing resin, is proposed as a base composition. To establish the influence of individual components and technological features of emulsion production on the producing ability of bacteria, an assessment of the effect of organosilicon liquid GKZH-94, polyvinyl alcohol (PVA), temperature and intensity of dispersion (emulsification) on them was carried out.

Subject: Influence of polysiloxane emulsion components on the bacterial activity of *B. pumilus*.

Materials and methods: Substantiation of the ways of possible technological solutions and their implementation in the selection of the composition of the impregnating solution used for bacterial mineralization in the cement system together with the components of the polysiloxane emulsion.

Results: The absence of harmful effects of both PVA and GKZH on *B. pumilus* bacteria was recorded. Heating the PVA solution with a bacterial inoculum to 60° C led to sporulation of more than 80% of bacteria. It has been established that high-speed dispersion causes cell damage, there is a sporulation of bacteria up to $1,3 \times 10^6$ CFU/ml against the initial value of 2×10^8 CFU/ml.

Conclusions: The analysis of the influence of individual components and technological operations of obtaining an emulsion on the preservation of the viability of bacterial cells confirmed the prospects of the expressed hypothesis.

Key words: Bacteria, encapsulation, emulsion, bacterial biomineralization, concrete.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 514.83

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ В КОНИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

Неснов Д.В.

Самарский государственный технический университет
443100 ул. Молодогвардейская, 244,
soft73@mail.ru

Аннотация. В научной литературе теория поля наиболее полно освещена в цилиндрической и сферической системах координат. Это объясняется тем, что математический аппарат данных систем наиболее хорошо изучен. Когда источник поля имеет более сложную структуру, чем точка или прямая возникает необходимость в новых подходах к их изучению. Целью данного исследования является адаптация теории поля, отнесенной к криволинейным координатам, с целью ее представления в нормальных конических координатах. Кроме того, важной частью исследования является разработка аппарата геометрического моделирования поверхностей уровня скалярных и векторных полей средствами компьютерной графики. В статье показаны зависимости нормальных конических координат от прямоугольных декартовых, коэффициенты Лапласа. Получены дифференциальные характеристики скалярных и векторных полей в нормальных конических координатах: лапласиан скалярного и векторного полей, дивергенция, ротор векторного поля. На приведенном примере показаны особенности применения математического аппарата геометрического моделирования поля в нормальных конических координатах. Впервые получены выражения характеристик скалярного и векторного полей в нормальных конических координатах. Разработаны методы геометрического моделирования полей с использованием средств компьютерной графики для обеспечения наглядности в их изучении.

Предмет исследования: предметом исследования являются элементы теории поля в конических координатах. В работе решаются проблемы описания скалярных и векторных полей, когда форма источника более сложная, чем точка или прямая.

Материалы и методы: основным базисом работы служат исследования общей теории поля в криволинейных координатах. Основными методами исследования являются аналитические с привлечением графических методов.

Результаты: в работе впервые описаны характеристики векторных и скалярных полей в нормальных конических координатах. Дан пример на основе которого рассмотрен математический аппарат визуализации моделируемых полей.

Выводы: полученные выражения дифференциальных характеристик скалярных и векторных полей в нормальных конических координатах применимы для исследования полей сложной структуры, с криволинейным источником. Показанная методика анализа внутренних уравнений скалярных полей дает возможность управлять формой поверхностей уровня.

Ключевые слова: теория поля, конические координаты, моделирование, внутренние уравнения поверхностей.

ВВЕДЕНИЕ

Множество различных процессов и явлений моделируются с применением математического аппарата теории поля. Элементы теории поля наиболее полно представлены в векторном изложении в прямоугольных декартовых координатах.

Когда источники поля имеют различные геометрические формы, то их удобно описывать с применением специальных систем координат. К примеру, если источник поля сконцентрирован в точке, его дифференциальные характеристики удобно описывать в сферических координатах. Получаемые поверхности уровня будут представлять собой сферы, с центром в источнике поля (концентрические сферы). Если источником поля является прямая, то дифференциальные характеристики будут описываться в цилиндрических координатах. При этом поверхностями уровня будут соосные цилиндры.

Теория поля с точечным и линейным источниками наиболее полно исследованы и описаны в научной литературе. Это объясняется

тем, что описывающий их математический аппарат основан на использовании сферической и цилиндрической системах координат.

При описании полей сложной структуры, когда источник имеет форму отличную от точки или прямой возникают осложнения математического плана. Они требуют новых методов исследования в изучении процессов, происходящих в среде таких полей.

Одними из наиболее простых поверхностей является конус. В данной работе будут рассмотрена теория поля в конических координатах. При изучении поверхностей уровня тепловых полей с источником в виде внешних конических поверхностей выяснилось, что эти поверхности не совпадают с семьями эквидистантных конусов. Они также не являются координатными, в какой либо из общеизвестных координатных систем. Именно это является причиной, которая значительно усложняет математический аппарат описания полей и определения их характеристик.

Целью данной работы является введение новых координатных систем для определения характеристик скалярных и векторных полей. При

решении данной задачи обязательным является сохранение условия совпадения координатных семей поверхностей с поверхностями уровня поля или с предельными поверхностями процесса.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Работа основана на:

- положениях классической общей теории поля в криволинейных координатах [1-7];
- теории параметризации геометрических фигур и условий [8-11];
- а также современных представлениях и исследованиях теории поля [12-16].

В приведенной статье теория поля показана в нормальных конических координатах. Определителем семейства поверхностей является конус, и соответственно источником скалярных полей – коническая поверхность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным методом исследования был аналитический метод. Для визуализации полей и удобства изучения был применен графический метод.

При аналитическом описании скалярных и векторных полей возникает проблема поиска средств предотвращения несовпадений поверхностей уровня с координатными поверхностями применяемой системы координации пространства.

Основной идеей работы является введение новой координации пространства для представления поля и определения его характеристик, соответствующих условию совпадения одной или двух координатных семей поверхностей с одной или двумя поверхностями уровня поля или с предельными поверхностями процесса, обеспечивает предотвращение упомянутых осложнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Функции, которые вводят конические координаты:

$$\begin{aligned} x &= (u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \cos t; \\ y &= (u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \sin t; \\ z &= u \cdot \cos \alpha - v \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

На рисунке 1 показан конус-определитель.

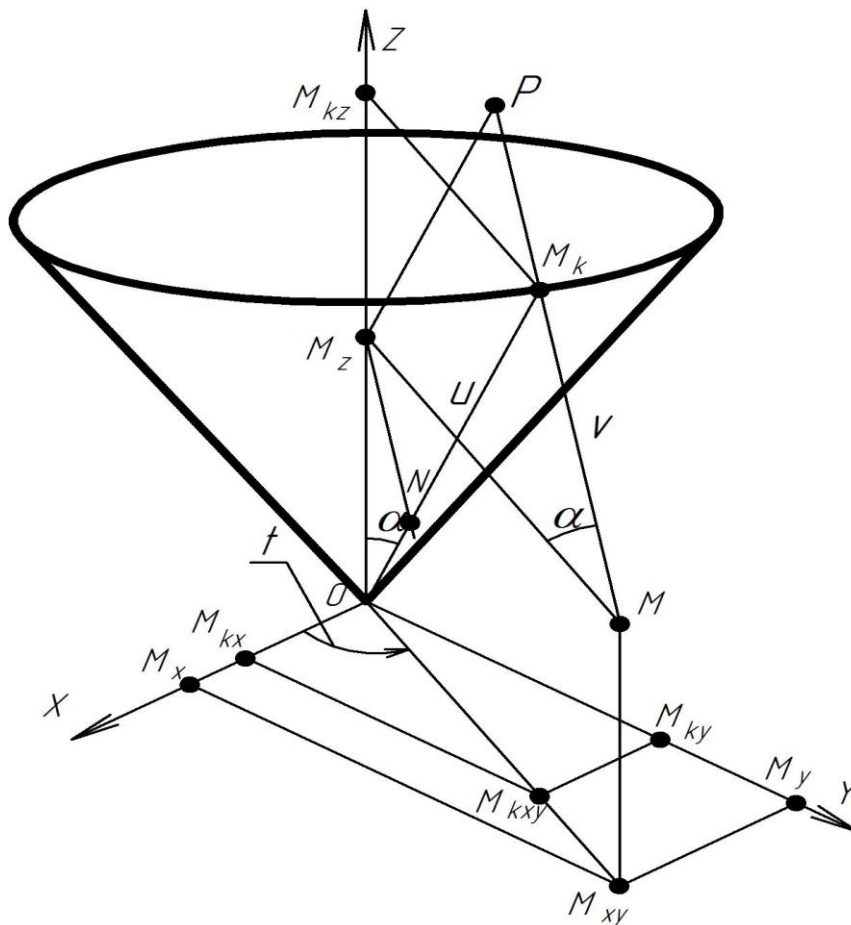


Рис. 1. Изображение конуса-определителя
Fig.1. Shows the cone-determinant.

Функции зависимости нормальных конических координат t, u, v от прямоугольных декартовых координат. Поскольку t - параметр полуплоскости, а не плоскости, для обеспечения однозначности и для предотвращения деления на ноль в компьютерных расчетах определим координату t на интервале $0 \leq t \leq 2\pi$ и добавим выше полученные выражения для u и v

$$\begin{aligned} t &= \frac{\pi}{2}, \text{ если } x = 0, y > 0; \\ t &= \frac{3\pi}{2}, \text{ если } x = 0, y < 0; \\ t &= \arctg \frac{y}{x}, \text{ если } x > 0, y > 0; \\ t &= \arctg \frac{y}{x} + \pi, \text{ если } x < 0; \\ t &= \arctg \frac{y}{x} + 2\pi, \text{ если } x > 0, y < 0; \\ u &= \sqrt{x^2 + y^2} \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha; \\ v &= \sqrt{x^2 + y^2} \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

Условие возможности однозначного разрешения уравнений (1) относительно t, u, v и уравнений (2) относительно x, y, z

$$\frac{D(x, y, z)}{D(t, u, v)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} & \frac{\partial z}{\partial t} \\ \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{vmatrix} = u \sin \alpha + v \sin \alpha \neq 0 \quad (3)$$

где частные производные используют для функций (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= -(u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \sin t, \\ \frac{\partial x}{\partial u} &= \sin \alpha \cdot \cos t, \\ \frac{\partial x}{\partial v} &= \cos \alpha \cdot \cos t, \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= (u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \cos t, \\ \frac{\partial y}{\partial u} &= \sin \alpha \cdot \sin t, \\ \frac{\partial y}{\partial v} &= \cos \alpha \cdot \sin t, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial t} &= 0, \\ \frac{\partial z}{\partial u} &= \cos \alpha, \\ \frac{\partial z}{\partial v} &= -\sin \alpha. \end{aligned}$$

Те точки, в которых выражение якобиана (3) равно нулю,

$$u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha = 0 \quad (5)$$

составляют область пространства, координация которой нормальными коническими координатами невозможна. Определим v из (5)

$$v = -u \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Уравнению (6) соответствует ось конуса, которая совпадает с осью oz .

Определению области существования введенной системы нормальных конических координат (область правильной координации пространства нормальными коническими координатами) будет посвящена другая статья.

Дифференциально-геометрические характеристики полей в нормальных конических координатах

Найдем выражения частных производных функций

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= -(u \sin \alpha + v \cos \alpha) \sin \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right]; \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= (u \sin \alpha + v \cos \alpha) \cos \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right]; \\ \frac{\partial z}{\partial t} &= 0; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial x}{\partial u} = \sin \alpha \cos \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right];$$

$$\frac{\partial y}{\partial u} = \sin \alpha \sin \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right];$$

$$\frac{\partial z}{\partial u} = \cos \alpha;$$

$$\frac{\partial x}{\partial v} = \cos \alpha \cos \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right];$$

$$\frac{\partial y}{\partial v} = \cos \alpha \sin \left[t + \frac{(1 - \operatorname{sign}(u \operatorname{tg} \alpha + v))\pi}{2} \right];$$

(7)

$$\frac{\partial z}{\partial v} = -\sin \alpha.$$

Коэффициенты Ламе для нормальных конических координат определяем по формулам (7):

$$H_t = u \sin \alpha + v \cos \alpha, \quad H_u = 1, \quad H_v = 1. \quad (8)$$

Элементарные перемещения:

- при изменении только t
 $dS_t = (u \sin \alpha + v \cos \alpha) dt$;
 - при изменении только u $dS_u = du$;
 - при изменении только v $dS_v = dv$.

Дифференциал дуги

$$dS^2 = (u \sin \alpha + v \cos \alpha)^2 dt^2 + du^2 + dv^2. \quad (10)$$

Дифференциал объема

$$d\tau = (u \sin \alpha + v \cos \alpha) dt du dv. \quad (11)$$

Расчеты показали, что система нормальных конических координат относится к триортогональным системам. Так как коэффициенты H_t, H_u, H_v удовлетворяют шести дифференциальным уравнениям второго порядка в частных производных, все слагаемые которых нулевые. То есть, в такой системе каждая пара координатных поверхностей пересекается между собой по линиям кривизны.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{H_t} \frac{\partial H_u}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{1}{H_u} \frac{\partial H_t}{\partial u} \right) + \frac{1}{H_v^2} \frac{\partial H_t}{\partial v} \frac{\partial H_u}{\partial v} = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{1}{H_u} \frac{\partial H_v}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{1}{H_v} \frac{\partial H_u}{\partial v} \right) + \frac{1}{H_t^2} \frac{\partial H_u}{\partial t} \frac{\partial H_v}{\partial t} = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{1}{H_v} \frac{\partial H_t}{\partial v} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{H_t} \frac{\partial H_v}{\partial t} \right) + \frac{1}{H_u^2} \frac{\partial H_v}{\partial u} \frac{\partial H_t}{\partial u} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 H_t}{\partial u \partial v} - \frac{1}{H_u} \frac{\partial H_u}{\partial v} \frac{\partial H_t}{\partial u} - \frac{1}{H_v} \frac{\partial H_v}{\partial u} \frac{\partial H_t}{\partial v} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 H_u}{\partial v \partial t} - \frac{1}{H_v} \frac{\partial H_v}{\partial t} \frac{\partial H_u}{\partial v} - \frac{1}{H_t} \frac{\partial H_t}{\partial v} \frac{\partial H_u}{\partial t} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 H_v}{\partial t \partial u} - \frac{1}{H_t} \frac{\partial H_t}{\partial u} \frac{\partial H_v}{\partial t} - \frac{1}{H_u} \frac{\partial H_u}{\partial t} \frac{\partial H_v}{\partial u} = 0.$$

$$N = \iint_S [a_t(t, u, v) \cos(\bar{n}_t \wedge e_t) + a_u(t, u, v) \cos(\bar{n}_u \wedge e_u) + a_v(t, u, v) \cos(\bar{n}_v \wedge e_v)] dS \quad (16)$$

где \bar{n} - вектор нормали к элементарной площади dS .

Конкретизировать формулу возможно лишь после представления поля и поверхности.

Дивергенция (расхождение) векторного поля вычисляется с учетом выражений коэффициентов Ламе (8)

Вектор-градиент скалярного поля в точке t, u, v , отнесенный к подвижному локальному реперу

$$G = \text{grad} F = \frac{1}{(u \sin \alpha + v \cos \alpha)} \frac{\partial F}{\partial t} e_t + \frac{\partial F}{\partial u} e_u + \frac{\partial F}{\partial v} e_v \quad (12)$$

Производная скалярного поля по направлению \bar{l}_0

$$\bar{l}_0 = \cos \bar{\alpha} e_t + \cos \bar{\beta} e_u + \cos \bar{\gamma} e_v, \quad (13)$$

где $\cos \bar{\alpha}, \cos \bar{\beta}, \cos \bar{\gamma}$ направляющие конусы орта \bar{l}_0 относительно репера e_t, e_u, e_v

$$\frac{dF}{dl} = \frac{G_t}{|G|} \cos \bar{\alpha} + \frac{G_u}{|G|} \cos \bar{\beta} + \frac{G_v}{|G|} \cos \bar{\gamma}. \quad (14)$$

где

$$G_t = \frac{1}{u \sin \alpha + v \cos \alpha} \frac{\partial F}{\partial t}, \quad G_u = \frac{\partial F}{\partial u},$$

$$G_v = \frac{\partial F}{\partial v}, \quad |G| = \sqrt{G_t^2 + G_u^2 + G_v^2}.$$

Лапласиан скалярного поля с учетом выражений H_t, H_u, H_v (2.15)

$$\Delta F = \frac{1}{u \sin \alpha + v \cos \alpha} \left[\frac{\partial^2 F}{\partial t^2} \frac{1}{u \sin \alpha + v \cos \alpha} + \frac{\partial^2 F}{\partial u^2} (u \sin \alpha + v \cos \alpha) + \frac{\partial F}{\partial u} \sin \alpha + \frac{\partial^2 F}{\partial v^2} \cos \alpha \right]. \quad (15)$$

Поток вектора \bar{a} через поверхность S определяется по формуле:

$$\operatorname{div} \bar{a} = \frac{1}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \left[\frac{\partial a_t}{\partial t} + (u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \frac{\partial a_u}{\partial u} + a_u \sin \alpha + (u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha) \frac{\partial a_v}{\partial v} + a_v \cos \alpha \right].$$

После упрощений получаем

$$\operatorname{div} \bar{a} = \frac{\frac{\partial a_t}{\partial t} + a_u \sin \alpha + a_v \cos \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} + \frac{\partial a_u}{\partial u} + \frac{\partial a_v}{\partial v}. \quad (17)$$

Как видим дивергенция векторного поля это скаляр. Лапласиан векторного поля

$$\begin{aligned} \Delta \bar{a} = & \left[\frac{1}{(u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha)^2} \frac{\partial^2 a_t}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 a_t}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_t}{\partial v^2} + \frac{\sin \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_t}{\partial u} + \right. \\ & \left. + \frac{\cos \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_t}{\partial v} \right] e_t + \left[\frac{1}{(u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha)^2} \frac{\partial^2 a_u}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 a_u}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_u}{\partial v^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\sin \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_u}{\partial u} + \frac{\cos \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_u}{\partial v} \right] e_u + \\ & \left[\frac{1}{(u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha)^2} \frac{\partial^2 a_v}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 a_v}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 a_v}{\partial v^2} + \frac{\sin \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_v}{\partial u} + \right. \\ & \left. + \frac{\cos \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_v}{\partial v} \right] e_v. \end{aligned} \quad (18)$$

Ротор (вихрь) векторного поля определяется с учетом выражений H_t, H_u, H_v (8)

$$\begin{aligned} W_t &= \frac{\partial a_v}{\partial u} - \frac{\partial a_u}{\partial v}; \\ W_u &= \frac{\partial a_t}{\partial v} + \frac{\cos \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} a_v - \frac{1}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_v}{\partial t}; \\ W_v &= \frac{1}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \frac{\partial a_u}{\partial t} - \frac{\partial a_t}{\partial u} - \frac{\sin \alpha}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} a_t. \\ \operatorname{rot} \bar{a} &= \left(\frac{\partial a_v}{\partial u} - \frac{\partial a_u}{\partial v} \right) e_t + \left[\frac{\partial a_t}{\partial v} + \frac{1}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \left(a_v \cos \alpha - \frac{\partial a_v}{\partial t} \right) \right] e_u + \\ &+ \left[\frac{1}{u \cdot \sin \alpha + v \cdot \cos \alpha} \left(\frac{\partial a_u}{\partial t} - a_t \sin \alpha \right) - \frac{\partial a_t}{\partial u} \right] e_v. \end{aligned} \quad (19)$$

Приведенные выражения дифференциально-геометрических характеристик скалярного и векторного полей, представленных в нормальных конических координатах, позволяют составлять геометрическую модель поля и привлекать к ее изучению наглядные средства компьютерной графики.

Покажем на конкретном примере особенности применения приведенного математического аппарата геометрического моделирования поля в нормальных конических координатах.

Пример. Вычислить производную скалярного поля

$$F = -0,25 \sin u \cos 6t - v \quad (20)$$

по направлению

$$\bar{l}^0 = 3e_t + 4,8e_u - 2e_v \quad (21)$$

в точке $M (t=0,4, u=10, v=-5)$. Параметр конуса-определителя системы $\alpha = 0.52$.

Показать поверхности уровня скалярного поля (20)

$$v = -0,25 \sin u \cos 6t + i \Delta C \quad (22)$$

при $i = 0, 1, 2, \Delta C = 0,4, 0 \leq t \leq 2\pi, 0,5 \leq u \leq 1,57$.

Решение. Найдем направляющие косинусы вектора \bar{l}_0 в базисе e_t, e_u, e_v

$$\cos \bar{\alpha} = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 4,8^2 + 2^2}} = 0,5;$$

$$\cos \bar{\beta} = \frac{4,8}{\sqrt{3^2 + 4,8^2 + 2^2}} = 0,8;$$

$$\cos \bar{\gamma} = -\frac{2}{\sqrt{3^2 + 4,8^2 + 2^2}} = -0,3317.$$

Найдем координаты G_t, G_u, G_v вектора градиента скалярного поля (20) по формулам (12)

$$G_t = -\frac{1}{u \sin \alpha + v \cos \alpha} 6(-0,25) \sin u \sin 6t,$$

$$G_u = -0,25 \cos u \cos 6t, \quad G_v = -1.$$

Подставим значения координат точки M и параметра α конуса-определителя. Получим

$$G_t = \frac{-6(-0,25) \sin(10) \sin(6 \cdot 0,4)}{10 \sin(0,52) - 5 \cos(0,52)} = -0,8763;$$

$$G_u = (-0,25) \cos(10) \cos(6 \cdot 0,4) = -0,1546;$$

$$G_v = -1.$$

Модуль вектора градиента

$$G = \sqrt{(-0,8763)^2 + (-0,1546)^2 + 1^2} = \\ = \sqrt{0,7679 + 0,0239 + 1} = 1,3386$$

Вычисляем значение производной скалярного поля (20) по направлению (21) в точке M , воспользовавшись формулой (14) и значением направляющих косинусов

$$\frac{dF}{dl} = -\frac{0,8763}{1,3386} \cdot 0,5 - \frac{0,1546}{1,3386} \cdot 0,8 - \\ - \frac{1}{1,3386} (-0,3317) = -0,1653$$

Поверхности уровня строим по внутренним уравнениям (22).

На рисунке 2 показаны три поверхности уровня вместе, на рисунках 3, 4 и 5 эти поверхности показано отдельно.

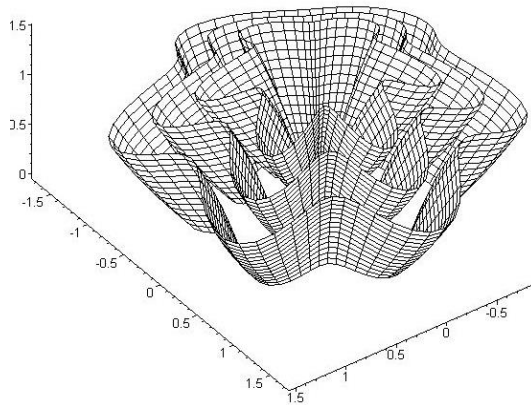


Рис. 2. Поверхности уровня $v = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) + i \Delta C$ скалярного поля $F = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) - v$ с параметрами $\Delta C=0,4; i=0, 1, 2; \alpha=0,52; h=-0,25; n=6; u=0,5 \dots 1,57; t=0 \dots 2\pi$

Fig. 2. Surfaces of the level $v = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) + i \Delta C$ of a scalar field $F = h \cdot \sin u \cdot \cos(n \cdot t) - v$ with parameters $\Delta C=0,4; i=0, 1, 2; \alpha=0,52; h=-0,25; n=6; u=0,5 \dots 1,57; t=0 \dots 2\pi$

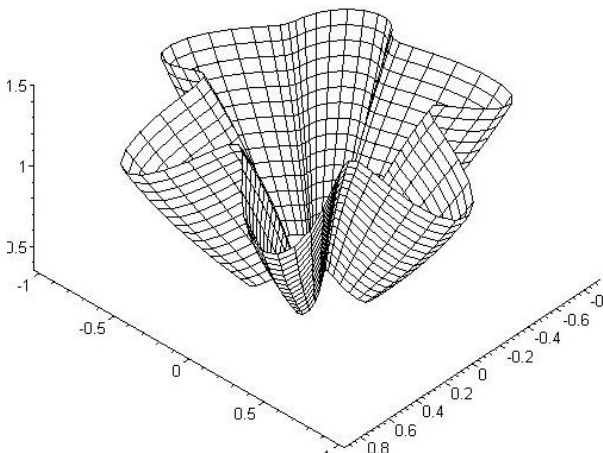


Рис. 3. Поверхности уровня $i=0$
Fig. 3. Surfaces of the level $i=0$

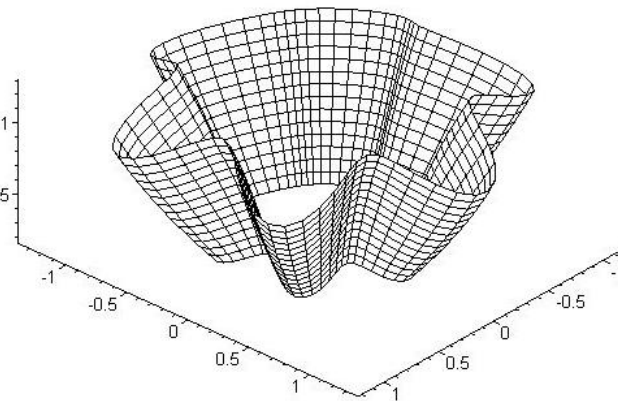


Рис. 4. Поверхности уровня $i=1$
Fig. 4. Surfaces of the level $i=1$

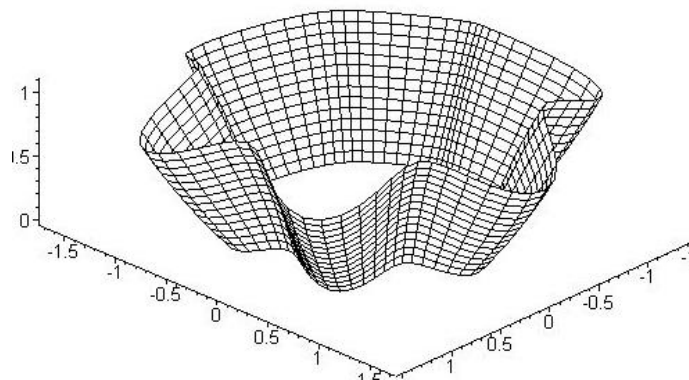


Рис. 5. Поверхности уровня $i=2$
 Fig. 5. Surfaces of the level $i=2$

ВЫВОДЫ

1. Полученные средства описания полей в нормальных конических координатах позволяют визуализировать средствами компьютерной графики поверхности уровня сложной структуры.

