

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 14(66) – 2019

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

Учредитель:

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

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

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

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (**РИНЦ**)

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

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

Редакционная коллегия:

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., советник РААСН, д.арх., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела
«Градостроительство»

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

Пишулина 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»;

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 14(66) – 2019

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 3 от 15.04.2019)

Координатор выпуска *И.В. Николенко*
Редактор *Н.А. Степанцова*
Корректор *А.Н. Нестерова*
Верстка *Г.Р. Биленко*

Редакция Академии строительства и
архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 410,
e-mail: rio@narpks.ru

Подписан в печать 17.04.2019.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл. -печ. л. 19,0.

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

- Шейна С.Г., Петров К.С., Федоров А.А.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ ВИМ-ТЕХНОЛОГИЙ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ И РОССИИ 7
- Голикова А.А., Нагаева З.С.*
ПАССИВНЫЙ ДОМ (ЭКОДОМ) 15

Раздел 2. Строительство

- Чемодуров В.Т., Леоненко Ю., Попов А.*
УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА С ЖИДКОСТЬЮ, НАГРУЖЕННОГО ВНЕШНИМ ДАВЛЕНИЕМ 21
- Гусеница Я.Н., Загрудин Ю.А., Ржавитин В.Л.*
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНОГО ТИПА ОТ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ПРИ НАИМЕНЬШИХ ЗАТРАТАХ 29
- Леоненко К., Шаленный В.Т.*
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ КРЫМСКОГО РАКУШЕЧНИКА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ ТРУДА РАБОЧИХ-СТРОИТЕЛЕЙ 35
- Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Кульчицкий В.Е., Эреджепов Э.Э.*
ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ГРУНТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КРЫМУ 45
- Панченко В.А., Чирский С.П.*
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА 57
- Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В., Кобзев В.А.*
ЭВОЛЮЦИЯ БЕСЦЕМЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВЯЖУЩИХ РАЗЛИЧНОЙ ТОПОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ 73

Раздел 3. Инженерное обеспечение

- Романова Т. Н.*
ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ 85
- Амерханов Р.А., Бекиров Э.А., Асанов М.М.*
МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ВЕТРО- И СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ 93
- Николенко И.В.*
АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ 101
- Сердюк А.И., Ялалова М., Солдатов С.*
РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫВОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА 113

Штонда Ю.И., Громова А. О., Дроздова А. С. АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЭУ USW 56-100 С НОВЫМИ И ШТАТНЫМИ ЛОПАСТЯМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ В СОСТАВЕ МИРНОВСКОЙ ВЭС	121
Даниленко А.И., Воскресенская С.Н., Бекиров Э.А., Алькаата А. ПОСТРОЕНИЕ КРУГОВОЙ ДИАГРАММЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК	127
Погребицкая А.М., Черкас М.В. РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ	135
Тимин В.С., Ангелюк И.П. ЛОКАЛЬНО-ЗОННОЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОТОПЛЕНИЕ ПЛЕНОЧНО ЛУЧИСТЫМИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ	139
Раздел 4. Экологическая безопасность	
Притужалова О.А., Радченко К.С. ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ	145
Рыкова В.В. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ ЗАРУБЕЖНЫХ И РОССИЙСКИХ БАЗ ДАННЫХ	155
Можейко М.В., Слепнев П.А. СТАТУС И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (ЛЭМ) ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	165
Список авторов	173
Руководство для авторов	175

CONTENT

Section 1. Town planning

<i>Sheina S.G., Petrov K.S., Fedorov A.A.</i> STUDY OF THE STAGES OF DEVELOPMENT OF BIM-TECHNOLOGIES IN WORLD PRACTICE AND RUSSIA	7
<i>Golikova A.A., Nagaeva Z.S.</i> PASSIVE HOUSE (ECO HOUSE)	15