2. В примере показано практическое применение полученных результатов в целях описания поверхностей уровня скалярных полей.

3. Результаты полученных теоретических исследований можно применить для решения различных задач:

- получение параметров скалярных полей в известной точке пространства при заданных параметрах конуса-определителя и последующей визуализацией поверхностей уровня;

- вычисление параметров векторного поля (дивергенция, лапласиан, ротор) в нормальных конических координатах;

- визуализация поверхностей уровня полей в нормальных конических координатах при различных значениях параметра конуса-определителя α .

Использование специальных координат для описания полей сложной структуры значительно упрощает вычисление характеристик поля. Дальнейшим развитием данной тематики является изучение области существования введенной системы нормальных конических координат, которую еще можно называть областью правильной координации нормальными коническими координатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альпин Л.М. Теория поля. – М.: Недра, 1966. – 348 с.
2. Булах Е.Г., Шуман В.Н. Основы векторного анализа и теории поля. – Киев: Наукова думка, 1998. – 300 с.
3. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля. – Москва: Физматгиздат, 1962. – 132 с.

4. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля. – М.: Наука, 1968. – 128 с.

5. Дубнов Я.С. Основы векторного исчисления. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950. – Ч. 1. – 368 с., 1952. – Ч. 2. – 416 с.

6. Мінаєв О.А., Люкович Б.М., Измайлова М.К. Механіка суцільних середовищ. – К.: Вища школа, 1995. – 272 с.

7. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. – М.: Издательство АН СССР, 1961. – 430 с.

8. Джапаридзе И.С. О погружении геометрических соответствий в модели многомерных пространств // Прикладная геометрия и инженерная графика. – Киев: «Будівельник». – 1968. – Вып.6. – С.13-17.

9. Котов И.И., Николаевский Г.К., Рыжов Н.Н., Халдеев И.М. Прикладная геометрия поверхностей // Сб. работ конференции «Вопросы начертательной геометрии и ее приложения». – Харьков: ХАДИ. – 1963. – Вып.3. – С. 15-19.

10. Pidgorny O.L. From the Theory of the Maps to Geometrical Modeling of Objects, Phenomena and Processes // The Applied Geometry and Engineering Graphics – Kiev. – 2002. – Issue №70. – Pp. 32-38.

11. Рыжов Н.Н. Общие вопросы задания и параметризации поверхностей // Тезисы докладов Второй всесоюзной геометрической конференции. – Харьков. – 1964. – С. 22-24.

12. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, The classical theory of fields (Elsevier, New York, 2013)

13. P. Francesco, P. Mathieu, D. Senechal, Conformal field theory (Springer-Verlag, New York, 2012).

14. J. Quartieri, L. Sirignano, C. Guarnaccia, WSEAS Int. conf. (EMESEG'08), Heraklion, Greece (2008).

15. A. A. Tsinaeva, M. N. Nikitin, Procedia Eng. 150, 2340-2344 (2016), DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.321.

16. M. N. Nikitin, J. of Physics: Conf. series 891, 12039 (2017), DOI: 10.1088/1742- 6596/891/1/012039.

REFERENCES

1. Alpin L.M. Field theory. – M.: Nedra, 1966. – 348 p. (In Russian).
2. Bulakh E.G., Schuman V.N. Fundamentals of vector analysis and field theory. – Kiev: Naukova Dumka, 1998. – 300 p. (In Russian).
3. Goldfayn I.A. Vector analysis and field theory. - Moscow: Fizmatizdat, 1962. – 132 p. (In Russian).
4. Goldfayn I.A. Vector analysis and field theory. – M.: Nauka, 1968. - 128 p. (In Russian).
5. Dubnov Ya.S. Fundamentals of vector calculus. – M.-L.: GITTL, 1950. – Part 1. – 368 p., 1952. – Part 2. – 416 p. (In Russian).
6. Mineva O.A., Ilyukovich B.M., Ismaylova M.K. The mechanism of social means. - K.: Vishka school, 1995. – 272 p. (In Russian).
7. Kochin N.E. Vector calculus and the beginnings of tensor calculus. – M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1961. – 430 p. (In Russian).
8. Japaridze I.S. On the immersion of geometric correspondences in the model of multidimensional spaces // Applied Geometry and Engineering Graphics. – Kiev: Budivelnik. – 1968. – Issue 6. – Pp.13-17. (In Russian).
9. Kotov I.I., Nikolaevsky G.K., Ryzhov N.N., Khaldeev I.M. Applied geometry of surfaces // Sat. Conference "Descriptive geometry and its applications". – Kharkov: HADI. – 1963 – Issue 3. – Pp. 15-19. (In Russian).
10. Pidgorny O.L. From the Theory of the Maps to Geometrical Modeling of Objects, Phenomena and Processes // The Applied Geometry and Engineering Graphics – Kiev. – 2002. – Issue №70. – Pp. 32-38. (In Ukraine).
11. Ryzhov N.N. General questions of assignment and parameterization of surfaces // Abstracts of the Second All-Union Geometric Conference. – Kharkov. – 1964. – Pp. 22-24. (In Russian).
12. L.D. Landau, E. M. Lifshitz, The classical theory of fields (Elsevier, New York, 2013).
13. P. Francesco, P. Mathieu, D. Senechal, Conformal field theory (Springer-Verlag, New York, 2012).
14. J. Quartieri, L. Sirignano, C. Guarnaccia, WSEAS Int. conf. (EMESEG'08), Heraklion, Greece (2008).
15. A.A. Tsinaeva, M. N. Nikitin, Procedia Eng. 150, 2340-2344 (2016), DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.321
16. M.N. Nikitin, J. of Physics: Conf. series 891, 12039 (2017), DOI: 10.1088/1742- 6596/891/1/012039

ELEMENTS OF FIELD THEORY IN CONIC COORDINATES

Nesnov D.V.

Samara State Technical University,
244 Molodogvardeyskaya st., Samara, Russia

Abstract: In the scientific literature, field theory is most fully covered in cylindrical and spherical coordinate systems. This is explained by the fact that the mathematical apparatus of these systems is the most well studied. When the field source has a more complex structure than a point or a straight line, there is a need for new approaches to their study. The purpose of this study is to adapt the field theory referred to curvilinear coordinates in order to represent it in normal conic coordinates. In addition, an important part of the study is the development of an apparatus for geometric modeling of level surfaces of scalar and vector fields by means of computer graphics. The article shows the dependences of normal conic coordinates on rectangular Cartesian coordinates, Lamé coefficients. Differential characteristics of scalar and vector fields in normal conic coordinates are obtained: Laplacian of scalar and vector fields, divergence, vector field curl. The given example shows the features of the application of the mathematical apparatus of geometric modeling of the field in normal conic coordinates. For the first time, expressions for the characteristics of scalar and vector fields in normal conic coordinates are obtained. Methods for geometric modeling of fields using computer graphics tools have been developed to provide clarity in their study.

Subject: The subject of research is the elements of field theory in conic coordinates. The paper solves the problem of describing scalar and vector fields, when the shape of the source is more complex than a point or a straight line.

Materials and methods: The main basis of the work is the study of the general field theory in curvilinear coordinates. The main research methods are analytical with the involvement of graphical methods.

Results: The paper describes for the first time the characteristics of vector and scalar fields in normal conic coordinates. An example is given on the basis of which the mathematical apparatus for visualizing the simulated moles is considered.

Conclusions: The resulting expressions for the differential characteristics of scalar and vector fields in normal conical coordinates are suitable for studying fields of a complex structure, with a curvilinear source. The shown technique for analyzing the internal equations of scalar fields makes it possible to control the shape of the level surfaces.

Key words: Field theory, conic coordinates, modeling, internal equations of surfaces.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
АППАРАТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ОСВЕТЛЕНИИБунина Л.Н.¹, Николенко И.В.², Мовчан С.И.¹^{1,3}Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко

Адрес: Запорожская область, г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18

¹e-mail: bunina1974@inbox.ru³e-mail: movchantsaa@ Rambler.ru²Институт «Академия строительства и архитектуры»

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес: 295050 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181

²e-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация. Обработка сточных вод промышленного производства сложный и многообразный процесс, зависящий от ряда факторов которым характеризуется данное промышленное производство. В данной статье рассматривается один из вопросов очистки сточных вод, связанный с осветлением сточных вод в аппаратах напорной флотации-коагуляции промышленного производства. На основе разработанных технических и технологических решений усовершенствована конструкция аппарата очистки сточных вод, позволяющая обеспечить более высокую степень осветления сточных вод. Данная цель достигается за счёт установления параллельного ряда шламоотводящих коллекторов с перфорированными стенками крайних коллекторов, снабженных фильтровальными элементами и наклонными лотками, высота которых устанавливается по мере удаления каждого из коллекторов от начала флотокамеры, в средней части которых выполнены отверстия, а в нижней части флотокамеры размещены два конусообразных элемента, один из которых усечённый, соединённый основаниями, а в плоскости соединения оснований конусообразных элементов установлен распределитель газонасыщенной воды, выполненный в виде перфорированных трубопроводов и патрубков. Приведена теория работы коалесцирующего фильтра, где при использовании математических зависимостей, учитываются объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработки сточных вод, что обеспечивает надёжность работы осветляющих устройств. Определены размеры частиц и эффективность очистки масел на коалесцирующем фильтре.

Предмет исследования: процессы осветления в аппаратах напорной флотации-коагуляции систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Материалы и методы исследования: библиографический поиск работы систем оборотного водоснабжения, использующих в локальных схемах обработки сточных вод процессы осветления сточных вод

Результаты: проведенные исследования позволили определить технологические решения усовершенствованной конструкции аппарата очистки сточных вод, которые за счёт произведенной перфорации в переднем коллекторе, сатуратора, эжектора и нерастворимых электродов создаёт условия для более эффективной обработки (осветления) сточных вод. С технической точки зрения, использование конструктивных усовершенствований позволяет обеспечить надёжную работу всего оборудования, когда осветление сточных вод происходит в несколько стадий (этапов). Оптимальная технологическая цепочка обработки сточных вод, выбирается в зависимости от исходной степени их загрязнения и пути дальнейшей рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве.

Выводы: применение теоретических зависимостей, учитывающих объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработке сточных вод, обеспечивает надёжность работы осветляющих устройств. Надёжность работы определяется эффективностью протекания следующих двух процессов: осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра и эффективности удаления осадка с поверхности гранул. При этом осаждение непрерывной пленки масла происходит за счет гравитационных и гидродинамических сил из общего объема загрузки, а эффективность выделения осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.

Ключевые слова: осветление, коллектор, сточные воды, шлам, флотокамера, флотация, тонкослойный модулятор, перфорированные стенки, фильтровальные элементы, конусообразные элементы,

ВВЕДЕНИЕ

На долю промышленности приходится до четверти всего мирового водопотребления, а в большинстве промышленно развитых стран 50...80% общего спроса пресной воды используется в промышленном производстве. В технологических процессах промышленных предприятий потребляется лишь небольшая часть воды. Большая ее часть используется для охлаждения, смешения, очистки, обработки и в другие технологические процессы, которые нагревают или загрязняют

водную среду, но не теряют воду и не потребляют ее с включением в готовую продукцию [1]. Это создает возможность рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве, тем самым получая больше продукции с каждого кубометра потребляемой воды. наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды часто является многократная переработка и повторное использование воды. Важным этапом очистки сточной промышленной воды является ее осветление, то есть удаление из нее взвешенных веществ, которые изменяют цвет воды или делают

ее непрозрачной. Необходимость и степень такой очистки воды зависит от целей последующего ее использования.

Выбор метода осветления – один из главных пунктов при разработке технологии очистки, так как он скажется в дальнейшем на всём процессе водоподготовки. В зависимости от требуемой степени очистки могут применяться разные методы осветления воды, которые основаны на применении различных физических, химических и физико-химических процессов [2, 3]. Осветление рабочих и технических жидкостей, сточных вод и т.п. сложный, многостадийный процесс, являющийся неизменным условием качественной очистки промышленных сточных вод и дальнейшего использования воды в системах промышленного водоснабжения. Осветлители нашли широкое применение в качестве первой ступени осветления воды вместо отстойников. Осветлители рекомендуется применять на станциях рекомендательностью от 5 до 50 тыс. м³/сут. Для осветления воды с содержанием взвешенных веществ 50...1500 мг/л и цветностью до 120⁰. Кроме осветления и обесцвечивания осветлители могут применяться для реагентного умягчения воды [2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известна установка для очистки сточных вод, содержащая флотатор, флотоотстойник с тонкослойными модулями и потокоформирующими перегородками, фильтр с коалесцирующей загрузкой, средства сбора и отвода флотошлама, трубопровода подачи сточной воды и газосжиженного раствора с установленными на них конфузорными насадками и размещенными на них с зазором, отстойниками – распределителями [4]. Недостатком установки для очистки сточных вод является громоздкость конструктивного исполнения, требующая значительных производственных площадей, что влияет на формирование экономической составляющей очистки сточных вод. Известна конструкция устройства для очистки сточных вод, включающее питающий трубопровод, камеры хлопьеобразования, флотации с расположенными в ней тонкослойными модулями, а также распределитель водовоздушной смеси в виде трубопровода с соплами, расположенный в нижней части камеры флотации по периметру перегородки, разделяющей камеру хлопьеобразования и флотации, скребковое устройство для удаления шлама. Недостатком данного устройства является то, что образующийся шлам в флотокамере имеет значительную влажность. Это происходит из-за того, что отвод шлама осуществляется скребковым устройством, с помощью которого вместе со шламом захватывается значительная часть воды и водных фракций, в той или иной форме. Кроме того, в устройстве, при транспортировке флотошлама скребковыми устройствами происходит его

разрушение и попадание осадка в светлую воду, а это снижает эффективность очистки сточных вод.

Представленные результаты исследования разработанной конструкции конусного уплотнителя флотошлама позволяют повысить интенсивность работы, как отдельных составляющих водоочистного оборудования, так и систем оборотного водоснабжения в целом. В соответствии с предлагаемым техническим решением накопление и механическое отведение флотошлама происходит в верхней части вертикальной флотокамеры [5].

Коалесцирующие фильтры широко используются в промышленности для удаления жидких аэрозолей из газов или отделения капель жидкости от эмульсий. Типичные фильтры изготавливаются из нетканых волокон. Волокнистые фильтры способны эффективно удалять капли и частицы микронного и субмикронного размера. Процесс фильтрации очень сложен из-за изменчивости размеров волокон, размеров частиц, смесей частиц и капель, смешивания различных типов капель (масло, вода и т.д.), а также влияния вязкости, поверхностного натяжения и химических реакций между компонентами или с волокнами фильтра. Прогнозирование производительности фильтра в таких сложных условиях затруднено. Производительность фильтра зависит от многих факторов, таких как размеры частиц и волокон, скорость потока, свойства поверхности волокон и т.д. [6].

Дисперсные системы содержат твердые и (или) жидкие частицы, взвешенные в газовой или жидкой среде. Как только образуется дисперсная система, она обычно нестабильна, поскольку со временем будет меняться. Наиболее важным процессом, соответствующим эволюции дисперсных систем, является процесс коагуляции частиц в дисперсной системе. Теория коагуляции аэрозолей связана с процессом адгезии или коалесценции аэрозольных частиц при контакте их друг с другом. Целью этой теории является описание распределения частиц по размерам как функции времени и пространства с математической точки зрения, поскольку дисперсная система претерпевает изменения из-за различных физических воздействий [7].

В работе [8] изучали стохастический процесс двухвидовой коагуляции, который заключался в динамике агрегации, происходящей в кольце. Частицы и скопления частиц, установленные в этом кольце, могли двигаться как по часовой стрелке, так и против нее с вероятностью агрегатироваться, образуя более крупные кластеры. Процесс изучался как аналитически, так и численно с выводом кинетической теории, которая приблизительно описывала динамику процесса. Расчеты показали, как упорядочивается система, когда все частицы и кластеры двигались в одном направлении, в течение длительного времени.

В работе [9] представлена модель коагуляции в растворах электролитов. Процесс коагуляции моделируется так, чтобы включить атомистическое

описание коагуляции, основанное на теории агрегативной устойчивости, в систему Пуассона-Нернста-Планка. По этой причине представленная модель учитывает взаимодействия ближнего и дальнего действия, которые управляют процессом коагуляции.

Применение теоретических зависимостей, учитывающих объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработки сточных вод, обеспечивают надёжность работы осветляющих устройств, которая определяется эффективностью протекания следующих двух процессов: осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра с образованием за счёт коалесценции непрерывной плёнки масла из объёма загрузки за счёт гравитационных и гидродинамических сил, а также эффективности выделения (удаления) осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всё более высокие требования, предъявляемые в технологии водообработки и водоподготовки, усиливающий дефицит водных ресурсов все это создаёт условия для усовершенствования и разработке технических и технологических решения направленных поиск новых высокоэффективных решений.

Целью исследований усовершенствование процесса осветления обрабатываемых сточных вод в аппаратах напорной флотации, осуществляемой за счёт решения нескольких взаимосвязанных задач.

1. Усовершенствование схемы осветления сточных вод в системе оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей:

2. Провести испытания и определить технические параметры системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей, в зависимости влажности флотошлама и эффективности очистки сточных вод.

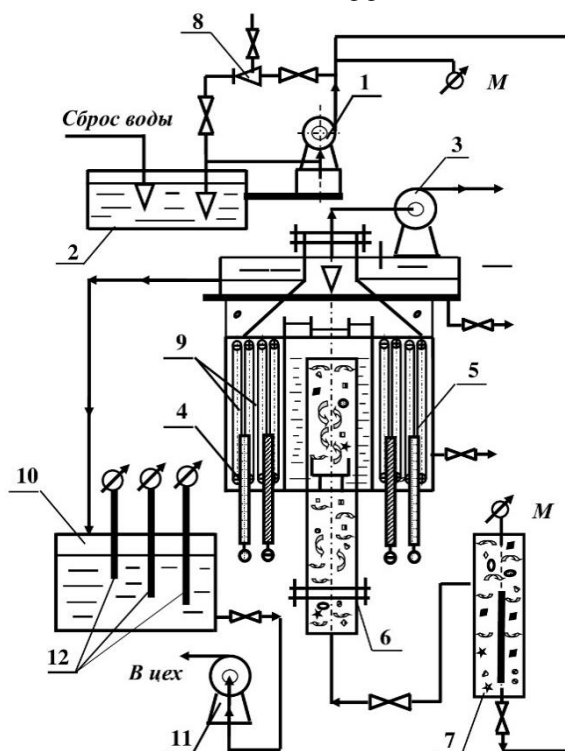


Рис. 1. Принципиальная схема системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей: 1 – насос (марки ВК) подачи воды на очистку сточных вод; 2 – сборный приемник; 3 - насос откачивания флотошлама с установки; 4 – флотокамера; 5 – корпус аппарата; 6 – труба реакционная; 7 - сатуратор; 8 – эжектор; 9 – нерастворимые электроды; 10 – приёмник очищенной воды; 11 – насос (марки НШ) возврата воды на мойку полов и оборудования; 12 – датчик реле уровня ЗРСУ-2.

Fig. 1. Schematic diagram of the recycling water supply system of the engine test shop area: 1 – pump (VK brand) for water supply for wastewater treatment; 2 – prefabricated receiver; 3 - pump for pumping flotation sludge from the unit; 4 – flotation cell; 5 – device case; 6 – reaction tube; 7 - saturator; 8 – ejector; 9 – insoluble electrodes; 10 – treated water receiver; 11 – water return pump (NSH brand) for washing floors and equipment; 12 – ZRSU-2 level relay sensor

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью предлагаемой разработки является снижение влажности шлама и повышение степени очистки сточных вод. Поставленная цель достигается тем, что в известном устройстве, содержащем питающий трубопровод, камеру хлопьеобразования и флотации с тонкослойными модулями, распределитель воды, в нижней части камеры флотации и трубопроводов отвода очищенной воды.

На рис. 1 представлена принципиальная схема системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей. Новым, конструктивным усовершенствованием, является то, что в верхней части флотокамеры установлен параллельный ряд шламотводящих коллекторов с перфорированными стенками крайних коллекторов, снабжённые фильтроосными элементами и наклонными лотками, высота которых увеличивается по мере удаления каждого из коллекторов от начала флотокамеры и, в средней части которых выполнены отверстия, в нижней части флотокамеры размещены два конусообразных элемента, один из которых усечённый, соединённые основаниями, а в плоскости соединения оснований конусообразных элементов установлен распределитель газонасыщенной воды, выполненный в виде перфорированных трубопроводов и патрубков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Одним из эффективных средств разделения фаз эмульсий (например, эмульсий типа масло) являются коалесцирующие фильтры [10].

Надёжность работы этих устройств определяется эффективностью протекания следующих двух процессов [11]:

- осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра с образованием за счёт коалесценции непрерывной плёнки масла на их поверхности

- удаления образующей плёнки масла из объёма загрузки за счёт гравитационных и гидродинамических сил.

Второй из этих процессов, удаления образующей плёнки, детально исследован в работах [12, 13], где было показано, что эффективная выделение (удаления) осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.

В частности было показано, что при подаче очищаемой воды снизу вверх (далее будем рассматривать только этот случай) равновесная толщина масляной пленки на поверхности сферических гранул диаметром составляет:

$$h = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\eta_0}{\eta_w}} \cdot \frac{c(0) - c(z)}{1 - c(0)} \quad (1)$$

где $c(0)$ и $c(z)$ - объёмные концентрации, (г/м³), соответственно масла на входе в фильтр и на глубине z ; η_0 , η_w - динамическая вязкость, соответственно масла и воды, Па*с, d - диаметр сферических гранул, м.

В работе [12] показано, что при объемной концентрации масляной фазы $c \geq 10^{-3}$ осаждение капель на гранулы существенно усиливается за счёт укрупнения капель в результате их коалесценции в объеме порового пространства. Рассмотрим этот случай с целью оценки влияния коалесценции капель в объеме капилляров на эффект осаждения капель на гранулы загрузки фильтра.

Для описания коалесцентного разделения фаз эмульсии при прохождении через фильтр, воспользуемся капиллярной моделью порового пространства. Для определенности положим, что загрузка фильтра представляет собой плотную упаковку идентичных сферических гранул. Это позволяет в качестве грубой, но вполне приемлемой модели порового пространства использовать систему линейных капилляров (по два на каждый шар в сечении загрузки), внутренний радиус R_c которых составляет радиус окружности, вписанной между тремя касающимися окружностями, равной радиусу гранул R_d загрузки, т.е.:

$$R_c = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \cdot R_d \approx 0,15 \cdot R_c \quad (2)$$

Причём длина этих капилляров L составляет три/вторых высоты загрузки H , а угол смачивания $\alpha = 45^\circ$.

Так как разделение фаз происходит, главным образом, за счёт седиментации капель эмульсии и осаждения на стенки капилляров, то уравнение, описывающее изменение концентрации масла, имеет вид:

$$\frac{dc}{dt} = - \frac{2 \cdot U_d \cdot c \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot R_c \cdot (1 - \bar{h})} \quad (3)$$

где C - объёмная концентрация масла;

$$\bar{h} = \frac{h}{R_c} \quad (4)$$

где \bar{h} - относительная толщина пленки масла на стенках капилляра;

h - толщина пленки масла на стенках капилляра, м.

U_d - скорость седиментации капель, описываемых формулой Стокса (в случае, когда вязкость масла η_0 сравнима с вязкостью воды η_w следует использовать формулу Адамара-Рыбчинского [14]:

$$U_d = \frac{2 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot R_d^2}{9 \cdot \eta_w} \quad (5)$$

где R_d – средний радиус капель, м;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 $\Delta\rho$ – разность плотностей, соответственно воды и масла, кг/м³;
 η_w – вязкость воды, м²/с.

Для перехода в формулу (3) от переменных по времени t к переменным по длине l капилляра воспользуемся соотношением между нагрузкой по воде \bar{U}_w и средней по расходу скоростью эмульсии в капилляре:

$$dt = - \frac{\pi \cdot (R_c - \bar{h})^2}{\bar{U}_w \cdot R_d^2 \cdot \sqrt{3}} dl \quad (6)$$

где R_c и \bar{h} – функция от длины капилляра.
 Подставляя формулы (1), (4)–(6) в формулу (3), а также учитывая, что $\alpha = 45^\circ$, получим кинетическое уравнение коалесцирующего фильтра:

$$\frac{dc}{dl} = -B \cdot (1 - \bar{h}) \cdot R_d^2 \cdot c \quad (7)$$

где B – осреднённый линейный размер капли, м, определяемый по формуле:

$$B = \frac{0,028 \cdot \Delta\rho \cdot g}{R_d \cdot \bar{U}_w \cdot \eta_w} \quad (8)$$

Здесь следует отметить одно важное замечание. До сих пор предполагали, что все капли имеют одинаковый радиус. В реальности же, как известно, это далеко не так. Обычно имеет место некоторое распределение капель по размерам (чаще всего гамма-распределение). Поэтому, уравнение (7) справедливо лишь для некоторого узкого класса крупности камель, например, вблизи максимума функции распределения. Несмотря на то, что уравнение (7) легко обобщить на случай полидисперсных эмульсий, мы не будем этого делать, чтобы не затруднять понимание физической сущности явления. Заметно, лишь, что как следует из уравнения (7) при прохождении через коалесцирующий фильтр эмульсия будет объединяться, прежде всего, за счёт определения крупных капель, скорость всплывания которых максимальна.

Как уже отмечалось, движение эмульсии в

неоднородном гидродинамическом поле влечёт за собой ортокинетическую коалесценцию капель и соответственно рост их размера.

Согласно Смолуховскому, имеем следующее соотношение:

$$\frac{dR_d}{dt} = \frac{4}{3} \cdot \frac{G \cdot \alpha \left(\frac{\bar{h}}{a}, a \right) \cdot R_d \cdot c}{\pi} \quad (9)$$

где \bar{G} – осреднённый градиент сдвига течения;
 $\alpha \left(\frac{\bar{h}}{a}, a \right)$ – величина, характеризующая эффективность коалесценции капель в поле простого сдвига [13]:

$$\alpha \left(\frac{\bar{h}}{a}, a \right) = E^{0,1774} / (\lambda^2 + 1/\lambda)^{0,5322} \left[\ln(\lambda^2 + 1/\lambda^2) \right]^{1/2}, \quad (10)$$

где

$$\lambda = \frac{\bar{R}_d}{R_d}, \quad (11)$$

$$E = \frac{A_G}{(144 \cdot \pi \cdot \eta_w \cdot G \cdot \bar{R}_d^3)}, \quad (12)$$

где A_G – константа Гамакера для системы «масло-вода-масло».

Как следует из приведенных соотношений, наиболее эффективно коалесцируют капли, имеющие близкие параметры при $\lambda \approx 1$.

Наконец, для расчётов необходимо знать величину неоднородности гидродинамического поля в порах фильтра. Если гранулы представляют собой идентичные сферы, то в случае этого воспользоваться формулой, полученной (8):

$$\bar{G} = \frac{3 \cdot \pi \cdot U_\varphi \cdot \Phi(\varphi)}{20}, \quad (13)$$

где

$$\Phi(\varphi) = \frac{\varphi}{32 \cdot (1 - \varphi)} \cdot \frac{336 \cdot \varphi^{-4/3} - 408 \cdot \varphi^{-1} + 72 \cdot \varphi^{-2/3} + 24 \cdot \varphi^{1/3} - 24}{8 \cdot \varphi^{-1} - \varphi^{-2/3} - \varphi^{-1/3}}, \quad (14)$$

где φ – плотность упаковки фильтра, а U_φ – эффективный расход воды в теле фильтра,

связанный с нагрузкой по воде U_w определяется соотношением (10):

$$U_\varphi = \bar{U}_w \cdot \frac{2 \cdot (1 - \varphi^{5/3})}{2 - 3 \cdot \varphi^{1/3} + 3 \cdot \varphi^{5/3} - 2 \cdot \varphi^2}, \quad (15)$$

Положим $1 - \bar{h} \approx 1$. Если в уравнении (7) положить $R_d = R_{d_0}$.

где $R_{d_0} = R_d \cdot (l=0)$, то после интегрирования с начальным условием $C \cdot (l=0) = C_0$, получим:

$$C_1(l) = C_0 \cdot \exp(-B \cdot R_{d_0}^2 \cdot l). \quad (16)$$

Подставляя первую итерацию концентрации масла $C_1(l)$ в (9) и интегрируя с начальным условием $R_d(l=0) = R \cdot d_0$, получим первую итерацию для радиуса капель:

$$R_d(l) = R_{d_0} \cdot \exp\left\{ \frac{AC_0}{B \cdot R_{d_0}^2} \cdot [1 - \exp(-B \cdot R_{d_0}^2 \cdot l)] \right\}. \quad (17)$$

Размеры частиц и эффективность очистки масел на коалесцирующем фильтре представлены в табл. 1.

Таблица 1. Размеры и эффективность очистки частиц масел на коалесцирующем фильтре
Table 1. The size and efficiency of cleaning oil particles on the coalescing filter

| № п/п | Начальная концентрация C_0 , г/см ³ | Начальный размер частиц R_0 , см | Размер зёрен загрузки R_g , см | Концентрация масла в очищенной воде C_1 , г/см ³ | Размер частиц в очищенной воде R_1 , см |
|-------|--|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1. | 4×10^{-4} | 0,01 | 1 | $2,25 \times 10^{-4}$ | 0,001012 |
| 2. | 4×10^{-4} | 0,003 | 1 | $2,24 \times 10^{-4}$ | 0,003005 |
| 3. | 4×10^{-4} | 0,005 | 1 | 0 | 0,005002 |
| 4. | 4×10^{-4} | 0,01 | 1 | 0 | 0,010008 |
| 5. | 4×10^{-4} | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,010005 |
| 6. | 4×10^3 | 0,01 | 1 | 0 | 0,010006 |
| 7. | 4×10^3 | 0,005 | 1 | 0 | 0,005023 |

Размеры частиц и эффективность очистки масел представлены в табл. 2.

Таблица 2. Моделирование размеров частиц масел на коалесцирующем фильтре
Table 2. Modeling of oil particle sizes on coalescing filter

| № п/п испытаний | ¹ Отношение площади коллекторов к площади флотозоны, % | Относительное расстояние между патрубками | | Эффективность очистки, % | Влажность флотошлама, % | Примечание в которых происходит следующие процессы |
|-----------------|---|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| | | в продольном направлении, м | в поперечном направлении, м | | | |
| 1. | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 60 | 94 | происходит коагуляция коллекторного осадка |
| | | 0,4 | 0,4 | 63 | 95 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 64 | 96 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 65 | 96 | |
| 2. | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 68 | 94 | оптимальное соотношение |
| | | 0,4 | 0,4 | 68 | 95 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 75 | 93 | |
| 3. | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 75 | 95 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 75 | 95 | |
| 4. | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 76 | 92 | ухудшается выгрузка флотошлама из коллектора |
| | | 0,4 | 0,4 | 70 | 96 | |
| 5. | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 68 | 96 | |
| | | 0,4 | 0,2 | 73 | 92 | |
| 6. | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 68 | 96 | |
| | | 0,2 | 0,3 | 73 | 92 | |
| 7. | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 74 | 93 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 74 | 93 | |
| 8. | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 74 | 93 | |
| | | 0,4 | 0,4 | 74 | 93 | |
| 9. | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 76 | 91 | имеет место неустойчивые процессы |
| | | 0,5 | 0,6 | 77 | 90,5 | |
| 10. | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 78 | 90,0 | |
| | | 0,6 | 0,7 | 70 | 94 | |
| | | 0,6 | 0,7 | 72 | 95 | снижается эффект флотации |
| | | 0,6 | 0,7 | 71 | 94 | |
| | | 0,6 | 0,7 | 72 | 95 | |

Примечание. В колонке «¹Отношение площади коллекторов к площади флотозоны, %» рассматриваются основания конусных элементов [15].

ВЫВОДЫ

1. Разработанные технические и технологические решения усовершенствованной конструкции аппарата очистки сточных вод, повышают эффективность очистки сточных вод, за счёт произведённой перфорации в переднем коллекторе, позволяющая отвести из тонкослойного модуля первичной очистки загрязнения в пенный слой.

2. Выпускные отверстия патрубков в продольном направлении движения жидкости смещены друг относительно друга на расстоянии равно (02...05), а величина смещения отверстий патрубков в поперечном движении жидкости по толщине равно (04...06) от величины ширины флотокамеры. Площадь поперечного сечения шламоотводящих коллекторов составляет 03...06 от площади сечения конусных элементов в месте их соединения с основанием.

3. В результате испытаний конструкции аппарата очистки сточных вод установлено что, использование конструктивных усовершенствований позволяет обеспечить надёжную работу всего оборудования, когда осветление сточных вод происходит в несколько стадий. Оптимальная технологическая цепочка обработки сточных вод, выбирается в зависимости от исходной степени их загрязнения и пути дальнейшей рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 312 с.

2. Найманов А.А., Никиша С.Б., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Маслов В.Н., Зотов Н.И., Найманова А.А. Водоснабжение. Макеевка: ООО «Норд Компьютер», 2006. – 654 с.

3. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. К вопросу динамики фильтрационного осветления на каркасно-засыпных фильтрах // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022, №3(759). – С. 46-55.

4. А.с. №1493619 СССР, МКИ4 С02 F1/24. Установка для очистки сточных вод / Дмухайло Е.И., Васин Н.В., Березин С.Е., Яковлев С.В., Мясников И.Н., Барсукова В.В. // Заявка № 4311561/31-26; заявлено 30.03.89; опубли. 15.07.89, Бюл. №28. С. 6.

5. Епоян С.М., Мовчан С.И. Механизм формирования флотошлама в вертикальной флотокамере // Проблемы водопостачання та гідраліки: Науково-технічний збірник. К.: КНУБА. – 2016. – Випуск 27. – С. 129-137.

6. Andan S., Hariharan S.I., Chase G.G. Modeling of saturation in coalescence filtration // Microscale Physiochemical Engineering Center The University of Akron, Akron, 2008, vol. 43 (8). PP. 1955–1973.

7. Dubovskii P.B. Mathematical Theory of Coagulation. Seoul National University, Research Institute of Mathematics, Global Analysis Research Center, 1994. - 169 p.

8. Escudero C. Kinetic Theory of Two-Species Coagulation // Proceedings of the European Conference on Complex Systems, 2012. PP 1079–108.

9. Herz M., Knabner P. Modeling and simulation of coagulation according to DLVO-theory in a continuum model for electrolyte solutions // Topics Soft Condensed Matter, Analysis of PDEs, Condensed Matter, Mathematics. [Электронный ресурс]. URL: <http://arxiv.org/licenses/nonexclusive-distrib/1.0/> (2016-05-27).

10. Росев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. – М.: Недра, 1987. – 224 с.

11. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Коллоидно-гидродинамическая теория разделения фаз масляно-водных эмульсий коалесцирующими фильтрами // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. № 9. – С. 794-798.

12. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Конфигурация масляной пленки, стекающей по вертикальной цепочке сферических гранул загрузки коалесцирующего фильтра // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11. № 11. – С. 971-874.

13. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Роль гидродинамического и гравитационного механизмов в работе коалесцирующего фильтра // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. № 5. – С. 971-874.

14. Рулев Н.Н. Гидродинамика всплывшего пузырька // Коллоидный журнал. – 1980. – Т. 42. №2. – С. 252-263.

15. Мовчан С.И. Дослідження гідродинаміки течії в'язкої рідини в замкненому контурі апаратів напірної флотації // Проблеми водопостачання та гідраліки: Науково-технічний збірник. К.: КНУБА. – 2017. – Випуск 28. – С. 227-235.

REFERENCES

1. Gogina E.S., Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and sanitation: A reference manual. – M.: Publishing House of the DIA, 2012. – 312 p. . (In Russ.).

2. Naimanov A.A., Nikisha S.B., Nasonkina N.G., Omelchenko N.P., Maslov V.N., Zotov N.I., Naimanova A.A. Vodossnabjenie [Water supply]. Makeevka, ООО «Nord Kompbyuter» Publ. 2006. 654 p. (In Russ.).

3. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. On the dynamics of filtration clarification on frame-backfill filters // Izvestia of higher educational institutions. Construction. - 2022, №3(759). – Pp. 46-55. (In Russ.).

4. A.s. №1493619 SSSR, MKI4 S02 F1/24. Ustanovka dlya ochistki stochnih vod [Wastewater treatment plant], Dmuhailo E.I., Vasin N.V., Berezin S.E., Yakovlev S.V., Myasnikov I.N., Barsukova V.V., Zayavka № 4311561/31, 26; zayavleno 30.03.89; publ. 15.07.89, Byul. №28. P. 6. (In Russ.).

5. Epoyan S.M., Movchan S.I. Mechanizm formirovaniya flotoshlama v vertikalnoi flotokamere [The mechanism of formation of flotation sludge in a vertical flotation chamber]. Problemi vodopostachannya ta gidravliki. Naukovo-tehnichniy zbirnik. Kyiv, KNUBA, 2016. Vipusk 27. Pp. 129-137. (in Ukr.)
6. Andan S., Hariharan S.I., Chase G.G. Modeling of saturation in coalescence filtration. Microscale Physiochemical Engineering Center The University of Akron, Akron, 2008, vol. 43 (8). Pp. 1955-1973.
7. Dubovskii P.B. Mathematical Theory of Coagulation. Seoul National University, Research Institute of Mathematics, Global Analysis Research Center, 1994. 169 p.
8. Escudero C. Kinetic Theory of Two-Species Coagulation. Proceedings of the European Conference on Complex Systems, 2012. Pp. 1079-108.
9. Herz M., Knabner P. Modeling and simulation of coagulation according to DLVO-theory in a continuum model for electrolyte solutions. Topics Soft Condensed Matter, Analysis of PDEs, Condensed Matter, Mathematics. [Электронный ресурс]. URL: <http://arxiv.org/licenses/nonexclusive-distrib/1.0/> (2016-05-27).
10. Rosev G.A., Yufin V.A. Ochistka stochnih vod i vtorichnoe ispolzovanie nefteproduktov [Wastewater treatment and recycling of petroleum products]. Moscow, Nedra Publ, 1987. 224 p. (In Russ.).
11. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Kolloidno-gidrodinamicheskaya teoriya razdeleniya faz maslyano_vodyanih emulsii koalesciruyuschimi filtrami [Colloidal-hydrodynamic theory of phase separation of oil-water emulsions by coalescing filters]. Himiya i tehnologiya vodi. 1990. T. 12. № 9. Pp. 794-798. (In Russ.).
12. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Konfiguraciya maslyanoi plenki_stekayuschei po vertikalnoi cepochki sfericheskikh granul zagruzki koalesciruyuschego filtra [Configuration of an oil film flowing down a vertical chain of spherical granules loading a coalescing filter]. Himiya i tehnologiya vodi. 1989. T. 11. № 11. Pp. 971-874. (In Russ.).
13. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Rol gidrodinamicheskogo i gravitacionnogo mehanizmov v rabote koalescimiruyuschego filtra [The role of hydrodynamic and gravitational mechanisms in the operation of the coalescing filter]. Himiya i tehnologiya vodi. 1990. T. 12. № 5. Pp. 971-874. (In Russ.).
14. Rulev N.N. Gidrodinamika vsplivshego puzirka [Hydrodynamics of a pop-up bubble]. Kolloidnii jurnal. 1980. T. 42. №2. Pp. 252-263. (In Russ.).
15. Movchan S.I. Doslidjennya gidrodinamiki techii v'yazkoj ridini v zamknenomu konturi aparativ napirnoji flotacii [Investigation of hydrodynamics of viscous fluid flow in a closed circuit of pressure flotation devices]. Problemi vodopostachannya ta gidravliki: Naukovo-tehnichniy zbirnik. Kyiv: KNUBA, 2017. Vipusk 28. Pp. 227-235. (in Ukr.).

DESIGN IMPROVEMENT AND RESEARCH WASTE WATER TREATMENT APPARATUS DURING CLARIFICATION

Bunina L.N., Nikolenko I.V., Movchan S.I.
Melitopol State University named after A.S. Makarenko

Abstract. Industrial wastewater treatment is a complex and diverse process that depends on a number of factors that characterize this industrial production. This article discusses one of the issues of wastewater treatment related to the clarification of wastewater in pressure flotation devices-coagulation of industrial production. Based on the developed technical and technological solutions, the design of the wastewater treatment apparatus has been improved, allowing for a higher degree of wastewater clarification. This goal is achieved by installing a parallel series of sludge collectors with perforated walls of the extreme collectors, equipped with filter elements and inclined trays, the height of which is set as each of the collectors is removed from the beginning of the flotation chamber, in the middle part of which holes are made, and in the lower part of the flotation chamber there are two cone-shaped elements, one of which is truncated, connected by bases, and in the plane of the connection of the bases of the cone-shaped elements, a distributor of gas-saturated water is installed, made in the form of perforated pipelines and pipes. The theory of operation of the coalescing filter is given, where, when using mathematical dependencies, volumetric oil concentrations at the filter inlet and at the depth of wastewater treatment are taken into account, which ensures the reliability of the clarifying devices. The particle sizes and the efficiency of oil purification on a coalescing filter are determined.

Subject: clarification processes in pressure flotation devices-coagulation of circulating water supply systems of industrial enterprises.

Material and methods: bibliographic search for the operation of circulating water supply systems using wastewater clarification processes in local wastewater treatment schemes/

Results. The conducted research allowed us to identify technological solutions for the improved design of the wastewater treatment apparatus, which, due to the perforation in the front collector, saturator, ejector and insoluble electrodes, creates conditions for more efficient treatment (clarification) of wastewater. From a technical point of view, the use of design improvements makes it possible to ensure reliable operation of all equipment when wastewater clarification occurs in several stages. The optimal technological chain of wastewater treatment is selected depending on the initial degree of contamination and the way of further recycling of water resources in industrial production.

Conclusions: the use of theoretical dependencies that take into account the volumetric concentrations of oil at the filter inlet and at the depth of wastewater treatment ensures the reliability of the clarifying devices. The reliability of operation is determined by the efficiency of the following two processes: precipitation of emulsion droplets from the stream onto the filter loading granules and the efficiency of removal of sediment from the surface of the granules. In this case, the deposition of a continuous film of oil occurs due to gravitational and hydrodynamic forces from the total volume of loading, and the efficiency of precipitation from the surface of the granules significantly depends on the ratio between their size, viscosity and oil concentration.

Key words: clarification, collector, waste water, sludge, flotation chamber, flotation, thin-layer modulator, perforated walls, filter elements, cone-shaped elements,

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСТРОЕННЫХ ВОЛОКНО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Арифов¹ А.М., Бекиров² Э.А.

Физико-технический институт
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского»,
295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.
¹arifov.alim@inbox.ru, ²bekirov.e.a@cfuv.ru.

Аннотация: в работе предложена методика измерения температуры в продольном профиле кабельных линий, находящихся под рабочим напряжением и нагрузкой с использованием встроенных оптоволоконных линий. Данная методика позволяет предупредить развитие аварийного дефекта и с высокой точностью, в режиме реального времени «онлайн», фиксировать температуру и расстояние до места нагрева в контролируемом сечении.

Предмет исследования: зависимость параметров оптического волокна, встроенного в электрический кабель, от изменения температуры на всем протяжении контролируемого сечения кабельной линии.

Материалы и методы: в работе в первые проведены исследования, зависимости параметров оптоволоконной линии кабеля, интегрированного в кабельную линию, а также локальное изменение температуры на участке кабельной линии, путем расчетов с использованием разницы во времени между моментом времени получения отраженного импульса и моментом излучения лазерного импульса в оптическое волокно.

Результаты: разработана методика, а также проведен математический анализ, подтверждающий получение результирующих данных комбинаторного рассеяния, для последующего вывода температурных параметров с помощью интегрированного в кабельную линию оптического волокна. Контроль температуры определяется по оптическому рассеянию в отраженных сигналах.

Выводы: контроль температуры по оптическому рассеянию в отраженных сигналах, применим к измерению температурного режима в профиле кабельной линии, что в свою очередь позволит оптимизировать загрузку кабельной линии, рационально учитывать реальные климатические условия и локальные особенности пролегания всех участков кабельной линии, а также преждевременно выявлять дефекты.

Ключевые слова: оптическое волокно; кабельная линия; антистокс; стокс.

ВВЕДЕНИЕ

По имеющейся статистике в среднем длительность отключений электроэнергии составляет от 70 до 100 часов в год. По средним подсчетам, на каждые 100 км кабельных линий электрических сетей ежегодно регистрируются до 26 отключений. Типичными причинами данных отключений является следующее:

- Механические повреждения силового кабеля при производстве строительных работ в зоне трасс кабельных линий и проявлениях геологических факторов на территории, по которой проходит линия;
- Неудовлетворительное качество изготовления концевых и соединительных муфт кабельной линии, в которые возможно попадание влаги;
- Коррозия защитных оболочек силового кабеля под воздействием геохимических, гидрологических факторов.
- Систематические и длительные перегрузки кабельных линий;
- Количество коротких замыканий в электрической сети, сопровождающихся протеканием по кабельным линиям токов превышающих длительно допустимые токи нагрузки, вызывающие повышенный нагрев и ускоренный износ изоляции;
- Высокие уровни перенапряжений при дуговых и металлических замыканиях в кабельной сети;
- Наличие на участках электрической сети повышенных уровней коммутационных перенапряжений, создаваемых выключателями и приводящих к электрическому пробое изоляции элементов кабельных линий.

- Нарушения технологии прокладки кабелей (механические напряжения, недопустимые изгибы, механические повреждения при прокладке;

- Длительная работа участков кабельной сети с однофазными металлическими и, особенно, с дугowymi замыканиями, однофазными замыканиями (далее - ОЗЗ) на землю, приводящая к переходу ОЗЗ в двойные и тройные замыкания на землю, а также к междуфазным коротким замыканиям (КЗ);

- Температура окружающей среды и влияние сезонных колебаний температуры;

- Тепловое влияние кабелей, проложенных в одной траншее.

Как показывает многолетняя практика эксплуатации кабельных линий в электроэнергетике, 90% всех перечисленных повреждений сопровождается выделением тепла и соответственно длительным или кратковременным нагревом поврежденных участков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Система температурного мониторинга конструктивно состоит из двух основных элементов - оптического волокна, проложенного вдоль кабельной линии, являющегося распределенным датчиком температуры и измерительного прибора со средствами обработки и анализа первичной информации. Лазерные импульсы с определенной частотой заводятся в оптоволоконную линию

длиной, состоящую из одномодового волокна, в каждой точке на всем протяжении оптоволоконного кабеля происходит комбинационное рассеяние света и регистрируется время прибытия обратно-рассеянного излучения, что позволяет определить место, где конкретно произошло рассеяние. Комбинационно рассеянный свет, проходя через спектральный фильтр в обратном направлении разделяется на стоксовую и анти - стоксовую компоненты и перенаправляется на два высокочувствительных фотодиода, данные с которых поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и далее на персональный компьютер, где эти сигналы обрабатываются и вычисляется температура.

Исследуемый в данной работе метод измерения температуры вдоль оптического волокна основан на эффекте комбинационного рассеяния света (или эффекте Рамана), открытого еще в конце 1920-х годов независимо друг от друга индийским физиком Раманом и советскими физиками Ландсбергом и Мандельштамом. Согласно существующей теории комбинационного рассеяния света, этот процесс сопровождается заметным изменением частоты рассеиваемого спектра, если источник испускает монохроматический свет, то в спектре рассеянного излучения обнаруживаются дополнительные линии, число и расположение которых тесно связано с молекулярным строением вещества. При комбинационном рассеивании преобразование первичного светового потока сопровождается переходом рассеивающих молекул на другие колебательные и вращательные уровни энергии, причем частоты новых линий в спектре рассеяния являются комбинациями частоты падающего света и частот колебательно-вращательных переходов рассеивающих молекул. Если молекула вещества перешла из основного состояния в возбужденное, в спектре комбинационного рассеяния проявляются линии имеющие значительно большую длину волны по сравнению с источником света, такой процесс называется стоксом. Возможен также и обратный процесс, когда молекула в результате комбинационного рассеяния переходит из возбужденного в основное состояние, называемое антистокс. Таким образом, если в оптоволоконно входит лазерный импульс с несущей частотой ν_0 , то в спектре обратно рассеянного света будет наблюдаться центральный пик на несмещенной частоте ν_0 и два дополнительных пика, смещенных на частоту ν : $\nu_{\text{ст}} = \nu_0 - \nu$ (стокс) и $\nu_{\text{а\text{ст}}} = \nu_0 + \nu$ (анти-стокс).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Методика измерения температуры с использованием оптического волокна

1. Расчет скорости света в волоконно-оптических линиях

Методика измерения температуры построена на эффекте комбинационного рассеяния света. Основным элементом для температурного

мониторинга кабельной линии предусмотрено оптическое волокно. Оптоволоконно – диэлектрический волновод, который проводит электромагнитные волны оптического диапазона. Он состоит из сердцевинки, оболочки и защитного внешнего слоя. Оболочка в качестве отражающего слоя способствует удержанию светового сигнала в сердцевинке. Оптические волокна изготавливаются из легированного кварцевого стекла, которое состоит из двуокиси кремния (SiO_2) с аморфной твердой структурой. В оптическое волокно лазером периодически излучаются диагностические импульсы, а при помощи измерительного прибора регистрируется обратный отраженный поток света. Локальная температура на каждом конкретном участке кабельной линии рассчитывается с использованием разницы во времени между моментом времени получения отраженного от каждого участка импульса и моментом излучения лазерного импульса в оптическое волокно. Зная скорость распространения света в измерительном оптоволоконно, можно с высокой точностью рассчитать место, которому соответствует спектр отраженного оптического сигнала.

Световой импульс запускается лазерным излучателем и имеет длину волны в инфракрасном диапазоне от 800 до 1600 нм, за пределами видимого спектра. Когда свет поступает в волокно, он немного замедляется. Степень его замедления связана с показателем преломления стекла в волокне. Скорость света в волокне (V) связана со скоростью света в вакууме и с показателем преломления волокна определяется по следующей формуле (1) [1,2,3]:

$$V = \frac{c}{n} = \frac{(3 \cdot 10^8)}{1.5} = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \quad (1)$$

где V - скорость света в стекловолокне; c - скорость распространения света в вакууме; n - относительный показатель преломления стекла.