Section 2. Construction

<i>Chemodurov V.T., Leonenko Yu., Popov A</i> STABILITY OF CYLINDRICAL TANK WITH LIQUID LOADED BY EXTERNAL PRESSURE	21
<i>Gusenitsa Ya.N. , Zagrudinov Yu.A., Rzhavitin V.L.</i> DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF ADDITIONAL PROTECTION OF OBJECTS OF LINEAR TYPE FROM A SHOCK AIRWAVE AT THE LITEST COSTS	29
<i>Leonenko K., Shalenny V.T.</i> DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY DEVICES FOR COMBINED AND MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE COVERINGS FROM THE CRIMEAN PEASETS ON THE BASIS OF ESTIMATION OF THE WORK LIFE OF WORKERS-BUILDERS	35
<i>Pustovitenko B.G., Kalinyuk I.V., Kulchitsky V.E., Eredzhepov E.E.</i> PECULIARITIES OF THE GENERATION OF ACCELEROGRAMS OF STRONG SEISMIC MOVEMENTS OF THE SOIL FOR ENGINEERING CALCULATIONS OF DESIGNED CONSTRUCTION OBJECTS IN THE CRIMEA	45
<i>Panchenko V.A., Chirsky S.P.</i> DEVELOPMENT AND RESEARCH OF SOLAR THERMAL-PHOTO-ELECTRIC MODULES IN THE SYSTEMS OF AUTOMATED DESIGN AND FINAL-ELEMENT ANALYSIS	57
<i>Sivalneva M.N., Nelyubova V.V., Kobzev V.A.</i> EVOLUTION OF CEMENTLESS NANOSTRUCTURED BINDENING DIFFERENT TOPOGENETIC ACCESSORIES	73

Section 3. Engineering Support

<i>Romanova T.N.</i> PROTECTION OF PIPELINES AGAINST CORROSION DURING RECONSTRUCTION OF A GAS DISTRIBUTION SYSTEM	85
<i>Amerkhanov R.A., Bekirov E.A., Asanov M.M.</i> OPTIMIZATION METHODS OF WORK OF HEAT AND ELECTRIC POWER PLANTS UNDER JOINT GENERATION WITH WIND AND SOLAR POWER PLANTS	93
<i>Nikolenko I.V.</i> ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF FREQUENCY REGULATION ON THE RELATIVE PARAMETERS OF POWER PLANT PUMP STATIONS AND WATER SUPPLY NETWORK SYSTEMS	101
<i>Serdyuk AI, Yalalova M, Soldatov S.</i> DEVELOPMENT OF WAYS TO PURIFY WASHING WATER OF GALVANIC PRODUCTION FROM LEAD COMPOUNDS	113

<i>Shtona Yu.I., Gromova A.O., Drozdova A.S.</i> ANALYSIS OF ENERGY CHARACTERISTICS OF WINDOWS USW 56-100 WITH NEW AND STAFF BLADES ON TEST RESULTS IN COMPOSITION OF THE MIRNOVSKY WEC	121
<i>Danilenko A.I., Voskresenskaya S.N., Bekirov E.A., Alkaata A.</i> CONSTRUCTION OF THE CIRCULAR DIAGRAM OF THE ASYNCHRONOUS GENERATOR OF WIND-ELECTRICAL INSTALLATION TO DETERMINE THE PERFORMANCE OF CHARACTERISTICS	127
<i>Pogrebitskaya A.M., Cherkas M.V.</i> SOLUTION OF ENGINEERING TASKS WITH HELP VARIOUS SOFTWARE PACKAGES	135
<i>Timin V.S., Angelyuk I.P.</i> LOCAL-ZONE LOW-TEMPERATURE HEATING WITH FILM-RAY ELECTRIC HEATERS	139
<i>Раздел 4. Environmental safety</i>	
<i>Prituzhalova O.A., Radchenko K.S.</i> PROBLEMS OF CARRYING OUT INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL CONTROL IN CONSTRUCTION ORGANIZATIONS	145
<i>Rykov V.V.</i> GEOTECHNICAL MONITORING: ANALYSIS OF INFORMATION MASSIVES OF FOREIGN AND RUSSIAN DATABASES	155
<i>Mozheiko M.V., Slepnev P.A.</i> STATUS AND METHODS OF LOCAL ENVIRONMENTAL MONITORING (LEM) OF URBAN PLANNING OBJECTS IN THE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION	165
<i>List of authors</i>	173
<i>Authors Guide</i>	175

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ И РОССИИ

Шейна С.Г., Петров К.С., Федоров А.А.