Если стекловолокно имеет больший показатель преломления чем окружающая среда, то свет внутри волокна будет захвачен и вынужден распространяться по волокну. Это происходит тогда, когда угол падения между световым лучом внутри волокна и его границей с окружающей средой меньше некоторого критического значения. Это принцип «полного внутреннего отражения», основанный на законе Снеллиуса [14].

2. Расчет длины импульса в волоконно-оптической линии

Импульс лазерного излучения в нашем случае имеет продолжительность не более 10 нс. Когда этот импульс входит в волокно, считается, что оно «запущено». Длина светового импульса в волокне, длительностью 10 нс при условии, что показатель преломления волокна является равным 1.5 и определяется путем умножения скорости света в волокне c/n на длительность импульса 10 нс. Соответственно длина светового импульса в

стекловолокне определяется формулой (2) [1,2,3,14]:

$$\lambda = \frac{c}{n} * t = \frac{(3*10^8)}{1.5} * (10 * 10^{-8}) = 2\text{m}, \quad (2)$$

где c - скорость распространения света в вакууме; n - относительный показатель преломления стекла; t - время длительности импульса.

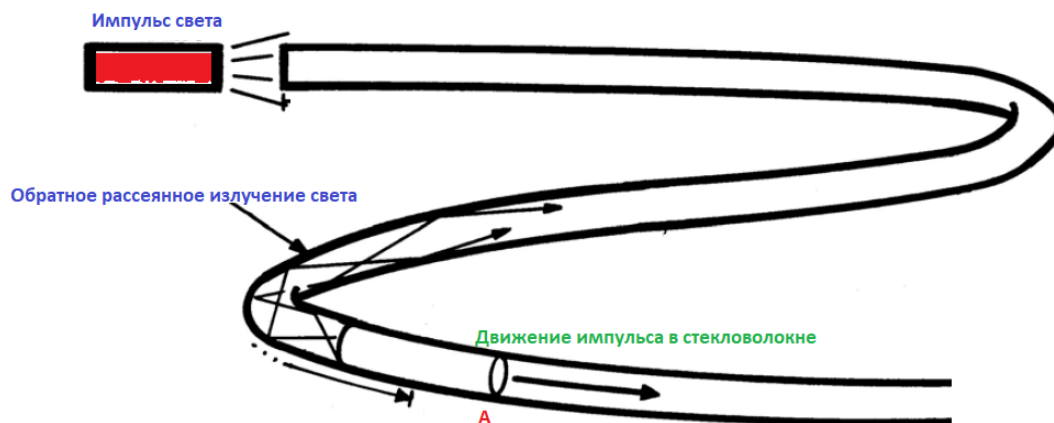


Рис. 1. Движение лазерного импульса в стекловолокне.

Fig. 1. The movement of a laser pulse in glass fiber.

Показатель преломления волокна в нашем случае имеет значение 1.5, он и определяет скорость распространения света в стекловолокне. Когда световой импульс проходит в некоторую точку вдоль волокна (А), обратно рассеянный свет должен вернуться по тому же пути, а общая длина пути для сигнала составит удвоенное значение пути 2А. Если скорость света в волокне равна V , то в некоторый момент времени можно получить сигнал обратно рассеянного света. Время получения обратно рассеянного света рассчитывается по формуле (3):

$$T_{\text{обр.}} = \frac{2A}{V}, \quad (3)$$

где $T_{\text{обр.}}$ – время обратно рассеянного света;

$2A$ – пройденное расстояние в одну и обратную сторону;

V – скорость света в волокне.

Определим время обратно рассеянного света для достижения расстояния по длине волокна в один метр ($\Delta A = 1\text{м}$) по формуле (4):

$$T_{\text{обр.}} = \frac{2\Delta A}{V} = \frac{2*1}{(2*10^8)} = 10^{-9} = 10\text{нс}, \quad (4)$$

где $T_{\text{обр.}}$ – время обратно рассеянного света;

$2\Delta A$ – пройденное расстояние обратно рассеянного света;

V – скорость света в волокне.

4. Расчет частоты повторения запусков световых сигналов в волоконно-оптической линии

3. Расчет времени приема обратно рассеянного излучения в волоконно-оптической линии

Световой импульс, представляет собой движущийся датчик, перемещающийся по волоконной линии и передающий обратно информацию о температуре показан на рисунке 1:

Еще один фактор, который следует учитывать – это частота повторения запусков импульса. Рассмотрим оптоволоконную линию длиной 3000 м. В линии не может быть два световых импульсов одновременно. Если это произойдет, то сигналы обратного рассеяния будут смешаны, и результирующий спектр будет чрезвычайно трудно или невозможно проанализировать. Таким образом, свет должен дойти до конца волокна, а обратно рассеянный свет вернуться до следующего запуска. Минимальное время между запусками — это время прохождения импульса до конца волокна и обратно. Рассчитаем время между запусками импульсов для линии длиной 3000 м, с относительным показателем преломления $n=1.5$ по формуле (5):

$$T_{\text{сиг.}} = \frac{2A}{V} = \frac{2*300}{(2*10^8)} = 3 * 10^{-5}\text{с}, \quad (5)$$

где $T_{\text{сиг.}}$ – время между запусками сигналов; $2A$ - расстояние прохождения обратно рассеянного света; V - скорость света в волокне.

Это соответствует примерно 33 000 запусков в секунду. В реальных случаях скорость запуска может быть меньше, от 4000 до 10000 импульсов в секунду. Это необходимо для обеспечения необходимой обработки данных между запусками.

В системе требуется более одного импульса по причине того что, возвращаемые слабые и зашумленные сигналы имеют очень плохое отношение сигнал/шум, следовательно, для получения статистически значимых данных необходимо накладывать друг на друга множество

сигналов. Это может потребоваться для достижения определенной степени разрешения по температуре в 1°C. Для достижения более высокого разрешения по температуре потребуется больше запусков как показано в источниках[1,5]. В распределенной системе измерения температуры (далее – РСИТ) требуется увеличить длительность импульсов и обеспечить больше запусков сигналов для достижения лучшего температурного разрешения. Следовательно, разрешение системы РСИТ должно определяться длиной волокна, проложенной в кабельной линии и временем выборки сигналов. Как правило, разрешение системы увеличивается пропорционально \sqrt{n} , где n - количество выборок сигналов (мгновенных значений). Чтобы увеличить разрешение в два раза, потребуется получить в четыре раза больше выборок сигналов.

5. Анализ спектра обратного рассеяния

Оптические волокна состоят из кварцевого стекла, с твердотельной структурой [1,2,4]. Температурное воздействие приводит к вибрации в

молекулярной решетке, свет который попал на термически возбужденные молекулы, приводит к взаимодействию между фотонами и электронами, сопровождающееся световым рассеянием (Романовское рассеяние). Затем возбужденная молекулярная решетка и молекулы испускают свет с длинами волн выше и ниже длины основной падающей волны. Основная волна обратного рассеяния соответствует длине запущенной волны и называется пиком или полосой Рэля, этот сигнал является, самым сильным возвращенным сигналом[3]. Эти волны, связанные с колебаниями решетки, проявляются в виде бриллюэновских линий или пиков в спектре обратного рассеяния[2,6]. Линии Бриллюэна очень близки друг к другу и их трудно отделить от основной полосы Рэля. Самые слабые из отраженных волн, возникающие в результате молекулярных и атомных колебаний, являются полосами комбинационного рассеяния. Спектр обратного рассеяния показан на рисунке 2.

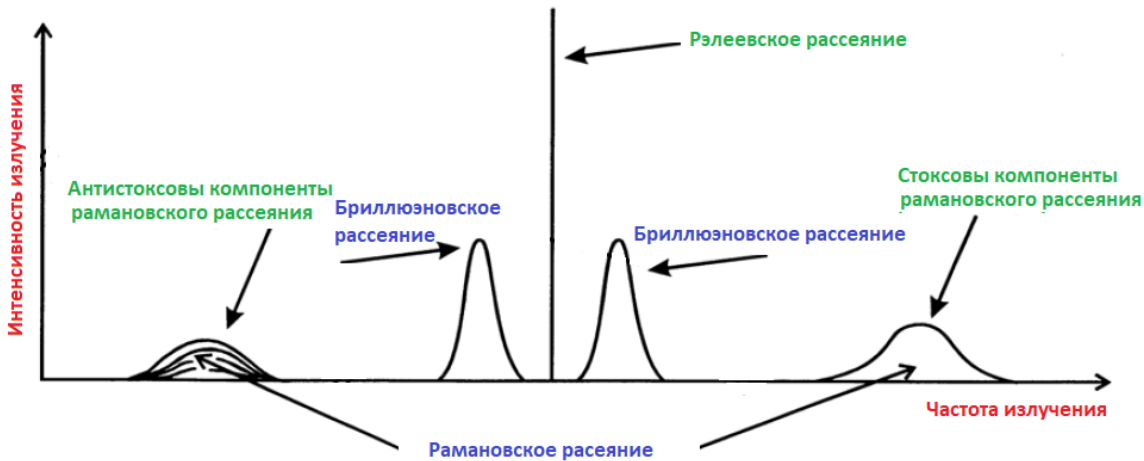


Рис. 2. Представлен спектр обратного рассеяния с полосами Рэля, Бриллюэна и Рамана, а также стоксовыми и антистоксовыми полосами.

Fig. 2. The backscattering spectrum with Rayleigh, Brillouin and Raman bands, as well as Stokes and anti-Stokes bands is presented.

6. Расчет мощности рассеянного излучения

Сигнал комбинационного рассеяния — это сигнал, используемый для оценки температуры. Он достаточно устойчив и имеет уникальную температурную зависимость[9]. Его длина волны сдвинута от основного пика Рэля, что позволяет отфильтровать доминирующие пики Рэля и Бриллюэна. Сигнал комбинационного рассеяния состоит из так называемых «стоксовых» и «антистоксовых» полос. Полоса стокса на более высоких длинах волн стабильна и мало чувствительна к температуре, антистоксова полоса на более низких длинах волн, проявляет высокую чувствительность к температуре [7]. Чем выше энергия внутри полосы, тем выше температура, и наоборот. Отношение энергии или площади в антистоксовой полосе к стоксовой полосе, связано с температурой волоконно-оптической линии, а

именно с точкой где возник сигнал. В устройстве РСИТ оптический импульс высокой мощности, генерируемый лазерным источником, вводится в тестируемое волокно и рассеиваемый свет разделяется на стокс (S) и антистокс (As), а затем обнаруживается двумя лавинными фотодетекторами. Мощность принимаемого света S и AS рассчитывается по следующим формулам(6,7) [6]:

$$Rs(z) = Rs(z)e^{-apz} * e^{-asz} * Po; \quad (6)$$

$$RAs(z) = Rs(z)e^{-apz} * e^{-asz} * Po; \quad (7)$$

где Po – пиковая мощность опросного импульса;
 $Rs(z)$ и $RAs(z)$ – коэффициенты отражения S и As;
 apz и asz – коэффициенты затухания опросного импульса.

Предполагается, что коэффициенты затухания являются постоянными вдоль волокна. Коэффициенты отражения света S и As имеют разную зависимость которая выражается в следующем виде (8,9):

$$R_s(z) \propto \left(\frac{1}{\lambda_s}\right)^4 = \frac{1}{1 - \exp[-h\Delta\nu/kT(z)]}; \quad (8)$$

$$R_{As}(z) \propto \left(\frac{1}{\lambda_{As}}\right)^4 = \frac{1}{\exp\left[\frac{h\Delta\nu}{kT(z)}\right] - 1}, \quad (9)$$

где h – постоянная Планка;
 k- постоянная Больцмана;
 T(z)- температура в точке z;
 $\Delta\nu$ - изменение частоты комбинационного рассеяния;
 λ_{As} и λ_s –длины волн света.

7. Расчет и калибровка температурного профиля

В результате температурный профиль вдоль волокна можно описать отношением мощностей As и S по формуле (10):

$$R(z) = \frac{P_{As}(z)}{P_s(z)} = e^{-(aAs-as)z} \left(\frac{\lambda_{As}}{\lambda_s}\right)^4 \exp\left[-\frac{h\Delta\nu}{kT(z)}\right], \quad (10)$$

В практике коэффициенты затухания света S и As всегда различны, в связи с чем требуется предварительная калибровка что бы свести к минимуму затухания в волокне [6]. Для предварительной калибровки температурный профиль можно представить в следующем виде (11):

$$R(z) = R_{cal}(z) * e^{(aAs-as)z}, \quad (11)$$

где $R_{cal}(z)$ - температурный профиль после корректировки.

Далее для определения R(z) представляем выражение в виде натурального логарифма (12):

$$\ln[R(z)] = -(aAs - as)z + \ln[R_{cal}(z)]. \quad (12)$$

В данном случае предполагаем, что температура волокна является постоянной величиной, коэффициент затухания волокна $-(aAs - as)$ можем определить из уравнения (12) с использованием метода аппроксимации кривой. После выполнения предварительной калибровки, профиль температуры $R_{cal}(z)$ рассчитывается из уравнения (6). Также следует отметить что мощность обратного комбинационного рассеяния на 50-60 дБ ниже пиковой мощности инжектируемого импульса, что приводит к высокому соотношению сигнал/шум, в результате чего как говорилось ранее требуется большое количество итераций циклов запуска излучаемых световых сигналов определенного спектра.

Из выражения (10) можно сделать вывод, что интенсивность стоксовой рамановской компоненты не зависит от температуры, а антистоксовая компонента наоборот, в значительной степени зависит от температуры и по соотношению интенсивности антистоксовой линии к стоксовой можно определить значение температуры. Данный подход позволяет избежать погрешности связанной с возможными флуктуациями мощности лазерного импульса [1,3,5].

Принцип действия системы РСИТ

Принцип работы предложенного устройства, блок-схема которого показана на рисунке 3 основан на приведенной выше методике. Устройство РСИТ содержит импульсный лазерный источник, способный запускать несколько импульсов лазерного излучения, длительность которых составляет от 10 нс и более. Эти лазерные импульсы направляются в оптоволоконную линию с помощью направленного излучателя. Оптоволоконная линия размещается в кабельной линии или в непосредственной близости с изоляцией кабеля (Рис. 4). При использовании одномодового оптического волокна может сохраняться работоспособность на расстояниях более 10-12 км.

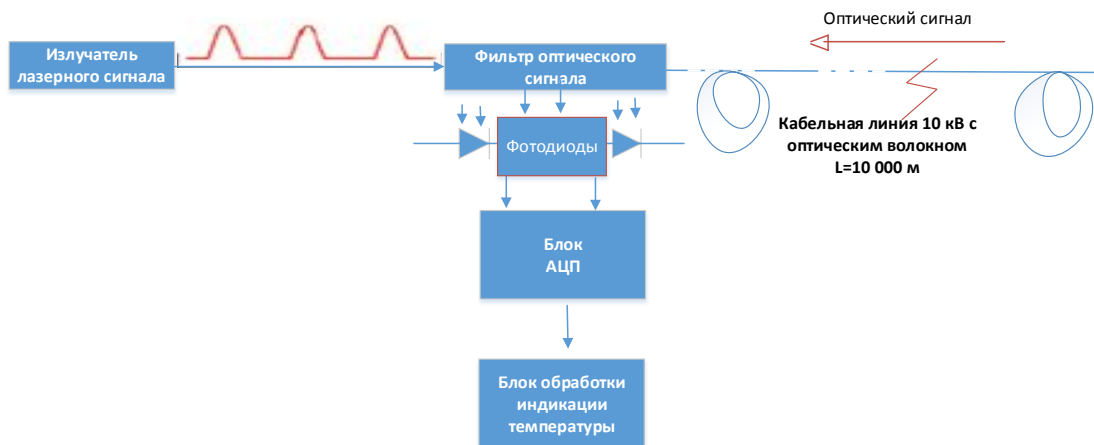


Рис. 3. Блок-схема распределенной системы измерения температуры в кабельных линиях 10 кВ.

Fig. 3. Block diagram of a distributed temperature measurement system in 10 kV cable lines.

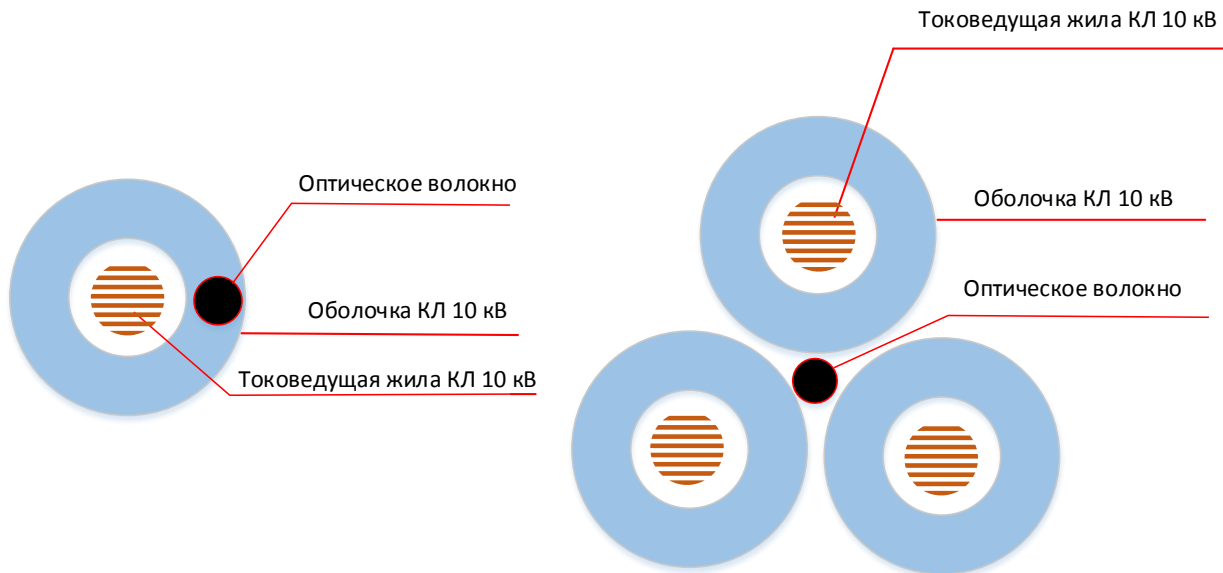


Рис. 4. Варианты размещения оптического волокна для измерения температуры кабельных линий 10 кВ.
Fig. 4. Optical fiber placement options for measuring the temperature of 10 kV cable lines.

Кабельная линия с оптическим волокном прокладывается в земле на определенную глубину, с известной постоянной температурой. Направленный световой импульс движется вдоль линии, как описано ранее, инициируя обратное рассеяние света в Рэлеевской, Бриллюэновской и Рамановской полосах светового спектра. Не весь свет, излучаемый при возбуждении атомной или молекулярной структуры, рассеивается обратно и попадает на фотоприемник прибора. Закон Снелла гласит, что есть определенный критический угол, выше которого свет не будет отражаться внутрь, а будет потерян (Рис. 5). Поскольку волокно цилиндрическое, входящие в волокно лучи образуют конус [7,11,12]. Все лучи, входящие в

сердечник изнутри этого конуса, попадают на оболочку под углом больше критического, поэтому смогут благополучно распространяться вдоль волокна. Этот конус называют "конусом приема", затем обратно рассеянный свет попадает в фотоприемник прибора, где волны Рэля и Бриллюэна, а также фоновый шум фильтруются для фокусировки на полосах комбинационного рассеяния. Как упоминалось ранее, промежуток времени в 10 нс, для захвата обратно рассеянного света соответствует 1-метровому сегменту оптоволоконной линии. Устройство РСИТ должно непрерывно циклически повторять этот процесс, чтобы получить статистически значимые данные температуры.

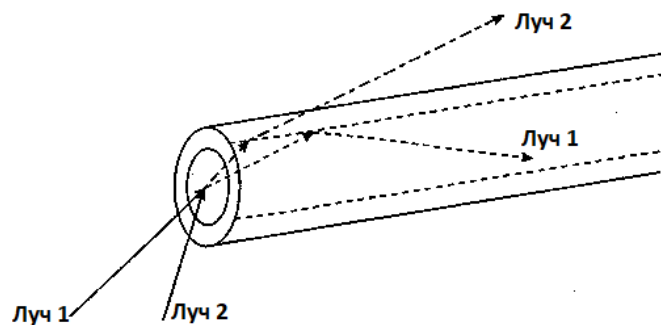


Рис. 5. Представлен лазерный импульс проникающий в оптическое волокно.
Fig. 5. A laser pulse penetrating an optical fiber is presented.

Когда зондирующий импульс сталкивается с отражающим объектом, часть энергии возвращается приемнику. Период между запуском зондирующего импульса и обнаружением отраженного сигнала позволяет определить расстояние до объекта (Рис 6). Амплитуда частично отраженного сигнала обусловлена расстоянием объекта от источника и

детектора [5]. В распределенном датчике температуры зондирующий импульс представляет собой очень короткую вспышку лазерного излучения. После выхода из лазера свет проходит через оптическую муфту и попадает в чувствительное волокно.

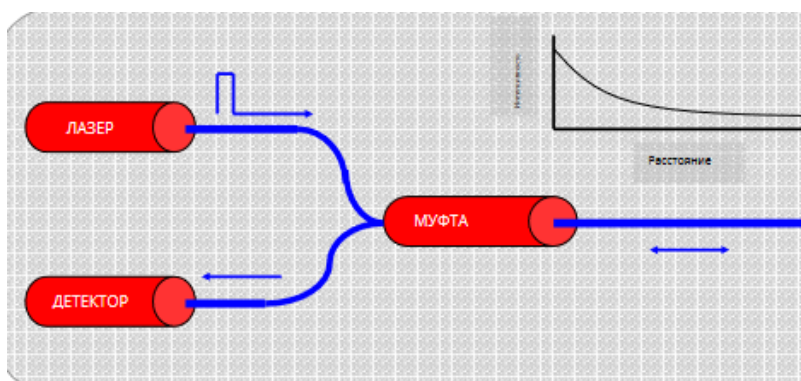


Рис. 6. Представлен путь движения лазерного импульса из оптического волокна в детектор.

Fig. 6. The path of the laser pulse from the optical fiber to the detector is presented.

Когда световой импульс проходит по чувствительному волокну, он затухает. (Один из способов представить это затухание — представить волокно в виде стеклянного окна толщиной в несколько километров). В процессе затухания зондирующий импульс относительно слабо взаимодействует с молекулами стеклянного волокна. Взаимодействие приводит к тому, что световая энергия рассеивается молекулами — часть этого рассеянного света возвращается обратно к пусковому концу волокна. Таким образом, в то время как большая часть световой энергии передается в прямом направлении по волокну, очень небольшая ее часть передается обратно, где она направляется на детектор света. Измеряя интенсивность некоторого отраженного света, который зависит от температуры, а также время его прихода, система рассчитывает и выводит температурный профиль вдоль чувствительного волокна. В нашей системе предполагается оптическое стекловолокно стандартного качества связи. Сердцевина содержится в оболочке из стекла/акрилата, при этом диаметр так называемого «голого» волокна составляет 250 микрон. Дополнительные покрытия и оболочки обеспечивают прочные, водонепроницаемые свойства. На сегодняшний день необходимость применения волоконно-оптического распределенного измерения температуры связано с массовой эксплуатацией кабельных линий расположенных в слоях грунта на разных глубинах.

Установка внешнего оптоволоконного кабеля для измерения температуры на новых подземных линиях электропередачи довольно проста. Оптическое волокно протягивается в траншею после прокладки силового кабеля и привязывается к наружной изолирующей части, приблизительно через каждый метр кабельными стяжками. Если силовой кабель должен быть протянут через длинные каналы, сенсорный кабель можно альтернативно прикрепить с помощью спирально наложенной гибкой полихлорвиниловой ленты.

На подстанции оптоволоконный кабель заканчивается внутри распределительного устройства, а к началу волокна присоединяется патч-корд с оптическим разъемом для подключения

к устройству РСИТ. Сращивание оптических волокон не является трудоемким процессом, но требует наличие специального сварочного оборудования. На втором удаленном конце волокна все, что необходимо для герметизации конца кабеля, это водонепроницаемый термоусадочный чехол. На подстанциях с радиальными линиями электропередачи имеет смысл рассмотреть возможность мультиплексирования одного устройства РСИТ по нескольким кабельным линиям, или использовать оптико-механический переключатель.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрена предложенная методика распределенной системы измерения температуры по всей длине высоковольтной кабельной линии, проложенной в земле с применением оптического волокна с целью непрерывного онлайн-мониторинга технического состояния кабельных линий. Предлагаемый метод обладает достаточно высокой помехоустойчивостью к электрическим и электромагнитным помехам, высокой чувствительностью и высокой точностью, что подтверждается математическим и теоретическим анализом. Рабочие характеристики могут быть дополнительно улучшены за счет использования волокна с более высоким двойным лучепреломлением. Помимо кабельных линий данный метод применим для осуществления распределенного температурного контроля силовых трансформаторов, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, воздушных линий электропередачи, а также другого оборудования подстанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peck, David, and Seebacher, Peter, "Distributed Temperature Sensing using Fibre-Optics (DTS Systems)", 2000 Electricity Engineers' Association Annual Conference, Auckland, New Zealand, 16-17 June, 2000.
2. Nicholls, Paul, "Monitoring for hot spots and leaks using fiber-optic technology", Hydrocarbon Processing, November, 2001.
3. www.yamatoprotec.co.jp, website, January 2003.
4. Laurence, Oliver, "FIBER OPTIC SENSORS Bring New Capabilities To Well Bore Monitoring", The American Oil & Gas Reporter, September, 2001.
5. Starskey, Steve, "Sensa putting fiber optics to good use: well monitoring in Alaska", Petroleum News Alaska, February 17, 2002.
6. X. Bao and L. Chen, "Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors," Sensors 12(7), 8601–8639 (2012).
7. Andersson E, Öhberg P. Quantum Information and Coherence. Cham: Springer International Publishing; 2014.
8. Mandel L, Wolf E. Optical coherence and quantum optics. Cambridge: Cambridge Univ. Press; 2008.
9. Greenbaum E, Drexler W, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography: Technology and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2008.
10. Soller BJ, Gifford DK, Wolfe MS, Froggatt ME, Yu MH, Wysocki PF. Measurement of localized heating in fiber optic components with millimeter spatial resolution. In: Optical Fiber Communication Conference, 2006 and the 2006 National Fiber Optic Engineers Conference, OFC 2006: Anaheim, California, 5 - 10 March 2006, Anaheim, CA, USA, 3/5/2006 - 3/10/2006.
11. LUNA Technologies. Optical Distributed Sensor Interrogator Model ODiSI-B: User's Guide ODiSI-B. 5th ed. Blacksburg, VA 24060; 2017.
12. Eickhoff W, Ulrich R. Optical frequency domain reflectometry in single-mode fiber. Appl. Phys. Lett. 1981;39(9):693–5.
13. Soller B J, Wolfe M Froggatt M E. Polarization Resolved Measurement of Rayleigh Backscatter in Fiber-optic Components. In: Optical Fiber Communication Conference, 2006 and the 2006 National Fiber Optic Engineers Conference, OFC 2006: Anaheim, California, 5 - 10 March 2006, Anaheim, CA, USA, 3/5/2006 - 3/10/2006.
14. Фризык К.С., Маркина Д.И., Общая физика. Оптика. – СПб: Университет ИТМО, 2020.

REFERENCES

1. Peck, David, and Seebacher, Peter, "Distributed Temperature Sensing using Fibre-Optics (DTS Systems)", 2000 Electricity Engineers' Association Annual Conference, Auckland, New Zealand, 16-17 June, 2000.
2. Nicholls, Paul, "Monitoring for hot spots and leaks using fiber-optic technology", Hydrocarbon Processing, November, 2001.
3. www.yamatoprotec.co.jp, website, January 2003.
4. Laurence, Oliver, "FIBER OPTIC SENSORS Bring New Capabilities To Well Bore Monitoring", The American Oil & Gas Reporter, September, 2001.
5. Starskey, Steve, "Sensa putting fiber optics to good use: well monitoring in Alaska", Petroleum News Alaska, February 17, 2002.
6. X. Bao and L. Chen, "Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors," Sensors 12(7), 8601–8639 (2012).
7. Andersson E, Öhberg P. Quantum Information and Coherence. Cham: Springer International Publishing; 2014.
8. Mandel L, Wolf E. Optical coherence and quantum optics. Cambridge: Cambridge Univ. Press; 2008.
9. Greenbaum E, Drexler W, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography: Technology and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2008.
10. Soller BJ, Gifford DK, Wolfe MS, Froggatt ME, Yu MH, Wysocki PF. Measurement of localized heating in fiber optic components with millimeter spatial resolution. In: Optical Fiber Communication Conference, 2006 and the 2006 National Fiber Optic Engineers Conference, OFC 2006: Anaheim, California, 5 - 10 March 2006, Anaheim, CA, USA, 3/5/2006 - 3/10/2006.
11. LUNA Technologies. Optical Distributed Sensor Interrogator Model ODiSI-B: User's Guide ODiSI-B. 5th ed. Blacksburg, VA 24060; 2017.
12. Eickhoff W, Ulrich R. Optical frequency domain reflectometry in single-mode fiber. Appl. Phys. Lett. 1981;39(9):693–5.
13. Soller B J, Wolfe M Froggatt M E. Polarization Resolved Measurement of Rayleigh Backscatter in Fiber-optic Components. In: Optical Fiber Communication Conference, 2006 and the 2006 National Fiber Optic Engineers Conference, OFC 2006: Anaheim, California, 5 - 10 March 2006, Anaheim, CA, USA, 3/5/2006 - 3/10/2006.
14. Frizyuk K. S. and Markina D. I., General Physics. Optics. - St. Petersburg: ITMO University, 2020.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MEASURING TEMPERATURE IN THE LONGITUDINAL PROFILE OF A CABLE LINE USING BUILT-IN FIBER-OPTICAL LINES

Arifov ¹A.M., Bekirov ²E.A.

Physics and Technology Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
295007, Republic of Crimea, Simferopol, p. Vernadsky, 4.
¹arifov.alim@inbox.ru, ²bekirov.e.a@cfuv.ru.

Abstract: the paper proposes a method for measuring temperature in the longitudinal profile of a cable line using built-in fiber optic lines in cable lines under operating voltage and load, which makes it possible to prevent the development of an emergency defect and to control the temperature and distance to the place of heating of the controlled section with high accuracy in real time. In the work on the proposed method, an algorithm for testing was developed.

Subject: the dependence of the parameters of the optical fiber embedded in the cable, arising under the influence of temperature changes, for each specific section or throughout the controlled section of the cable line.

Materials and methods: In the work, for the first time, studies were carried out on the dependence of the parameters of the fiber-optic line of the cable integrated into the cable line, as well as the local temperature change in the section of the cable line, by calculations using the time difference between the moment of receipt of the reflected pulse and the moment of emission of the laser pulse into the optical fiber.

Results: an algorithm was developed, as well as a mathematical analysis was carried out, confirming the receipt of the resulting combinatorial scattering data, for the subsequent output of temperature parameters using an optical fiber integrated into the cable line. Temperature control is determined by optical scattering in the reflected signals.

Conclusions: temperature control by optical scattering in reflected signals is applicable to measuring the temperature regime in the cable line profile, which in turn will allow optimizing the load of the cable line, rationally taking into account real climatic conditions and local features of the laying of all sections of the cable line, as well as detecting defects prematurely.

Key words: optical fiber; cable line; anti-stokes; stokes.

TO THE CALCULATION OF A FIBER CONCRETE BLOCK AS PART OF LOCALLY REINFORCED TRUSS NODES FROM SQUARE HOLLOW SECTIONS

Abdurahman Pazhwak

Takhar university, Engineering faculty, department: civil,
Taloqan, Afghanistan,
pazhwak_2008@yahoo.com

Abstract. Problem statement. Currently, steel trusses made of square hollow sections occupy the overwhelming market share among the load-bearing roof and crossing truss structures. Their advantages include cost-effectiveness, high aesthetic and performance properties. However, the verification calculations of such trusses require special attention to the nodes and often the cross-section of the element is determined based on the strength of the node rather than the truss element. Increasing the bearing capacity of the nodes of such trusses will improve their economic efficiency and operability.

The purpose. Development of a methodology for calculating a fiber concrete block of analytical dependences for determining the bedding factor of a block of locally reinforced nodes of trusses made of square hollow sections. To achieve the goal, the following tasks have been formulated:

1. Determine the computational scheme of the node model, reflecting the stiffness factor as a part of the computational model of a node made of square hollow sections, including struts and truss chords made of square hollow sections;
2. Determine the applicability of a beam analogy on an elastic basis to the design scheme of a fiber concrete block;
3. To propose a methodology for calculating the coefficient of bedding of fiber concrete block as a part of reinforced girder assembly made of square hollow sections.
4. To consider the method of calculating the coefficient of, from the relative bending stiffness of a fiber concrete block as a part of a strengthened truss assembly made of square hollow sections.

Results. The main results of the work consist in the analytical study of truss nodes from square hollow sections locally reinforced with a fiber concrete block, the development of a method for calculating a fiber concrete block as a beam on an elastic foundation based on the results of numerical experiments in the «Ansys Workbench» software package.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that possible approaches to determining different methods for calculating a fiber concrete block as part of reinforced truss units from square hollow sections are considered, which will reduce the metal consumption and deformability. The results obtained in numerical studies of the stiffness coefficient of a fiber concrete block and the results obtained using the «Ansys Workbenches» software package showed that they are close to the results of calculating the stiffness coefficient of a fiber concrete block in locally reinforced truss nodes from square hollow sections.

Key words: numerical analysis, knot, fiber concrete, steel truss, bed coefficient and numerical study.

INTRODUCTION

The methodology of calculation of fiber concrete block as a part of reinforced nodes of square hollow sections (SHS) trusses is now considered. Used in buildings, bridges, towers and trusses made of square hollow sections with high aesthetic appearance and performance properties. Features of their calculation, design and performance in the construction process, as well as the relative in terms of flexural performance [1]. Economic competitiveness is achieved due to the low cost of production and structural efficiency of tubular profiles in operation under compressive loads [2].

It is well known that locally reinforced concrete-filled truss nodes have load-bearing capacity and good ductility. The disadvantages of tubular sections include reduced bending stiffness [3], as well as special attention and more stringent requirements for the execution of welds. Tubular section joints transfer loads in a complex way. The mechanism of this transfer depends on several parameters, such as the dimensions of the RHS (rectangular hollow section) or SHS (square hollow section) elements, thickness, angle and width ratio between adjacent elements.

If we take into account the partial plastification of some local nodes in the joint and the buckling effects in

the compressed part of the plates, the load transfer under such conditions can be described as nonlinear. Nonlinearity leads to several failure modes that can occur in joints of square hollow sections elements. According to Eurocode 3[4].

- a) Chord face plastification
- b) Punching shear failure of the chord
- c) Uneven load distribution, in the tension brace
- d) Uneven load distribution, in the compression brace
- e) Shear yielding of the chord, in the gap
- f) Chord side wall failure
- g) Local buckling of the chord face

Studies [5-6], have shown a significant increase in the bearing capacity of K-type connections with concrete-filled chords. It is also stated in [4] that strut elements under tension and compression should be calculated separately and that the determining limit state for the stretched strut element will be the premature local flow of the chord at the junction of the strut elements or the strike-slip of the chord surface around the strut.

In [10], there are data on testing of truss nodes made of square hollow sections with one and two strut elements adjacent to the chord with different types of reinforcement made so as to transfer the load from the strut to most of the perimeter of the chord cross-section in the node. The use of these reinforcements increased

the bearing capacity of the nodes by an average of 15% [8].

Numerical investigations and calculations based on the characteristics of fiber concrete block properties allow to design and apply more economically to calculate the structure at all stages of work of fiber concrete reinforced square hollow sections truss units. Therefore, research to improve the methodology of calculation of locally reinforced units of square hollow sections trusses with fiber concrete is an urgent scientific task [5].

The calculation methods used in the design of truss nodes made of square hollow sections contain some simplifications and generalizations, and in certain cases cause some discrepancies between the calculated and actual values. In this paper, an attempt is made to estimate the scale of these discrepancies on the example of K-shaped knot connection, evaluating its carrying capacity using an analytical approach in accordance with [6] numerical analysis performed with the help of «Ansys Workbench»

The object of the study is steel trusses made of square hollow sections, the local strengthening of the

nodes of which is performed by monolithic fiber concrete.

The subject of the study is the local strengthening of K-type joint nodes, performed according to [6], and the calculation of the fiber concrete block for the action of concentrated loads from the elements of the brace.

MATERIALS AND METHODS

The connection of a truss node made of K-shaped square hollow sections made according to [8] with a reinforced fiber concrete block. Block cross-section 120x120 mm and length 560 mm is made of fiber concrete with elastic modulus $E=30000$ MPa and computational compression resistance $R_b=14.5$ MPa. The cross-section of the truss chord is 120x120x4 mm and the compressed brace is 60x60x3 mm and the stretched brace is 40x40x3 mm. Materials for truss knots: the chord and braces of the knot are C255 steel according to GOST 27772-2015 [6] with a design resistance of 380 MPa, local filling is fiber concrete with an elastic modulus of not less than 30000 MPa Fig. 1.

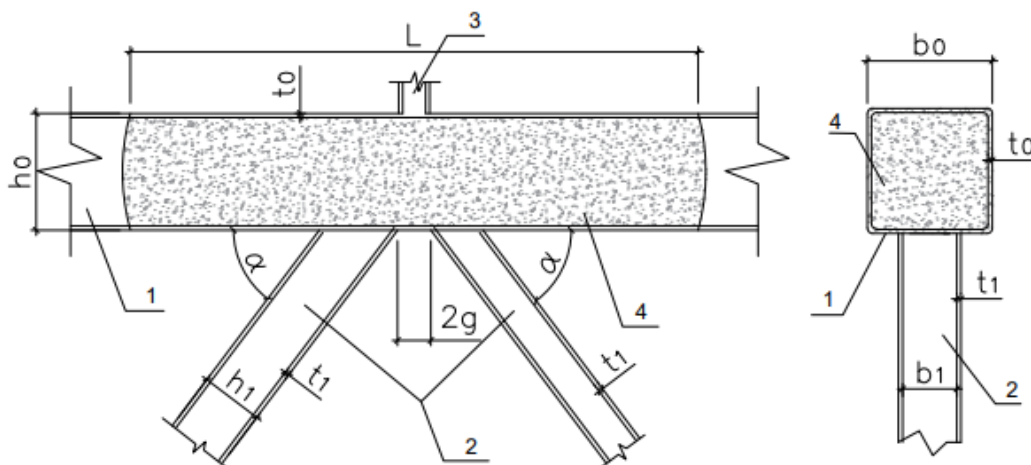


Fig.1 - Design parameters of nodes

This study presents a new method [4] of local reinforcement of truss nodes made of square hollow sections by fiber concrete element Fig.1, where:

- 1 – truss chords (upper chord),
- 2 – truss struts,
- 3 – hole for concreting the nodes, in which the filling bag and pipe plug are inserted and then welded to the truss chords,
- 4 – the fiber concrete unit after the curing process,
- L – length of the fiber concrete block,
- h0 – height of the chord cross section,
- b0 – width of the chord cross-section,
- t0 – chord thickness,
- h1 – height of the strut section,
- b1 – width of strut section,
- t1 – strut thickness,
- α – angle of abutment of the brace,

Modeling of truss nodes made of square hollow sections K-connection profiles, locally reinforced with a fiber concrete element on an elastic base.

The subject of this study is locally reinforced concrete filled K-type joints. The weakest part of joints of this type is the section of the chord to which the stretched brace adjoins [2]. Concrete-filled chord can be made in various ways. In the production shop the truss can be tilted for the filled chord [5]. Filling of the whole truss chord increases the design resistance of the structure, but leads to an increase in the weight of the structure and higher labor costs.

The study presents a new methodology for calculating local reinforcement of truss nodes with fiber concrete [5]. The chord (1) is filled with concrete (4) through a previously prepared hole in which a plug (3) is inserted, then the hole is welded Fig. 1. To prevent the concrete mixture from spreading inside the chord, a fabric bag (4) is placed through the hole before the filling procedure. The concrete mixture under pressure forces the bag to unfold and fill the space inside the belt [7].

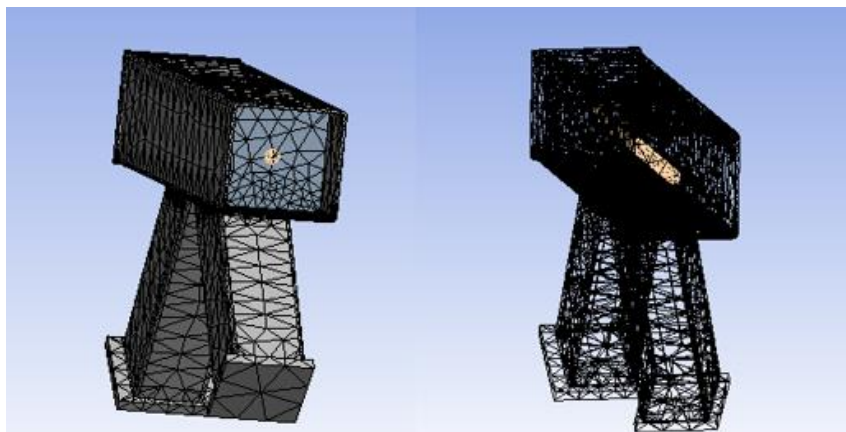


Fig. 2 - finite element model of the K -figurative node

It can be seen from Fig. 2 that a finite element model in software package "Ansys Workbench" was made to analyze the work of fiber concrete block as reinforced nodes of trusses made of square hollow sections of K-shaped connection type. To increase the load-carrying

capacity and the workability of the fiber concrete block as a part of the reinforced nodes of the trusses made of square hollow sections, the rods are structurally placed in it [7].

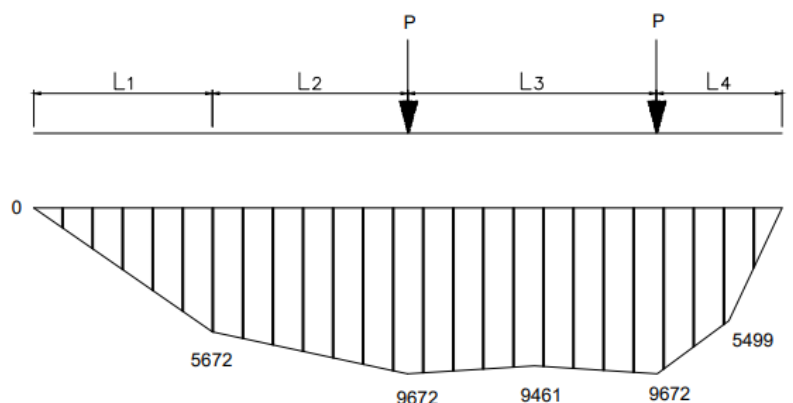


Fig. 3 - Bending moment diagrams of the fiber concrete block

Fig. 3 shows the results of bending moment of fiber concrete block as a part of reinforced trusses made of square hollow section as a part of reinforced nodes of square hollow sections, which was performed in

software package "Ansys Workbench". It is necessary to develop a methodology for calculating the stiffness factor of a fiber concrete block on an elastic base [9].

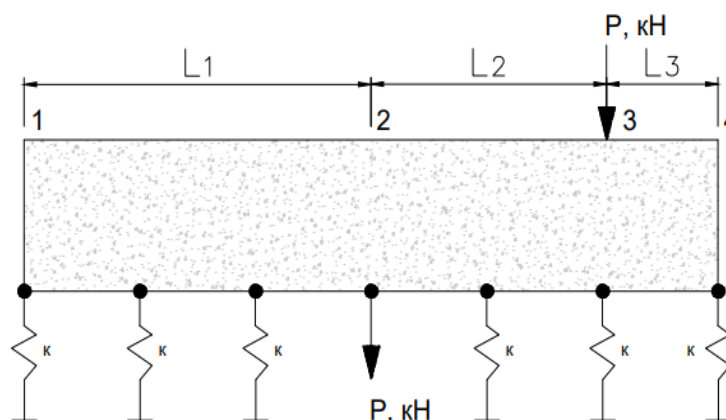


Fig. 4 - fiber concrete beam on an elastic base

Fig. 4 shows that when a brace is subjected to compressive longitudinal forces in the flange by the chord of a truss made of square hollow sections, to

which the brace is adjacent, the importance of stresses binds it by bending [4]. In the case of filling the chord with fiber concrete nodal sections, part of the forces

from the brace is transferred to the fiber concrete block, the upper flange of the chord is unloaded. In this case, the work of these blocks can be considered as the work of a beam on an elastic basis [8].

A similar approach to determining the value of the coefficient, of the relative value of the bending stiffness of a fiber concrete block on an elastic base as part of reinforced nodes truss of square hollow sections, taking into account bending moments and concentrated loads in an arbitrary section of the block [9-11] is calculated by the formulas;

We choose the origin of coordinates under, and the second point of the beam on an elastic base, at $x=0, \eta=1$;

$$\beta^* = \frac{1}{4M_2} \cdot P \cdot e^{-\beta x} (\cos \alpha - \sin \alpha) \quad (1)$$

where P – is the concentrated load;

M – bending moment;

$\eta_i = e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$ - function;

To determine the stiffness factor of fiber concrete block as a part of reinforced nodes of trusses made of square hollow sections, taking into account the stiffness and the coefficient from the relative bending stiffness of the block [12], we calculate by the formula:

$$k = 4EI\beta^{4*} \quad (2)$$

The use of modern software complexes allows numerous variation studies, combining different loads and changes in strength and deformation characteristics of materials, high strength concrete for reinforced concrete beams, and comparing the results obtained with the help of "Ansys Workbench" with the results of analytical calculations [3]. In this study, one of the most modern universal software complexes "ANSYS Workbench" was used [4].

RESULTS AND DISCUSSION

Analytical calculations were performed in accordance with [5]. For the analyzed fiber- concrete block as reinforced nodes of trusses made of square hollow sections K - shaped types of connections in the calculated sections, the methods of calculation of the beam on an elastic basis taking into account the Krilov and Euler functions [9] were used. The obtained results of stiffness factor calculations considering bending moment at varying section size and block length [11] are presented in the table.

Table 1. Results of analytical calculations of the fiber concrete block on an elastic base

| № | P, кН | M, кН*М | β | γ | K, кП | $\beta^*, \text{м}^{-1}$ |
|----|-------|---------|---------|----------|-----------|--------------------------|
| 1 | 147 | 31.534 | 0.533 | 38 | 85625 | 1.1654 |
| 2 | 147 | 30.112 | 0.666 | 38 | 104924160 | 1.7278 |
| 3 | 147 | 26.414 | 0.800 | 38 | 16362 | 2.9104 |
| 4 | 147 | 23.953 | 0.933 | 38 | 25515 | 11.8624 |
| 5 | 147 | 21.983 | 0.533 | 30 | 21176 | 1.6717 |
| 6 | 147 | 14.818 | 0.666 | 30 | 95065 | 2.4800 |
| 7 | 147 | 7.338 | 0.800 | 30 | 3169964 | 5.0079 |
| 8 | 147 | 3.045 | 0.933 | 30 | 107228242 | 12.0773 |
| 9 | 147 | 15.11 | 0.533 | 25 | 58694 | 2,45 |
| 10 | 147 | 9.959 | 0.666 | 25 | 934951 | 3,69 |
| 11 | 147 | 3.098 | 0.800 | 25 | 99800853 | 11,8624 |
| 12 | 147 | 3.019 | 0.933 | 25 | 110558681 | 12,17 |
| 13 | 147 | 10.679 | 0.533 | 21 | 706866 | 3,4413 |
| 14 | 147 | 3.792 | 0.666 | 21 | 44444405 | 9,6905 |
| 15 | 147 | 3.004 | 0.800 | 21 | 112876197 | 12,2333 |
| 16 | 147 | 3.219 | 0.933 | 21 | 110576348 | 12,27048 |

The calculations of fiber concrete blocks as a beam work on an elastic base were performed using the software complexes "Ansys Workbench" [8]. Fibroconcrete block under the action of concentrated load was used as reinforcement of truss nodes made of square hollow sections.

Results of calculations - graphs of coefficient β^* , depending on the relative value of bending stiffness of

block and coefficient β of aspect ratio (brace width to width of truss chord) Eurocode 3[14], are shown in Fig. 4. As shown in graph 4, the bending moment of the fiber concrete block decreases when the cross-section of the truss brace element is entrained and the bending moment of the fiber concrete block increases, while the stiffness and workability of the square hollow sections truss node increases [3].

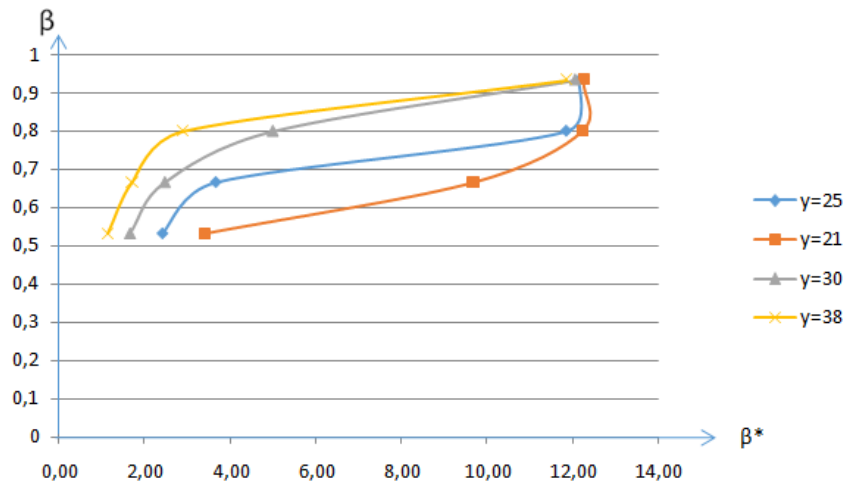


Fig. 4 - Graphs of the relative value of the bending stiffness of fiber concrete and the ratio of the width brace to the width chord of the truss

As it can be seen from the table and the graph, the main parameters varied in the analyzed reinforced truss units made of square hollow sections with fibrous concrete [15] include:

- Ratio of brace element width to chord width $\beta = b_1/b_0$: 0.5333, 0.666, 0.80, 0.9333

- Ratio of chord width to chord thickness:

$$\gamma = \frac{b_0}{t_0} \quad 38, 30, 25, 21.$$

The above mentioned parameters are chosen because they have been identified in published studies as the dominant factors affecting the behavior of reinforced K-joint truss nodes [14]. The variations of the ranges β and γ are based on those frequently encountered in practice.

Calculation results have shown that the greatest bedding factor in the fiber concrete block occurs when the value of the coefficient dependent on the relative value of the flexural stiffness of the fiber concrete block and the block stiffness $EI = 12.654 \cdot 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ increases [9].

The above mentioned parameters are chosen because they have been identified in published studies as the dominant factors affecting the behavior of reinforced K-joint truss nodes [14]. The variations of the ranges β and γ are based on those frequently encountered in practice.