Донской государственный технический университет,
Адрес: Площадь Гагарина 1, Ростов-на-Дону, 344000, Россия
e-mail¹: rgsu-gsh@mail.ru
e-mail²: pks81@bk.ru,
e-mail³: anton_fedorov@outlook.com

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования и анализа развития BIM в мировой практике от зарождения концепций САМ и САД в 1960-х годах, их переплетения, появления непосредственно концепции BIM в 1970-х годах и до наших дней. На основе полученной информации была доказана эффективность и необходимость внедрения данной технологии в строительную отрасль. На фоне анализа мирового опыта была рассмотрена проблема внедрения BIM в строительную отрасль РФ.

Ключевые слова: bim, информационное моделирование, история, этапы развития.

ВВЕДЕНИЕ

Незначительные ошибки на чертежах, которые возникают на этапе проектирования могут сильно повлиять на конечные сроки строительства, а также вызвать удорожание проекта. Одной из причин подобных ошибок является недостаточная осведомленность одного специалиста о работе другого, работающего над смежным разделом. За последние 20 лет количество таких ошибок уменьшилось в несколько раз в связи с появлением новых технологий, упрощающих проектирование крупных и сложных объектов. Прежде всего это связано с развитием компьютерных технологий, а именно систем автоматизации проектирования. Одной из таких систем является BIM. Информационное моделирование зданий (BIM) – это процесс, включающий создание и управление цифровым представлением физических и функциональных характеристик объектов [1]. Информационные модели зданий (BIM) – это файлы (часто, но не всегда в проприетарных форматах, содержащие проприетарные данные), которыми можно обмениваться или объединять в единую сеть для принятия совместных решений. Концепция BIM существует с 1970-х годов. Термин “модель здания” (в том смысле, в котором он используется сегодня), впервые использовался в статье Роберта Айша о работе с программным обеспечением в ходе реконструкции лондонского аэропорта Хитроу. Термин “Информационная модель здания” впервые появился в статье Г.А. ван Недервина и Ф.П. Толмана. В настоящее время BIM используется повсеместно, особенно заметно проявляются сильные стороны этой технологии в скандинавских странах, Великобритании и США.

Во всем мире создаются стандарты BIM. Россия находится на этапе внедрения BIM-технологий в строительную сферу. Многие компании начинают использовать BIM при проектировании. Министерство строительства внедряет использование BIM в законодательную сферу. В данной статье проводится обзор развития BIM-технологий в мире и России, а также анализ возможностей BIM в России.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Перемены, произошедшие в конце 20 - начале 21 века, связанные с ускорением развития информационных технологий, ознаменовали появление принципиально нового подхода к архитектурному проектированию, заключающегося в создании компьютерной модели здания, которая несет в себе всю информацию о будущем объекте. В современных условиях стало совершенно невозможно эффективно обходиться все тем же инструментарием в связи с неуклонно растущим потоком информации, предшествующим и сопровождающим проектирование. Кроме того, и сам результат проектирования полон информации, которую необходимо хранить в удобной для использования форме. Поток такой информации не прекращается и после того, как здание спроектировано, построено, и введено в эксплуатацию. Такой информационный “вызов” современного мира потребовал серьезного отклика. За этим последовало появление концепции информационного моделирования зданий. После весьма широкого и успешного внедрения и практического применения данная концепция

очень быстро “перешагнула” установленные для нее рамки, и стала чем-то большим, чем просто новый подход в проектировании. Сейчас это принципиально иной подход к строительству, оснащению, техническому обслуживанию и ремонту зданий, управлению жизненным циклом объекта, включая его экономическую составляющую. Эти изменения касаются зданий и сооружений в целом. Наконец, это новый взгляд на мир и переосмысление способов воздействия человека на мир.

Цель и постановка задач исследований

Цель исследования – провести обзор развития BIM-технологий и возможности их внедрения в России.

Задачи исследования:

- Проанализировать историю развития BIM-технологий в мире;
- Исследовать предпосылки и возможности внедрения BIM в России;

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Building Information Modeling (BIM) - это термин, который стал вездесущим в области проектирования и строительства за последние 20 лет, но откуда он взялся? История этого термина богата и сложна, будучи связанной с игроками из Соединенных Штатов, Западной Европы и Советского блока, которые конкурировали за создание идеального архитектурного программного решения, которое позволило бы покончить с работой в двумерном пространстве.

Чтобы проследить историю систем BIM, мы должны вернуться в прошлое, к ранним временам развития вычислительной техники и проработать концептуальные основы. Автоматизированное проектирование и автоматизированное производство развивались как две отдельные технологии примерно в 60-х годах прошлого столетия. В то время никто не предполагал, что САМ и САД в конечном итоге переплетутся и станут мощной силой в промышленном мире[2].