In spite of the absence of full-fledged normative and technical base on methods of calculation of fiber concrete block as a part of reinforced nodes of trusses from square hollow sections, the finite-element model of the block developed in the program complex "Ansys Workbench" Fig. 2 allows to define reliably the method of calculation of bedding factor and coefficient depending on the relative value of bending stiffness of fiber concrete block. According to the results of numerical studies, it has been established that the operability of truss units reinforced with fiber concrete made of square hollow sections is ensured, thus confirming the possibility of its further experimental research and introduction into construction [10].

In the study [2], which simulated in the software

package "Ansys Workbench" the methodology of calculation of fiber concrete block as a part of reinforced nodes of trusses made of square hollow sections. Based on the results of numerical studies, this paper determines the calculation procedure for a K-type fiber reinforced concrete unit and obtains the criteria for its serviceability and deformability.

In [2] we considered the method of local concrete filling of K-type nodes as an alternative to stiffening ribs welded from the outside to the chords of chords trusses is a good enough design solution that increases the strength, stiffness and fatigue endurance of structures.

CONCLUSION

The following conclusions can be drawn from the results of the work:

1. The calculation scheme of a node model, reflecting its stiffness factor as a part of the calculation model of a node made of square hollow sections, including braces and truss chords, has been determined.
2. The applicability of the beam analogy on an elastic base to the design scheme of a fiber concrete unit has been established.
3. A methodology for calculating the stiffness factor k of a fiber concrete block as part of a reinforced truss assembly made of bent profiles has been proposed, $k = 85625, 104921, 16362, 25515$.
4. A procedure of calculating the coefficient β , which depends on the relative value of bending stiffness of a fiber concrete block as a part of a reinforced node of a truss made of square hollow sections, has been considered, $\beta = 1.165, 1.727, 2.910, 11.862 \text{ m}^{-1}$.

REFERENCES

1. Yoshinaga S, Tetsuya H, Akira I, Atsushi I, Kaoru M. Experiment son concrete filled and reinforced tubular K-joints of truss girder/ Journal of Constructional Steel Research.2004. vol.60. p.683-699. Doi:10.1016/S0143-974X(03)00136-6.
2. Gimranov L. R, Locally concrete filled reinforced joints of RHS and SHS trusses/ Proceedings of STCCEI. 2021. Vol. 169. P.58-71.

3. Wu Xu, Lin-Hai H, Zhong T. Flexural behavior of curved concrete filled steel tubular trusses/ Journal of Constructional Steel Research. 2014. Vol. 93. P.119-134. Doi: 10.1016/j.jcsr.2013.10.015.
4. Packer J. A, Wardenier J, Zhao X. L, Vegte G. J, Kurobane Y. Design guide for Rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading//CIDECT. 2009. ISBN 978-3-938817-04-9.
5. Gimranov L. R, Pazhwak A., To the determination of the stress-strain state of a concrete block as part of a reinforced node truss from square hollow sections// International Journal of Advanced Academic Studies. 2022. №4. Vol. 3. P.135-139.
6. Jacek N., An analytical and numerical assessment of the load capacity of the K-joint of flat steel trusses// Zesty Naukowe Polytechnic Czestochowskie. 2019. Vol. 25. P.168-173. DOI: 10.17512/znb.2019.1.26.
7. Pat. 2,756,260 Russian Federation. The method of strengthening the belts in the node of the tubular truss / Kuznetsov I. L., Gimranov L. R.; Patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Kazan State University of Architecture and Civil Engineering" - No. 2021105350, App. 03/01/2021; publ. 09/28/2021, Bull. № . 28-p.5.
8. Ana A.M, Arlene S, Gabriel N. Numerical analysis of truss systems with stiffened flattened end-bars// Latin American Journal of Solids and Structures. 2018. Vol. 15. № 3. Dio: 10.1590/1679-78254119.
9. Aleksandrov A.A., Potapov V. D., Derzhavin B. P., Resistance of materials. Moscow: the higher school, 2012. –560 p.
10. Perminov D.A., The study of the stress state of the Knot made of bent profiles of closed section // Construction and technogenic safety. 2017. №7. p. 47-53.
11. Kayumov R.A., Resistance of materials. K.: Publishing Department of KGASU, - 2010. p.170.
12. Timoshenko S. P., strength of materials. Moscow: physico-mathematical literature, 2005. – 481 p.
13. Marwa M. Muhaned A, Performance of concrete-filled steel tube truss girders strength by adding reinforcement// Materials Science and Engineering. 2020. Vl. 870. P.1-15. Dio:10.1088/1757-899X/870/1/012098.
14. Wardenier, J.A. Packer, X.-L. Zhao and G.J. van der Vegte. Hollow Sections In Structural Applications. ISBN 978-90-72830-86-9 CIDECT, Geneva, Switzerland, 2010.
15. Dengyiding J, Chao H, Luming Sh, Lin-Hai H. Numerical investigation of demountable CFST K-joints using blind bolts// Journal of Constructional Steel Research. 2019. №160. Pp. 428-443. Doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.05.046.

К РАСЧЕТУ ФИБРОБЕТОННОГО БЛОКА В СОСТАВЕ ЛОКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ФЕРМЕННЫХ УЗЛОВ ИЗ КВАДРАТНЫХ ПОЛЫХ СЕКЦИЙ

Абдурахман Пажвак

Университет Тахар, инженерный факультет, Талокан, Афганистан.

Аннотация Постановка проблемы. В настоящее время стальные фермы, изготовленные из квадратных полых профилей, занимают подавляющую долю рынка среди несущих конструкций кровли и пересекающихся ферм. Их преимущества включают экономичность, высокие эстетические и эксплуатационные свойства. Однако проверочные расчеты таких ферм требуют особого внимания к узлам, и часто поперечное сечение элемента определяется на основе прочности узла, а не элемента фермы. Увеличение несущей способности узлов таких ферм позволит повысить их экономическую эффективность и работоспособность.

Цель. Разработка методики расчета фибробетонного блока аналитических зависимостей для определения коэффициента подстилаемости блока локально армированных узлов ферм, изготовленных из квадратных полых профилей. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Определите вычислительную схему модели узла, отражающую коэффициент жесткости как часть вычислительной модели узла, выполненного из квадратных полых секций, включая стойки и стропильные пояса, выполненные из квадратных полых секций;
2. Определите применимость аналогии с балкой на упругой основе к конструктивной схеме фибробетонного блока;
3. Предложить методику расчета коэффициента подстилаемости фибробетонного блока в составе армированной балочной конструкции, изготовленной из квадратных полых профилей.
4. Рассмотреть метод расчета коэффициента, исходя из относительной жесткости на изгиб фибробетонного блока как части усиленного ферменного узла, изготовленного из квадратных полых секций.

Результаты. Основные результаты работы заключаются в аналитическом исследовании узлов фермы из квадратных полых секций, локально армированных фибробетонным блоком, разработке метода расчета фибробетонного блока как балки на упругом основании на основе результатов численных экспериментов в программном пакете «Ansys Workbench».

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что рассмотрены возможные подходы к определению различных методов расчета фибробетонного блока в составе армированных ферменных узлов из квадратных полых профилей, что позволит снизить металлоемкость и деформируемость. Результаты, полученные при численных исследованиях коэффициента жесткости фибробетонного блока, и результаты, полученные с использованием программного пакета «Ansys Workbenches», показали, что они близки к результатам расчета коэффициента жесткости фибробетонного блока в локально усиленных стропильных узлах из квадратных полых секций.

Ключевые слова: численный анализ, узел, фибробетон, стальная ферма, коэффициент слоя и численное исследование.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТЕОСТАНЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В КРЫМУ

Бекиров О.С., Воскресенская С.Н., Бекиров Э.А.

Физико-технический институт,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского»,
Республика Крым, г.Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4,
Bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация. В статье приводится анализ существующих методов прогнозирования ветроэнергетического потенциала. При этом они могут базироваться на статистических данных, полученных для конкретного пункта, где размещена метеостанция, или на физических воздействиях климатических условий в данный момент времени. Рассматриваются существующие методы оценки информативности размещения метеостанций и результаты, полученные при помощи метода ячеек Вороного для Республики Крым. Приведен анализ, на каких участках информативность недостаточна и требуется применение адаптивных статистических моделей прогнозирования.

Предмет исследования: Ветроэнергетика и оценка потенциала ветра на территории Республики Крым.

Материалы и методы: Теоретической основой являются труды отечественных и зарубежных ученых в области ветроэнергетики. В работе использовались аналитические методы исследований, метод ячеек Вороного.

Результаты: Показана и проанализирована информативность размещения метеостанций на территории Республики Крым с точки зрения оценки ветроэнергетического потенциала.

Выводы: Результаты работы позволяют получить представление о том, насколько точной на определенных участках Крыма может быть оценка ветрового потенциала вследствие неравномерного расположения метеостанций, когда необходимо использование разных моделей прогнозирования, в том числе и адаптивных, для получения более точной информации.

Ключевые слова: Ветроэлектростанция, метеостанция, прогнозирование, ячейка Вороного, модель, ветроэнергетический потенциал.

ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой на пути использования ветровой энергетики и широкого применения ветроэлектрических агрегатов является переменный характер и сложное прогнозирование направления и скорости ветра.

Методы оценки энергии ветра можно различать по следующим факторам: по физическому воздействию и по статистическим данным.

По первому фактору анализируются воздействия атмосферы и ее взаимодействие с поверхностью земли. Второй фактор базируется на статистических данных и результатах многолетних исследований и измерений направления, и скорости ветра. Более детально процедура прогнозирования описана в работах [1, 2, 3].

В любом случае для определения текущих параметров и характеристик ветра и для сбора статистических данных необходимы метеостанции. Они могут быть размещены на территории отдельного административного округа произвольно, в крупных городах и населенных пунктах. Таким образом, не обеспечивается покрытие всей территории.

Целью статьи является анализ информативности размещения метеостанций, используемых для оценки ветрового потенциала в условиях Республики Крым.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для того чтобы оценить ветровой потенциал на заданной площадке, следует выбрать необходимый перечень исходных данных. Он может меняться для построения эффективной модели оценивания и включать такие данные, как рельеф местности, наличие препятствий, метеоданные.

Для статистической модели прогнозирования используются параметры многолетних наблюдений за климатической обстановкой. С их помощью осуществляется численное прогнозирование погоды (NWP модели) и проводится пространственно-временная корреляция метеоданных для оценки фактической эффективности ветроустановок.

Прогнозирование по физическому воздействию часто используется для начального анализа и сравнения его результатов с результатами статистического метода. Для проведения пространственной корреляции необходимы данные многолетних наблюдений скорости ветра как для выбранной площадки для проектирования ветроэлектростанции (ВЭС), так и для соседних. Модель NWP разработана метеорологами для прогнозирования погоды на больших территориях, в том числе. Хотя в самом простом случае прогнозирование проводится для конкретной точки и затрагивает пространство с радиусом примерно 5 километров. Особенность NWP модели также заключается в том, что она не обеспечивает точных

результатов для долгосрочной перспективы. Для создания NWP модели и оценки ветрового потенциала данной местности топография местности представляется в виде цифровых трехмерных элементов. При моделировании для значительных площадей также предусматривается наличие особенностей рельефа и дополнительно применяется программа, учитывающая препятствия, неровности поверхности, взаимное затенение ветротурбин (например, программный пакет WAsP). Чтобы уменьшить погрешности при корреляции и интерполяции выходных данных проводят сравнение полученных результатов с данными, найденными по физическому воздействию. Результаты исследований показывают, что NWP модель при прогнозировании дает лучший результат. Оценивание ветрового потенциала с помощью традиционных статистических моделей позволяет получить результаты, идентичные получаемым при прямой обработке случайных величин физического воздействия климатических условий.

Разберем более подробно, как осуществляются временные и пространственные корреляции при оценивании ветрового потенциала.

Изначальные данные для проведения оценивания представляются в виде численного ряда. Опираясь на множество накопленных статистических данных, осуществляется идентификация вида зависимости, оценка параметров, разрабатывается математическая модель. Наиболее часто используется интегрированная модель авторегрессии (скользящего среднего) для анализа временных рядов (ARIMA) [4]. Она позволяет работать с нестационарными данными, то есть учитывать сезонность и изменение ветрового потенциала в

течение года. Временные ряды можно сделать стационарными путем нахождения разностей некоторого порядка от исходного временного ряда. Другой статистический метод – метод фильтров Калмана [5, 6]. Он использует динамическую модель системы и позволяет получить оптимальную оценку параметра на основе множества последовательных измерений. При этом процесс проходит в два этапа. На первом этапе проводится прогнозирование величины для заданного времени с учетом возможных неточностей при измерениях, а на втором ее корректировка.

Пространственная корреляция необходима для учета изменения скорости ветра на разных площадках. Этот тип моделей корреляции необходим в связи с тем, что не всегда метеостанции располагаются в местности, где в дальнейшем планируется строительство ВЭС. Они требуют большего количества усилий, так как рельеф между двумя рассматриваемыми точками (метеостанцией и площадкой ВЭС) может иметь различные уклоны, изменение свойств подстилающей поверхности и т.д. В этом случае метод приближений позволяет спрогнозировать параметры ветра, но только для ровной местности можно получить более точные данные, а при сложном рельефе возникают значительные погрешности. Для таких случаев разработаны адаптивные модели с использованием статистического прогнозирования [7].

В Крыму для оценивания ветроэнергетического потенциала (ВЭП) использовались статистические данные скорости ветра за некоторый краткосрочный промежуток времени [8] и было выявлено, что результаты существенно ниже долгосрочных данных скорости ветра (таблица 1). Особенно велика разница для метеопостов 1 – 3.

Таблица 1. Сравнение краткосрочных и долгосрочных данных скорости ветра
Table 1. Comparison of short-term and long-term wind speed data

| № | Метеопост системы TESIS | Год | Высота датчика анемометра, м | Средняя скорость ветра, м/с | Близлежащая отечественная метеостанция | Отношение к средней многолетней скорости ветра |
|---|-------------------------|------|------------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | «Кировск» | 2014 | 8 | 4,0 | «Нижегорск» | 0,87 |
| 2 | «Джанкой» | 2014 | 18 | 6,2 | «Джанкой» | 0,77 |
| 3 | «Гвардейское» | 2010 | 24 | 5,5 | «Симферополь» | 0,86 |
| 4 | «Донузлав» | 2007 | 18 | 4,4 | «Евпатория» | 0,96 |
| 5 | «Акташ» | 2007 | 15 | 5,5 | «Мысовое» | 0,91 |

Моделирование ВЭП Крыма осуществлялось с использованием модели NOABL (Numerical Objective Analysis Boundary Layer), разработанной в 1970-е годы в США. В основе модели лежит масс-консистентная теория, разработанная в 1958 г. И.Сасаки для учета распространения выбросов в окружающую среду, и развитая в 1978 г. С.Шерманом для моделирования ветрового потенциала над пересечённой местностью [9]. Компьютерная реализация модели NOABL выполнена в 1978-79 гг. в Департаменте энергетики США.

Расчёты по модели NOABL начинаются со всех доступных наблюдений скорости ветра в интересующем регионе. Эти наблюдения (обычно на метеостанциях) используются в качестве базы оценивания скорости ветра в каждой точке моделируемой трёхмерной области. Модель решает задачу в два этапа. На первом из них рассчитывается начальное приближение ветрового потенциала в каждой точке моделируемой области. Данные наблюдений являются точкой отсчёта, от которой формируется начальное приближение. Но, так как наблюдения являются точечными измерениями,

метод должен обеспечивать решение проблемы распространения данных во все точки области. Вертикальный профиль горизонтальных ветров устанавливается для каждого пункта наблюдений либо по степенному, либо по логарифмическому закону для фиксированной высоты. Выше этой высоты скорость ветра принимается постоянной. После того, как вертикальный профиль ветра установлен, требуется горизонтальная интерполяция начального приближения для всех оставшихся пунктов. Таким образом, эта процедура обеспечивает оценивание начального приближения ветрового потенциала по всей моделируемой области.

На втором этапе проводится процесс уточнения начального приближения данных. Это делается таким образом, что начальное приближение изменяется минимальным образом так, чтобы конечная вычисленная скорость удовлетворяла уравнению непрерывности потока

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где u, v, w – координаты скорости.

Дополнительно учитываются условия пограничного слоя рельефа, требующие, чтобы моделируемый ветер был параллелен поверхности. Это требование реализуется с использованием техники вариационного исчисления.

Другой особенностью масс-консистентной подгонки является возможность предпочтения вертикальной или горизонтальной подгонки. Отношение вертикальной к горизонтальной подгонке (τ) формирует важный параметр, управляющий соответствующей подгонкой.

Например, $\tau = 1$; $\tau < 1$; $\tau > 1$ характеризуют нейтральное, стабильное и нестабильное состояние атмосферы соответственно.

Нейтральное атмосферное равновесие означает, что подгонка потока не дает предпочтений в вертикальном или горизонтальном направлении. Значение $\tau < 1$ означает, что в потоке преобладает горизонтальная составляющая, так что воздушный поток скорее обойдет вокруг препятствия, а не выше его. Аналогично, когда $\tau > 1$, подгонка осуществляется преимущественно в вертикальном направлении – поток обойдет препятствие скорее выше, чем вокруг него.

Опубликованы данные о результатах верификации модели NOABL на острове Оаху (Гавайи) [10]. На острове имеются две гряды с максимальной высотой над уровнем моря 1225 м. Сравнительный анализ показал посредственную корреляцию фактических и расчётных данных – в среднем порядка 0,5. Кроме того, для ряда пунктов имело место существенное расхождение между расчётными и фактическими данными, достигающее 67%. Такая погрешность моделирования скорости ветра приводит к недопустимо большой погрешности моделирования выработки электроэнергии ВЭС.

Результаты работы [8] показали, что в Крыму имеются территории, позволяющие построить ВЭС общей мощностью 400 МВт. Указанные территории расположены главным образом на северном и южном побережьях Керченского полуострова, а также на северо-восточном побережье Крыма [8]. В соответствии с этими данными вырабатывается стратегия развития [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используется аналитический метод для оценки информативности расположения метеостанций в Крыму и ветрового потенциала.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для проведения прогнозирования с высокой степенью точности необходимо, чтобы метеостанции располагались по всей территории, обеспечивая полноценный охват и сбор статистических данных.

Если оценивается потенциал ветра для территории с относительно однородными географическими условиями, то должен выполняться принцип неразрывности, то есть, изменения ветрового режима должны происходить без скачков, для близлежащих пунктов характеристики ветра должны отличаться незначительно. Исходя из данного положения, информативность размещения метеостанций на определённой территории предлагается определять распределением расстояний от каждого пункта территории до ближайшего источника информации. Для анализа информативности размещения метеостанций (МС) на территории Крыма предложены методы, описанные ниже.

1. Метод q -средних расстояний.

Этот метод состоит в отнесении каждого пункта территории Крыма к одному из классов в зависимости от среднего расстояния между данным пунктом и наперёд заданным количеством q ближайших к нему МС. Параметр данного метода q задаётся, исходя из требований к уровню информационной обеспеченности прогноза ВЭП на территории Крыма, и определяется количеством МС, являющимися узловыми при интерполяции соответствующих показателей.

Математическое описание данного метода заключается в следующем:

$$I_0 = \emptyset; \quad (2)$$

$$I_k = I_{k-1} \cup_i \operatorname{argmin}\{\rho_i(A), i \in \{1, \dots, n\} \setminus I_{k-1}\},$$

$$k = 1, \dots, q; \quad (3)$$

$$\bar{\rho}_q(A) = \frac{1}{q} \sum_{vi \in I_q} \rho_i(A), \quad (4)$$

где q – количество источников данных о характеристиках ветра;

I_q – множество, состоящее из q номеров МС, ближайших к пункту A ;

$\rho_i(A)$ – расстояние от пункта A до q -го источника данных;

$\bar{\rho}_q(A)$ – среднее расстояние от пункта A до q ближайших МС.

При $q=1$, исходя из вычисленного максимального расстояния от пункта территории Крыма до ближайшей МС, принято распределение всех пунктов по указанному признаку на восемь классов, представленных в таблице 2 (интервал включает левую и не включает правую границу).

Таблица 2. Классификация пунктов Крыма для оценки информативности покрытия МС

Table 2. Classification of Crimean points to assess the information content of weather stations coverage

| № класса | Расстояние до ближайшей МС, км |
|----------|--------------------------------|
| 1 | 0,0-6,1 |
| 2 | 6,1-12,2 |
| 3 | 12,2-18,3 |
| 4 | 18,3-24,5 |
| 5 | 24,4-30,6 |
| 6 | 30,6-36,7 |
| 7 | 36,7-42,8 |
| 8 | 42,8-48,9 |

На рис. 1 представлена карта информационного покрытия Крыма метеостанциями. Показаны как действующие, так и закрытые в настоящий момент, но для которых имеется информация о характеристиках ветра за долгосрочный период в прошлом.

Как пример, при ужесточении требований ($q=2$ и $q=3$) информационная обеспеченность Тарханкутского полуострова снижается и на западе, и на востоке из-за того, что одной МС «Черноморское» становится не достаточно, что видно по более светлому фону на карте (рис. 2). Аналогичный вывод можно сделать и для других территорий при прогнозе ВЭП. При этом к зоне с особо низкой информативностью относится территория в окрестности Донузлавского залива, что отрицательно сказалось бы на прогнозировании при расширении Донузлавской ВЭС. Также ужесточение требований является существенным для центральных территорий Крыма, вблизи Арабатской стрелки.

2. Метод диаграмм (ячеек) Вороного.

Для получения представления об информативности данных о ветре, получаемых от МС Крыма, построена соответствующая диаграмма Вороного (рис. 2).

Диаграмма Вороного состоит из ячеек Вороного, которые строятся для каждой МС региона, и

представляют собой множество пунктов, для которых данная МС является ближайшей.

Математическая модель при построении диаграммы Вороного выглядит следующим образом. Обозначим дополнительно:

R – множество пунктов территории региона;

$\rho_i(r)$ – расстояние между пунктом r и i -м источником данных, где $i=1, \dots, n$.

Диаграмма Вороного представляет собой разбиение множества R на подмножества $\{V_i\}_{i=1}^n$ (ячейки Вороного), обладающее следующими свойствами:

$$\bigcup_{i=1}^n V_i = R; \quad (5)$$

$$V_i \cap V_j = \emptyset, \forall i, j = 1, \dots, n; i \neq j; \quad (6)$$

$$V_i = \bigcup_{r \in R, i = \underset{j=1, \dots, n}{\operatorname{argmin}} \rho_j(r)} r. \quad (7)$$

Необходимое информационное покрытие определяется следующими характеристиками ячеек Вороного (ЯВ):

- все ЯВ имеют приблизительно одинаковые площади;
- ЯВ имеют «невтянутые» формы;
- МС располагаются вблизи центров своих ЯВ;
- каждая ЯВ занимает территорию с однородными ветрообразующими условиями.

Анализ ячеек Вороного, представленных на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы:

- Площади ячеек распределены более или менее равномерно, за исключением южного берега Крыма вблизи Ялты, где строительство ВЭС маловероятно из-за высокой стоимости земельных участков.

- Ряд ячеек Вороного имеет вытянутую форму (например, для МС «Раздольное», «Голубинка», «Керчь», «Владиславовка»), что повышает вероятность наличия неоднородности ветрового режима территории, занимаемой данной ЯВ.

- В некоторых ЯВ положение МС не «отцентрировано» – например, для МС «Черноморское», «Евпатория», «Мысовое», «Керчь». Это значит, что ветровой режим вдали от МС может существенно отличаться от ветрового режима, исследованного на площадке МС.

Недостаточная репрезентативность информационного покрытия данными долгосрочных наблюдений о ветре с точки зрения однородности ветрообразующих условий территории имеет место в следующих районах Крыма:

- на юго-востоке Керченского полуострова – для пунктов этого района ближайшими являются МС, расположенные на северо-востоке Керченского полуострова (МС «Керчь», МС «Опасное»);

- на юге Керченского полуострова – для этого района ближайшей является МС «Мысовое», расположенная на севере Керченского полуострова;

- на юго-западе Керченского полуострова – для этого района ближайшей является МС «Феодосия», расположенная на юго-востоке Крымского полуострова;
- в центре Крымского полуострова – ячейки Вороного тут иди имеют большие размеры, или

слишком вытянутую форму и «обслуживаются» МС, расположенными по краям этих ячеек (например, ячейки Вороного для МС «Симферополь», «Джанкой», «Голубинка», «Раздольное»).

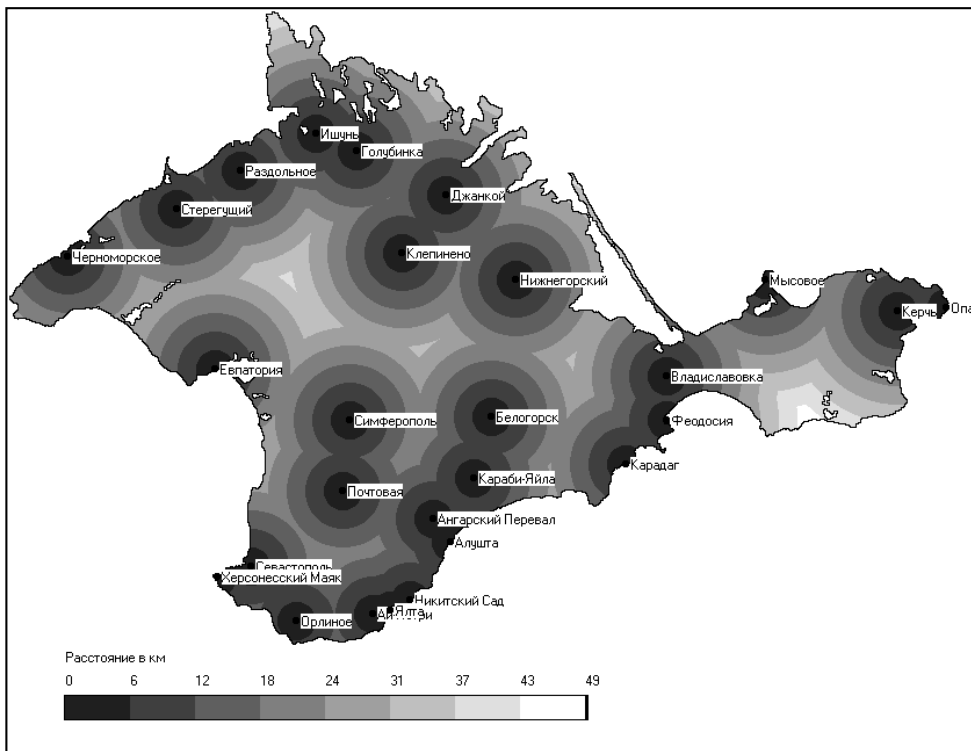


Рис. 1. Карта информационного покрытия Крыма источниками долгосрочной информации о ветре – метеостанциями ($q=1$)

Fig. 1. Map of information coverage of Crimea by sources of long-term information about wind – weather stations ($q=1$)

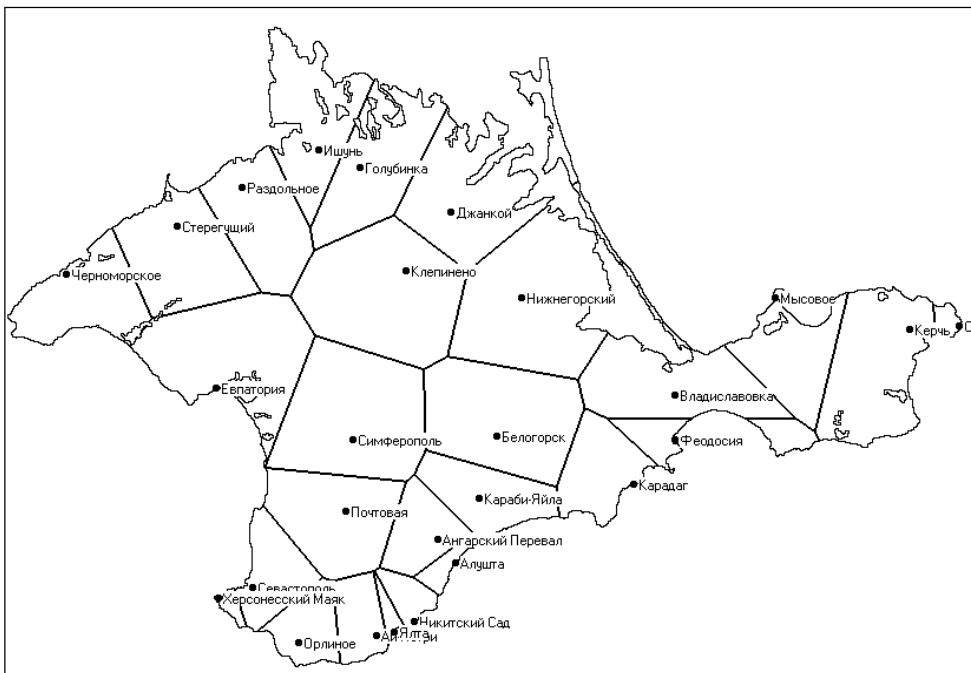


Рис. 2. Диаграмма Вороного для анализа информационного покрытия Крыма метеостанциями при прогнозировании ветрового потенциала

Fig. 2. Diagram of Voronoy for the analysis of the information coverage of the Crimea by weather stations when predicting the wind potential

На настоящий момент на Тарханкутском полуострове и в районе Донузлавского залива уже есть действующие ветроэлектростанции с метеопостами для измерения параметров ветра непосредственно на площадках. В данном случае речь не идет о МС для проведения всесторонних измерений в заданном пункте. Привлечение информации, зарегистрированной установленными в данной местности в разное время специализированными метеопостами и метеопостами действующих ВЭС решает проблему информационного покрытия запада Тарханкутского полуострова, а также района в окрестности Донузлавского залива (рис. 3 и рис. 4).

На рис. 3 представлена карта информационного покрытия для Крымского полуострова, построенная с учётом указанных выше дополнительных источников информации о ветре. Привлечение имеющихся дополнительных источников информации улучшает информационное покрытие Крыма. В то же время, на рис. 3 видно, какие территории всё ещё требуют дополнительных источников информации о ветре для повышения точности и надёжности прогноза ВЭП ВЭС на территории Крыма.

Рассмотрим более подробно адаптивную модель статистического прогнозирования, которая может быть использована в описываемом случае, когда метод ячеек Вороного не позволяет получить достоверную информацию для всей рассматриваемой территории. Такого рода модель описана, например, в работе [1]. Она использует различные прогнозы с определенными весовыми коэффициентами. Результирующая прогнозируемая

величина мощности определяется как адаптированная к конкретным условиям комбинация ряда динамических моделей, полученных с помощью статистических измерений в близлежащих пунктах. Адаптивная модель должна учитывать существенно нелинейную зависимость мощности ВЭС от скорости ветра, а также от других погодных факторов – направления ветра, плотности воздуха и др. При этом предполагается, что одновременно рассматривается несколько прогнозов по разным нелинейным статистическим моделям. Оценка параметров статистических моделей для близлежащих пунктов хорошо учитывает местные условия, а результирующий прогноз отражает адаптированную комбинацию различных моделей. Мощность ВЭС в момент времени $t + h$ предлагается определять, пользуясь соотношением

$$P_{t+h}^C = \sum_{k=1}^K (\varphi_{tk}^{(h)} \cdot \rho_{t+h}^{(k)}), \quad (8)$$

- где t – текущее время;
- h – время, на которое выполняется прогноз;
- K – общее количество прогнозов, рассчитанных по разным статистическим моделям;
- k – номер прогноза (модели);
- $\rho_{t+h}^{(k)}$ – мощность ВЭС в момент времени $t + h$ для k -го прогноза;
- $\varphi_{tk}^{(h)}$ – весовые коэффициенты k -го прогноза, зависящие от времени.

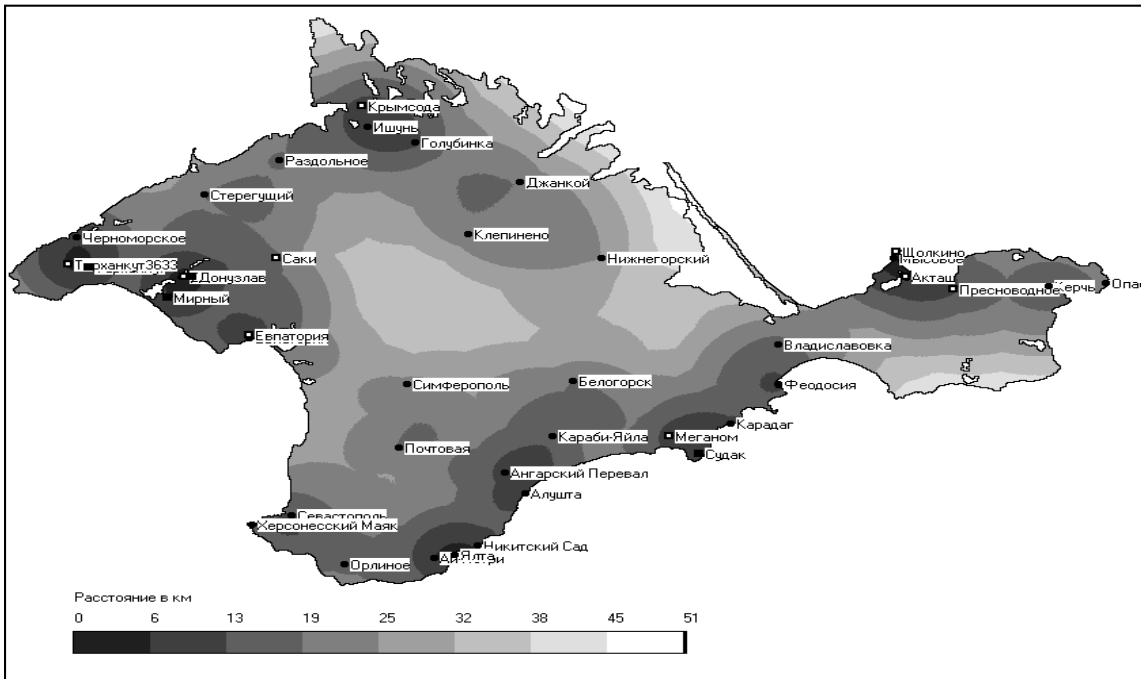


Рис. 3. Карта информационного покрытия Крыма источниками информации о ветре: метеостанциями, специализированными метеопостами и метеопостами действующих ВЭС ($q=3$)

Fig. 3. Map of information coverage of Crimea by sources of information about the wind: weather stations, specialized weather stations and weather stations of existing wind power stations ($q=3$)

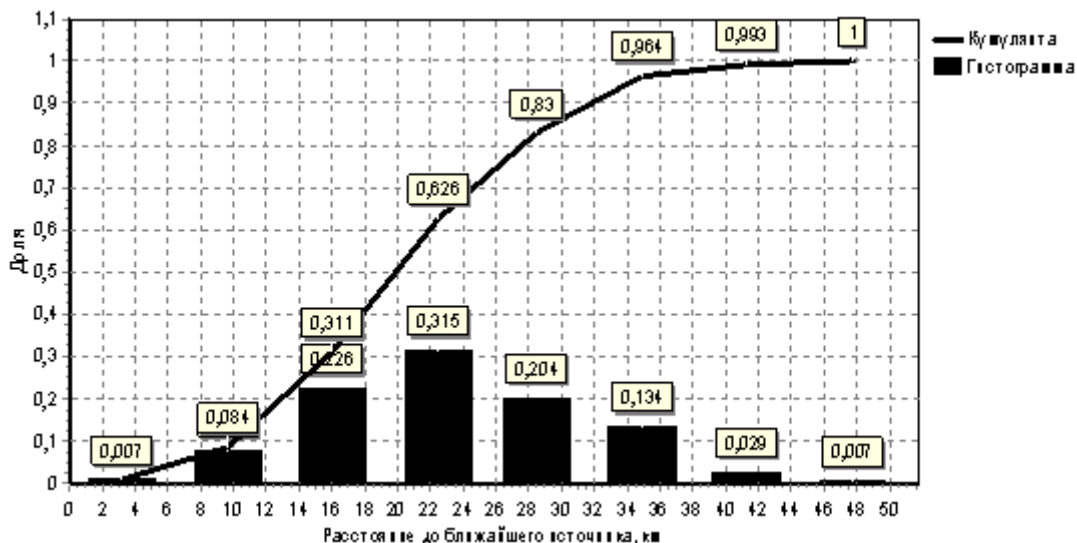


Рис. 4. Распределение расстояний между пунктами Крыма и ближайшими к ним источникам информации о ветре ($q=3$)
Fig. 4. Distribution of distances between the points of the Crimea and the closest sources of information about the wind to them ($q=3$)

Рассмотрим, как определяется мощность ВЭС для отдельно взятого прогноза. Формула будет включать несколько слагаемых, учитывающих влияние различных факторов

$$\rho_{t+h} = \alpha_{0,t} + P_t(k, c) + W_{t+h|t}(q) + D_{t+h|t} + e_{t+h|t}^{(M_m)} \quad (9)$$

где $\alpha_{0,t}$ – многопериодная авторегрессия, отражающая, что выполняется статистическое прогнозирование мощности как временного ряда;

$P_t(k, c) = \sum_{i=1}^k (\alpha_{i,t} \rho_{t+1-i} + \alpha_{k+1,t} \rho_{t+h-c})$ – авторегрессивная составляющая мощности ВЭС;
 c – константа, предназначенная для учета суточной цикличности;

$W_{t+h|t}(q) = \sum_{i=1}^q (\beta_{i,t} v_{t+h|t}^i)$ – составляющая, учитывающая прогноз скорости ветра;

$D_{t+h|t} = \gamma_{1,t} \sin\left(\frac{2\pi\varphi_{t+h|t}}{360}\right) + \gamma_{2,t} \cos\left(\frac{2\pi\varphi_{t+h|t}}{360}\right)$ – составляющая, учитывающая прогноз направления ветра;

v и φ – соответственно скорость (м/с) и направление ветра;

$e_{t+h|t}^{(M_m)}$ – прогнозируемая погрешность i -ой модели;

q и k – количество параметров регрессии.

Первое слагаемое $\alpha_{0,t}$ учитывает антропогенные факторы при ритмичной работе ВЭС. Остальные слагаемые дополнительно учитывают прогнозируемую скорость ветра с разным количеством параметров авторегрессии, а также аналогичным образом направление ветра.

Вышеприведенная модель может быть адаптирована под различные условия, что учитывается изменением весовых коэффициентов k -го прогноза. Целью ее использования является построение многовариантной регрессии как функции нескольких различных параметров, причем влияние каждого параметра может меняться в зависимости от выбранных критериев оценки. Для построения регрессий можно использовать простейший метод – метод наименьших квадратов. Определение же степени влияния каждого k -го прогноза может быть скорее интуитивным, но, тем не менее, значения весовых коэффициентов будут влиять на точность всего прогноза.

Если рассматривать более подробно влияние таких факторов, как скорость и направление ветра, на результат оценивания, то можно сделать вывод, что они оба оказывают существенное влияние. Направление ветра важно, когда в состав ВЭС входит ряд ветроустановок, которые могут полностью или частично затенять друг друга. На такое затенение влияет также рельеф местности. Соответственно, в случае затенения генерация электроэнергии будет уменьшаться. Аналогичная реакция произойдет и при уменьшении скорости ветра. Таким образом, скорость ветра может коррелировать с его направлением, что повышает точность прогноза.

Статистическое прогнозирование может выполняться как для скорости ветра, так и для направления. Например, на рис. 5 показан результат фиксации направлений ветра на площадке Мирновской ВЭС (а) и площадке Солнечная Долина (б) на западе и востоке Крыма за март месяц 2010 года.

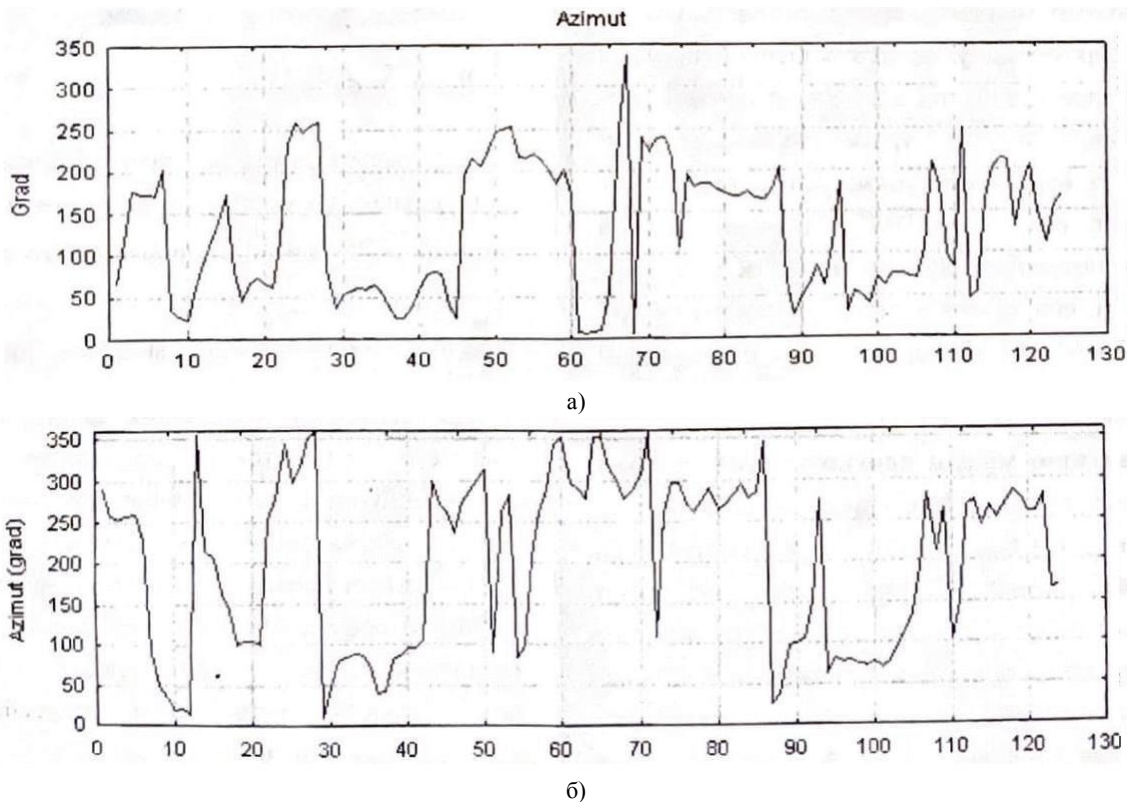


Рис. 5. Фиксация направлений ветра на площадке Мирновской ВЭС (а) и площадке Солнечная Долина (б)
Fig. 5. Fixation of wind directions at the site of the Mirnovskaya wind power stations (a) and the site of the Sunny Valley (b)

Наличие корреляции между направлением и скоростью ветра может быть установлено по формуле:

$$r^2 = \frac{(r_{vc} - r_{vs})^2}{1 - r_{cs}^2}, \quad (10)$$

где $r_{vc} = \text{corr}(v, \cos \theta)$;
 $r_{vs} = \text{corr}(v, \sin \theta)$;
 $r_{cs} = \text{corr}(v, \cos \theta, \sin \theta)$;
 θ – направление ветра.

Чем меньше значение корреляции по формуле (10), тем выше вероятность того, что при одинаковых скоростях ветра, но разных их направлениях, прогнозируемые мощности ВЭС будут одинаковыми.

ВЫВОДЫ

Таким образом, был проведен анализ существующих методов оценки ветроэнергетического потенциала. Они чаще всего основаны на сборе статистической информации в пунктах размещения метеостанций. В дальнейшем необходимо проводить пространственно-временную корреляцию, чтобы получить прогноз для других, рядом расположенных участков, так как из-за неровного рельефа местности параметры ветра будут меняться. Чем больше метеостанций на некоторой территории, тем выше информативность данных. Тем не менее, метеостанции чаще всего располагаются в городах и населенных пунктах, отдаленных друг от друга на различные расстояния.

Соответственно, для оценки информативности собранных статистических данных могут использоваться метод q-средних расстояний, метод ячеек Вороного. В статье эти методы применены для Республики Крым. Приведен анализ информативности размещения метеостанций, который показал, что для части территории Крыма необходимо использование адаптивных методов оценки ветроэнергетического потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ma Lei, Luan Shiyan, Jiang Chuanwen, Liu Hongling, Zhang Yan. A review on the forecasting of wind speed and generated power // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. 13. Issue 4. Pp. 915-920.
2. Lawrence R. Martin. Wind energy - the facts: a guide to the technology economics and future of wind power // *Journal of Cleaner Production*. 2010. 18 (10). Pp. 1122-1123.
3. Freitas Nicksson, Silva Marcelino, Sakamoto Meiry. Wind speed forecasting: a review // *International Journal of Engineering Science*. 2018. 8. 10.9790/9622-0801010409.
4. Кузнецов М.П. Методы прогнозирования выработки электроэнергии электростанциями // *Відновлювана енергетика*. 2010. №3(22). С. 41- 48.
5. Boone A. Simulation of short-term wind speed forecast errors using a multi-variate ARMA (1,1). Time-series Model // Master thesis at the Royal Institute of Technology in Stockholm. 2005. X-ETS / EES-0513.

6. Solder L. Simulation of wind speed forecast errors for operation planning of multiarea power systems // Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. September 2004. 10.1109/PMAPS.2004.243051.

7. Sanchez I. Short-term prediction of wind energy production // International Journal of Forecasting, Elsevier. 2006. Vol. 22(1). Pp. 43- 56.

8. План развития энергетики Республики Крым. Стратегия развития нетрадиционных источников энергии и создание основ для промышленного сотрудничества. Симферополь. TESIS. 1999. 166 с.

9. Sherman C.A. A Mass-Consistent Model for Wind Fields Over Complex Terrain // J.App.Meteor. 1978. Vol. 17. Pp. 312-319.

10. Rohatgi J.S., Nelson V. Wind characteristics . Canyon, Texas, USA: Alternative Energy Institute. 1994. 239 p.

11. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Крым 2019-2023 годы. – Москва: Научно-Технический центр единой энергетической системы, 2018. – 210 с.

REFERENCES

1. Ma Lei, Luan Shiyan, Jiang Chuanwen, Liu Hongling, Zhang Yan. A review on the forecasting of wind speed and generated power // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. 13. Issue 4, Pp. 915-920.

2. Lawrence R. Martin. Wind energy - the facts: a guide to the technology economics and future of wind power // Journal of Cleaner Production. 2010. 18 (10), Pp. 1122-1123.

3. Freitas Nicksson, Silva Marcelino, Sakamoto Meiry. Wind speed forecasting: a review // International Journal of Engineering Science. 2018. 8. 10.9790/9622-0801010409.

4. Kuznetsov M.P. Methods for forecasting electricity produced by power plants // Vidnovlyuvana energetika. 2010. No. 3 (22), Pp. 41-48. (In Ukrainian)

5. Boone A. Simulation of short-term wind speed forecast errors using a multi-variate ARMA (1,1). Time-series Model // Master thesis at the Royal Institute of Technology in Stockholm. 2005. X-ETS / EES-0513.

6. Solder L. Simulation of wind speed forecast errors for operation planning of multiarea power systems // Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. September 2004. 10.1109/PMAPS.2004.243051.

7. Sanchez I. Short-term prediction of wind energy production // International Journal of Forecasting, Elsevier. 2006. Vol. 22(1), Pp. 43-56.

8. Plan for the development of energy of the Republic of Crimea. The development strategy of non - traditional energy sources and the creation of foundations for industrial cooperation. Simferopol'. TESIS. 1999, 166 p. (In Russian)

9. Sherman C.A. A Mass-Consistent Model for Wind Fields Over Complex Terrain // J.App.Meteor. 1978. Vol. 17, Pp. 312-319.

10. Rohatgi J.S., Nelson V. Wind characteristics . Canyon, Texas, USA: Alternative Energy Institute. 1994, 239 p.

11. Scheme and program for the development of electric power industry of the Republic of Crimea 2019-2023. Moskva: Nauchno-Tekhnicheskii tsentr yedinoj energeticheskoy sistemy, 2018. – 210 p. (In Russian)

METHODS FOR ANALYZING THE INFORMATION CONTENT OF THE LOCATION OF WEATHER STATIONS TO ASSESS THE WIND POTENTIAL IN THE CRIMEA

Bekirov O.S., Voskresenskaya S.N., Bekirov E.A.

Institute of Physics and Technology,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky Avenue, 4, Bekirov.e.a@cfuv.ru

Abstract. The article provides an analysis of existing methods for predicting wind energy potential. At the same time, they can be based on statistical data obtained for a specific point where the weather station is located, or on the physical effects of climatic conditions at a given time. The existing methods for assessing the information content of the location of weather stations and the results obtained using the method of Voronoy's cells for the Republic of Crimea are considered. An analysis is given in which areas the information content is insufficient and the use of adaptive statistical predicting models is required.

Subject: Wind energy and assessment of wind potential on the territory of the Republic of Crimea.

Materials and methods: The theoretical basis is the works of domestic and foreign scientists in the field of wind energy. The work used analytical research methods, the method of Voronoy's cells.

Results: The information content of the location of weather stations on the territory of the Republic of Crimea from the point of view of assessing the wind energy potential is shown and analyzed.

Conclusions: The results of the work allow us to get an idea of how accurate the assessment of wind potential can be in certain areas of the Crimea due to the uneven location of weather stations, when it is necessary to use different predicting models, including adaptive ones, to obtain more accurate information.

Key words: Wind power station, weather station, predicting, Voronoy's cell, model, wind energy potential.

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Асташина¹ М.В., Жукова¹ М.А., Хусаинов¹ И.Р., Светлаков¹ Я.И.

Уфимский государственный нефтяной технический университет
450080, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.Менделеева, 195, ¹aqua_ufa@mail.ru

Аннотация. В современном мире наглядно видна тенденция акцентуализации экологических вопросов, а именно, рациональность использования природных ресурсов. В частности, тема очищения промышленных, бытовых сточных вод и, соответственно водоподготовка питьевой воды. На текущий момент во многих городах Российской Федерации существует проблема качества воды у конечного потребителя. Несмотря на то, что водоочистные сооружения поставляют питьевую воду в соответствии с ГОСТ Р 51232-98, существует вероятность ее загрязнения при контакте с изношенными участками трубопроводов. В результате конечному потребителю может потребоваться дополнительная очистка в бытовых условиях. Также существует тенденция распространения культуры здорового образа жизни среди населения, которая выводит потребление на разумный уровень, таким образом, среднестатистический потребитель задумывается не только о дополнительной очистке воды в бытовых условиях, но и насыщению ее необходимыми микро и макроэлементами.

Предмет исследования: бытовые фильтры очистки питьевой воды

Материалы и методы: конструктивные модификации бытовых фильтров с применением программного комплекса

Результаты: рассмотрены основные конструктивные особенности бытовых фильтров для очистки питьевой воды на основании которых создана модель отечественной установки бытового фильтра с программным комплексом для дозирования витаминно-минеральных компонентов, обеспечивающих поддержание здоровья организма человека.

Выводы: для решения вопроса дополнительной очистки воды в бытовых условиях, ее анализа и обогащения, рынок обладает возможностью предоставить большое количество различных систем. Однако подобные установки не всегда корректны в эксплуатации, есть проблема доступности реагентов. Если анализировать рынок витаминизаторов воды, можно столкнуться с отсутствием контроля над дозой расходуемых комплексов микроэлементов в системе соединения с очищенной водой, что является достаточно нерациональным, также необходимо учитывать окисляемость элементов при контакте с воздушной средой, которая прямо влияет на усвояемость витаминов. На данный момент рынок обладает большим количеством умных фильтров, однако их уникальность характеризуется наличием расходомеров, позволяющие контролировать срок эксплуатации фильтрующей загрузки или картриджей. Поэтому созданный прототип фильтра весьма актуален на рынке импортозамещающих технологий.

Ключевые слова: питьевая вода, фильтрация, витамины, здоровье человека, блок-дозации, индивидуальный фильтр, установка, 3D-модель.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция ухудшения экологической обстановки во всем мире напрямую сказывается на здоровье людей. Особое влияние на здоровье населения оказывают социально-экономический, санитарно-гигиенический и фактор образа жизни и внешней среды обитания. Здоровье человека является главным критерием качества окружающей его среды. В структуре общей заболеваемости населения все большее место занимают болезни, вызванные техногенным загрязнением окружающей среды, и эта тенденция в последнее время наблюдается не только в мегаполисах, но и в сельских районах.

Несмотря на то, что живой организм имеет способность к самоочищению и восстановлению, некоторые загрязняющие место обитания вещества не только накапливаются в клетках организма, но и могут оказывать влияние на репродуктивные функции и, как следствие, увеличивать проявления генетических отклонений у будущего поколения [1].

Таким образом, для исключения дополнительного риска для здоровья населению необходимо проводить дополнительную очистку воды в бытовых условиях. На текущий момент во многих городах Российской Федерации существует проблема качества воды у конечного потребителя.

Несмотря на то, что водоочистные сооружения поставляют питьевую воду в соответствии с ГОСТ Р 51232-98, существует вероятность ее загрязнения при контакте с изношенными участками трубопроводов. В результате конечному потребителю может потребоваться дополнительная очистка в бытовых условиях. Основная проблема будет заключаться в том, чтобы правильно подобрать эффективный прибор для очистки в домашних условиях [10-12].

Однако, некоторые бытовые фильтрационные системы не всегда рациональны и корректны в применении, отсутствует наглядность процесса и, соответственно, доверие к результату очистки. Возникает большая потребность в проведении быстрого и точного анализа во внелабораторных условиях, поскольку необходим постоянный контроль состава как питьевой воды, так и водоисточника [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения проблемы дефицита витаминов необходимо самостоятельно принимать микро и макроэлементы и следить за рационом питания. Сложность состоит в том, что у среднестатистического жителя города Уфы имеется

множество факторов, отвлекающих от заботы о своем здоровье. Ежедневное принятие витаминов требует высокого уровня самодисциплины и концентрации, что в стрессовых состояниях или случаях апатии и депрессивных периодов не всегда возможно. Чтобы оптимизировать процесс контроля за работой организма, предлагается прямая дозация витаминов в отфильтрованную бытовую установкой воду. Причем ввод микро и макроэлементов может быть и одноразовым, и многократным в течение дня на усмотрение пользователя [3].

Витаминизация чаще всего встречается в пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

В условиях производства существуют крупные установки дозации, однако для бытового использования подобные устройства нерациональны в использовании. Например, дозатор, продемонстрированный на рисунке 1, предназначен для введения птицам и животным с питьевой водой вакцин, витаминов и прочих препаратов. Так же подобного рода дозаторы могут использоваться для дезинфекции, очистки водных сетей, внесения удобрений, фитообработки, смазки, корректировки pH, мойки автомобилей и пр.

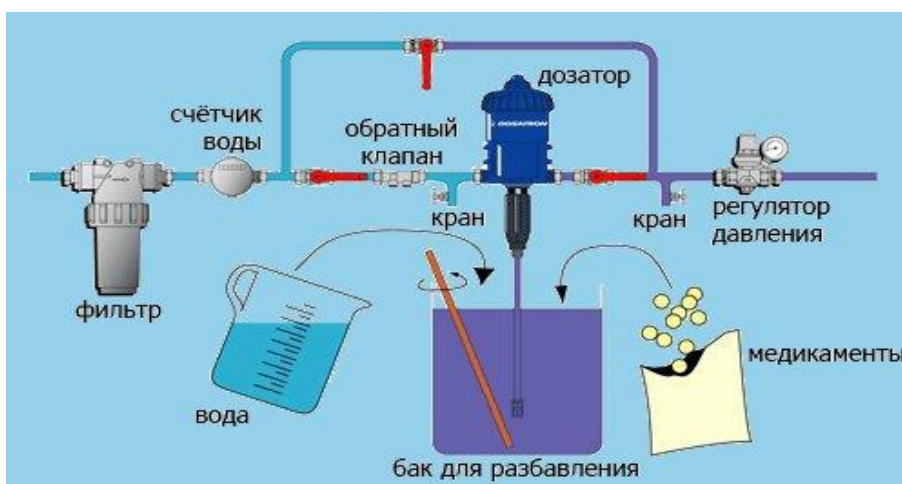


Рис. 1 – Установка «Дозатрон»
Fig.1 – Plant «Dozatron»

Дозатор обеспечивает пропорциональное непрерывное всасывание концентрированного продукта с помощью давления в системе, а затем перемешивает его с водой в заданном соотношении и направляет полученный раствор далее по сети. Дозатор автоматически регулирует пропорциональность в зависимости от изменения расхода воды [4,5].

Витаминизация в пищевой промышленности производится с помощью введения эмульсий в продукт питания. Чаще всего, этого добиваются с помощью соусов или заправок.

Существует также бытовая витаминизация воды для наружного использования. Насадка содержит картриджи для душевого шланга, который наполнен сухой загрузкой из витаминов (рис. 2). Минус такого устройства в том, что большинство витаминов не устойчивы на воздухе, легко окисляются и, следовательно, разрушаются, не успевая попасть в организм через верхний слой эпидермиса. Научное обоснование подобной технологии не найдено, предполагается, что подобного рода витаминизация необходима для подкисления воды, которое может нести положительный эффект для кожи в силу слабокислой реакции среды тела человека [6].



Рис.2 – Витаминизатор-насадка на душевой шланг
Fig.2 - Vitaminizer-nozzle on the shower hose

Также стоит отметить бытовые минерализаторы воды (рис.3), которые устанавливаются после фильтров обратного осмоса.



Рис.3 – Картридж минерализации воды
Fig.3 - Water salinity cartridge

Загрузкой такого картриджа является крошка кальцита или доломита. Минерал кальцит (CaCO_3) из группы карбонатов - одна из природных форм карбоната кальция. Доломит – минерал из класса карбонатов химического состава $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. С помощью добавления группы карбонатов можно изменять pH среды.

Существует большое количество датчиков и устройств, автоматизирующее процесс проведения лабораторных исследований и исключая влияние человеческого фактора на них. Особенно актуальны такие установки в медицинской промышленности.

Поэтому создание бытовой установки, которая доступна для среднестатистического жителя города, весьма актуальна, так как практически весь объем интеллектуальной собственности рассчитаны для использования в промышленных условиях, следовательно, имеет высокую цену и сложность использования [7,8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Индивидуальный фильтр питьевой воды – это установка, состоящая из двух основных секций. Первая – экспресс-анализатор, который представляет систему из поршневой дозации подобранных реагентов, сосуда для реакции, вывод прореагировавшего раствора и спектрометром со светодиодом. Вторая – фильтр из трех картриджей: из вспененного полипропилена 5 мкм, из гранулированного активированного угля, из вспененного полипропилена 10 мкм; и система поршневой дозации витаминного комплекса в отвод на смеситель для чистой воды (рис.4).

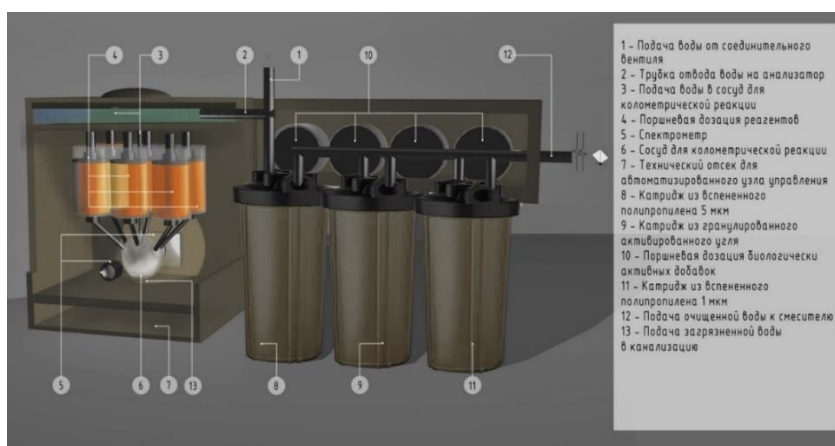


Рис.4 – Трехмерная модель установки
Fig.4 – 3D model

Установка автоматическая и связана с приложением для андроида. Таким образом, потребитель отслеживает дозацию, возможность отключения и включения функций, необходимость замены реагентов, фильтрующего материала, микро и макроэлементов для водообогащения, узлы системы, нуждающихся в замене. Доступен ежедневный контроль качества воды и рекомендации по ее употреблению в режиме онлайн. Это позволит предусмотреть нерациональное использование ресурсов [9].

Витаминация происходит с помощью поршневой дозатора без контакта с воздухом, таким образом, не происходит окисления

витаминого комплекса. В блоке витаминизатора, представленного на рисунке 5, вода через расходомер поступает в мембранный фильтр, после чего попадает в трубку подачи на смеситель. Дозация водорастворимых витаминов происходит за счет шагового мотора на червячной передаче. Чтобы отслеживать как дозацию с минимальной погрешностью, так и возможные повреждения распределительной сети, все узлы, продемонстрированные на слайде, подсоединены на миникомпьютер Raspberry PI. В силу высокой цены данного устройства предусматривается использование более дешевых аналогов.

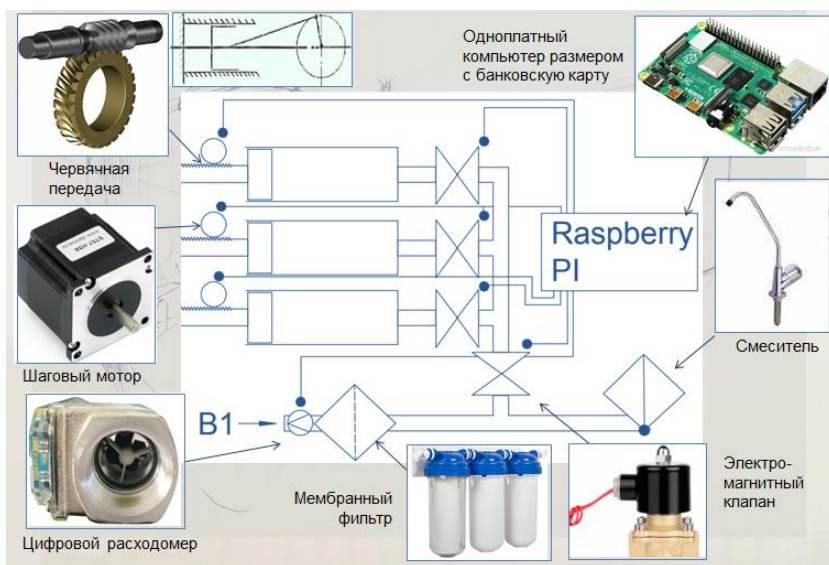


Рис.5 – Технологическая схема блока витаминизатора
Fig.5 - Technological model of the vitaminizer block

Блок экспресс-анализатора имеет схожую технологическую схему (рис.6). Исследуемая вода поступает в сосуд для реакции, заполняя весь объем, после чего на водоподающей трубке перекрывается клапан, а на водоотводящей трубке открывается. Реагент подается в сосуд для реакции, вытесняя излишек воды за счет создания давления поршнем, после чего клапан на водоотводящей трубке закрывается. Дозация реагентов, как и в фильтре-витаминизаторе, происходит за счет шагового

мотора на червячной передаче. После полного протекания реакции раствор подсвечивается белым светодиодом, напротив которого установлена камера. Полученное изображение автоматически обрабатывается на RPi для получения данных о цвете и прозрачности раствора. Далее клапан водоотводящей сети открывается, и вода в водоподающей трубке промывает сосуд для реакции [9].

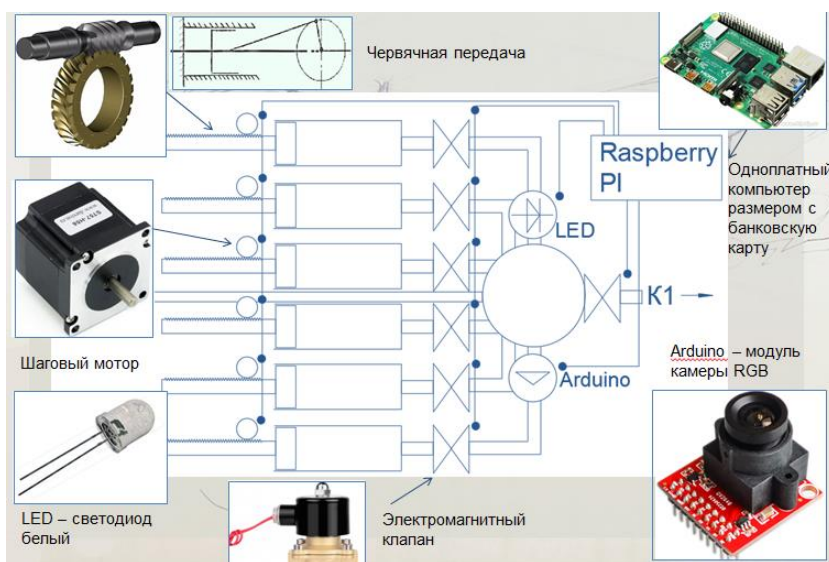


Рис.6 – Технологическая схема блока экспресс-анализатора
Fig.6 - Technological model of the express analyzer block

Также, как и в фильтре, все узлы автоматизации связаны с компьютером для отслеживания работы всего механизма.

На данный момент происходит сбор информации и поиск наилучшего варианта подключения установки к пользователю (рис.7)

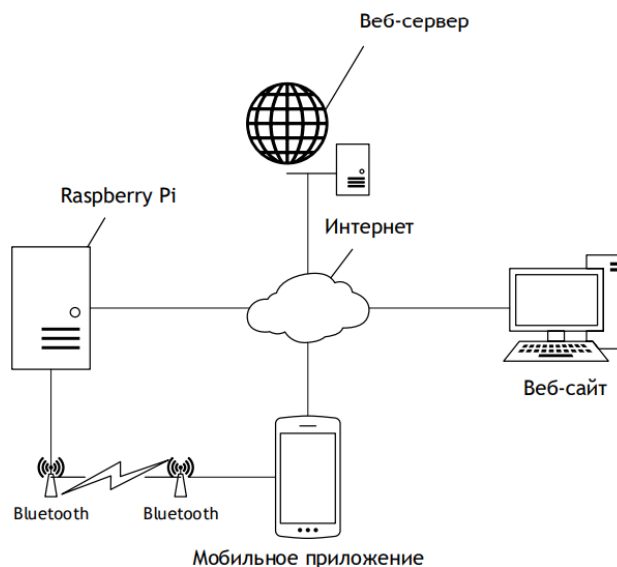


Рис.7 – Принципиальная схема передачи и анализа данных
Fig.7 - Schematic diagram of data transmission and analysis

Микрокомпьютер опрашивает датчики системы, получает изображение с камеры и управляет активными элементами системы. Микрокомпьютер (RPi) подключается к маршрутизатору пользователя по Ethernet или Wi-Fi и устанавливает связь с сервером, передает на него данные о состоянии системы и ожидает входящих команд. Сервер выполняет функции дополнительной обработки, хранения и визуализации данных с микрокомпьютеров пользователей [9].

Пользователь получает доступ к данным на сервере через интернет с помощью мобильного приложения или браузера. При потере связи соединения микрокомпьютера с интернетом пользователь может установить соединение по Bluetooth и через мобильное приложение осуществлять обмен данными с микрокомпьютером в ограниченном режиме. После восстановления соединения RPi с сервером происходит синхронизация накопившихся данных.

Ввод воды в экспресс-анализатор может производиться как от водопровода, так и вручную потребителем. Вывод воды производится путем подсоединения отводящего шланга к канализации. Изоляция соединений предусматривается созданием монолитных коммуникаций из пластика при помощи 3D принтера, как и корпус всей системы. Фильтр-витаминизатор также выполнен в монолитном виде из пластика, ввод воды осуществляется только при подключении к общему водопроводу жилого помещения, вывод очищенной воды принимается через дополнительный смеситель, устраиваемый в раковине кухонной зоны [9].

Масса конструкции составила 5 кг, габаритные размеры экспресс-анализатора: высота 347 мм, ширина 185 мм, длина 166 мм; размеры фильтра-витаминизатора: высота 318 мм, ширина 268 мм, длина 440 мм [9].

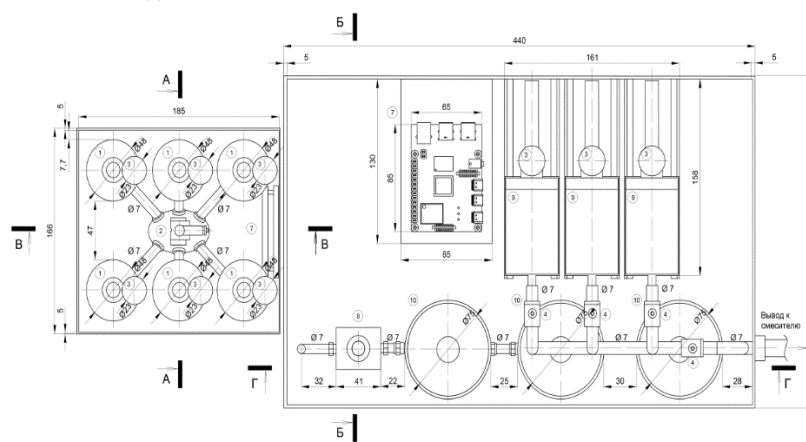


Рис.8 – Вид сверху
Fig.8 - View from above

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г., Давлетнуров Н.Х. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения техногенных территорий Республики Башкортостан // Медицина труда и экология человека. – 2018. – №3. – С. 5-12.
- 2 Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье население (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. – 2018. – №4. – С. 12-26.
- 3 Исмагилова Р.С., Курамшина Н.Г. Геоэкологическая оценка загрязнения поверхностных вод Республики Башкортостан // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2021. – vol. 5-2 (56). – С. 19-23.
- 4 Давлетнуров Н.Х., Степанов Е.Г., Жеребцов А.С., Туктарова И.О. Анализ состояния среды обитания человека и ее влияние на здоровье населения республики башкортостан // Медицина труда и экология человека. – 2018. – №4. – С. 27-35.
- 5 Рахимова А.А. Экологическая оценка качества пресных подземных вод на территории Республики Башкортостан // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2020. – vol. 10-1 (49). – С. 36-38.
- 6 Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Давлетнуров Н.Х., Степанов Е.Г., Туктарова И.О. Анализ заболеваемости и смертности населения республики башкортостан злокачественными новообразованиями // Медицина труда и экология человека. – 2019. – №2. – С. 14-23.
- 7 ГОСТ 4011-72 «Вода питьевая, методы измерения массовой концентрации общего железа».
- 8 Амелин В.Г. // Журн. аналит. химии. – 2000. – Т. 55, № 9. – С. 902.
- 9 Сяндюкова Д.Р., Асташина М.В. Индивидуальный фильтр питьевой воды, подстраиваемый под биометрические параметры человека // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: ст. и тез. X Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / УГНТУ. 2021. – С. 84-91.
- 10 ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая, методы определения содержания хлоридов».
- 11 ГОСТ 4388-72 «Вода питьевая, Методы определения массовой концентрации меди».
- 12 ГОСТ 4192-82 «Вода питьевая, методы определения минеральных азотсодержащих веществ».

REFERENCES

1. Bakirov A.B., Suleimanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R., Stepanov E.G., Davletnurov N.Kh. Ecological and hygienic assessment of the carcinogenic risk to the health of the population of technogenic territories of the Republic of Bashkortostan // Occupational Medicine and Human Ecology, 2018, No. 3 - Pp. 5-12
2. Baktybaeva Z.B., Suleimanov R.A., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. Assessment of the impact of the oil refining and petrochemical industry on the ecological and hygienic state of environmental objects and public health (literature review) // Occupational medicine and human ecology, 2018, No. 4 - Pp. 12-26.
3. Ismagilova R.S., Kuramshina N.G. Geoecological assessment of surface water pollution in the Republic of Bashkortostan // International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol. 5-2 (56), 2021 - Pp. 19-23.
4. Davletnurov N.Kh., Stepanov E.G., Zherebtsov A.S., Tuktarova I.O. Analysis of the state of the human environment and its impact on the health of the population of the Republic of Bashkortostan // Occupational Medicine and Human Ecology, 2018, No. 4 - Pp. 27-35.
5. Rakhimova A.A. Environmental assessment of the quality of fresh groundwater in the Republic of Bashkortostan // International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol. 10-1 (49), 2020 - Pp. 36-38.
6. Suleimanov R.A., Bakirov A.B., Valeev T.K., Davletnurov N.Kh., Stepanov E.G., Tuktarova I.O. Analysis of morbidity and mortality of the population of the republic of bashkortostan by malignant neoplasms // Occupational Medicine and Human Ecology, 2019, No. 2 - Pp. 14-23.
7. GOST 4011-72 "Drinking water, methods for measuring the mass concentration of total iron."
8. Amelin V.G. // Journal. analyte chemistry. 2000. V. 55, No. 9. S. 902.
9. Syundyukova D.R., Astashina M.V. Individual drinking water filter adjusted to human biometric parameters // Water supply, water disposal and environmental protection systems: art. and theses. X Intern. scientific-checkn. conf. students, graduate students and young scientists / UGNTU. - 2021 - Pp. 84-91.
10. GOST 4245-72 "Drinking water, methods for determining the content of chlorides."
11. GOST 4388-72 "Drinking water, Methods for determining the mass concentration of copper."
12. GOST 4192-82 "Drinking water, methods for determination of mineral nitrogen-containing substances".

IMPORT SUBSTITUTION TECHNOLOGIES FOR PURIFICATION AND MINERALIZATION OF DRINKING WATER

Astashina M.V., Zhukova M.A., Khusainov I.R., Svetlakov Ya.I.

Ufa State Petroleum Technological University (USPTU)
450080, Republic of Bashkortostan, Ufa, 195 Mendeleeva str, aqua_ufa@mail.ru

Abstract. In the modern world, there is a clear tendency to accentuate environmental issues, namely, the rational use of natural resources. In particular, the topic of purification of industrial, domestic wastewater and, accordingly, water treatment of drinking water. At the moment, in many cities of the Russian Federation there is a problem of water quality at the end consumer. Despite the fact that water treatment plants supply drinking water in accordance with GOST R 51232-98, there is a possibility of contamination from contact with worn sections of pipelines. As a result, the end user may require additional cleaning at home. There is also a tendency to spread a healthy lifestyle culture among the population, which brings consumption to a reasonable level, so the average consumer thinks not only about additional water purification at home, but also about saturating it with the necessary micro and macro elements.

Subject of study: household filters for drinking water purification

Materials and methods: constructive modifications of household filters using a software package.

Results: the main design features of household filters for drinking water purification are considered, on the basis of which a model of a domestic household filter installation with a software package for dosing vitamin and mineral components that maintain the health of the human body was created.

Conclusions: to solve the issue of additional water purification in domestic conditions, its analysis and enrichment, the market has the ability to provide a large number of different systems. However, such installations are not always correct in operation, there is a problem of the availability of reagents. If you analyze the market of water vitaminizers, you may encounter a lack of control over the dose of consumable microelement complexes in the system of connection with purified water, which is rather irrational, it is also necessary to take into account the oxidizability of elements in contact with the air, which directly affects the absorption of vitamins. At the moment, the market has a large number of smart filters, but their uniqueness is characterized by the presence of flow meters that allow you to control the life of the filter media or cartridges. Therefore, the created filter prototype is very relevant in the market of import-substituting technologies.

Key words: drinking water, filtration, vitamins, human health, block doses, individual filter, installation, 3D model.

СПИСОК АВТОРОВ

| | |
|--------------------|--|
| Алексеев В.Н. | к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Арифов А. М. | обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Асташина М.В. | к.т.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа |
| Балицкий Д.А., | аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) , г. Белгород |
| Бекиров О.С. | обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Бекиров Э.А. | д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Бунина Л.Н. | к.т.н., доцент, Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко, г. Мелитополь |
| Воскресенская С.Н. | к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Духанина У.Н. | м.н.с., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) , г. Белгород |
| Есина А.Ю | аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) , г. Белгород |
| Живица В.В. | старший преподаватель, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Жиленко О.Б. | к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Журавлев П. А. | к.т.н., доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва |
| Золотуха Е.В. | обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Кузнецова А.А. | обучающийся, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), г. Белгород |
| Марукян А.М. | к.т.н., доцент, Московский государственный строительный университет, г. Москва |
| Мовчан С.И. | к.т.н., доцент, Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко, г. Мелитополь |
| Неснов Д.В. | к.т.н., Самарский государственный технический университет, г. Самара |
| Николенко И.В. | д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Пажвак Абдурахман | Университет Тахар, инженерный факультет, г. Талокан, Афганистан |
| Светлаков Я.И. | обучающийся, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа |
| Степанцова В.В. | обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Строкова В.В | д.т.н., профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) , г. Белгород |
| Халилов А.Э. | обучающийся, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь |
| Хусаинов И.Р. | обучающийся, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа |
| Шаленный В.Т. | д.т.н., профессор, 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 в сканированном виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией 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.

Язык статьи: русский, английский.

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 B5 (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.