В 1957 году доктором Патриком Дж. Хенретти было разработано Pronto - первое коммерческое программное обеспечение автоматизированного производства (САМ). Это была технология обработки с числовым программным управлением, которая позже превратилась в технологию автоматизированного производства.

Вскоре после этого доктор Патрик Дж. Хенретти занялся компьютерной графикой и в 1961 разработал DAC (Design Automated by Computer), что стало первой системой САМ/САД, которая использовала интерактивную графику и использовалась для сложных пресс-форм General Motors. После нескольких неудач, которые были в

основном вызваны непопулярным языком программирования.

В 1962 году Дуглас Энгельбарт написал статью под названием "Расширение человеческого интеллекта". В ней он выдвинул идею архитектора будущего, предложил объектно-ориентированное проектирование, параметрическую манипуляцию и реляционную базу данных:

“Затем архитектор начинает вводить ряд спецификаций и данных: шестидюймовый пол, двенадцать дюймовые бетонные стены высотой восемь футов и т. д. Когда он закончит, на экране появится пересмотренная сцена. Формируется структура. Он рассматривает это, настраивает это ... Эти списки перерастают в более подробную, взаимосвязанную структуру, которая представляет собой зрелую мысль за фактическим проектированием.” [3]

В это же время несколько исследователей работали над технологией, эквивалентной географическим информационным системам (ГИС). Среди этих исследователей был примечательен Кристофер Александр, поскольку его работа побудила группу компьютерных специалистов начать работу над объектно-ориентированным программированием. Однако в то время концептуальная основа не могла быть реализована без графического интерфейса.

В 1963 году Иван Сазерленд разработал в MIT Lincoln Labs первую систему автоматизированного проектирования (САД) с графическим пользовательским интерфейсом “Sketchpad”. В целом, он стал первопроходцем в области взаимодействия человека и компьютера и совершил большой прорыв в компьютерной графике[4]. С точки зрения технологии строительства, Sketchpad уступил место программам твердотельного моделирования — дальнейшему развитию вычислительной геометрии, которая позволила отображать и записывать информацию о форме. В 70-е и 80-е годы двумя основными методами были конструктивная геометрия твердого тела (CSG) и граничное представление (brep) [5].

В 1975 году Чарльз Истмен опубликовал документ [6], описывающий прототип под названием Building Description System (BDS) [7]. В нем обсуждались идеи параметрического проектирования, высококачественных вычислимых трехмерных представлений с “единой интегрированной базой данных для визуального и количественного анализа”. Документ Истмена в своей основе описал BIM в том виде, в котором мы его знаем сейчас. Истмен разработал программу, которая предоставила пользователю доступ к сортируемой базе данных: информация может быть получена категорически по атрибутам (включая материал и поставщика); он так же использовал графический пользовательский интерфейс, ортографические и перспективные виды. BDS был одним из первых проектов в истории BIM с помощью которого можно было успешно создать

базу данных на здание. Истмен пришел к выводу, что BDS улучшит эффективность разработки и анализа и снизит стоимость проектирования более чем на пятьдесят процентов. BDS был экспериментом, который выявил фундаментальные проблемы архитектурного проектирования в

течение последующих пяти десятилетий. В 1977 году в лаборатории CMU Чарльз Истмен создал GLIDE (графический язык для интерактивного проектирования) и продемонстрировал большую часть характеристик современной платформы BIM.

```
POLY PROCEDURE spiral.step(POLY centre;
    REAL riser,radius,r,angle,th)=
    BEGIN
    POLY support =
        triangle(radius*0.95,-riser*0.8,th);
    POLY collar = column(12,riser,r);
    POLY plate = wedge(radius,th,angle);
    ! return the result of shape operations;
    CUT centre FROM COMBINE collar WITH
        COMBINE support WITH plate
    END;

To make spiral staircase, (dimensions in inches)
SET PROCEDURE spiral.stair(ht,radius,angle)=
    BSET; INTEGER numsteps; REAL riser;
    numsteps = ht/8.0;
    riser = ht/numsteps;
    POLY centre = column(12,ht*32.0,5.0);
    POLY step = spiral.step(centre,
        riser,radius,3.0,angle,0.625);
    FOR i TO numsteps
        DO COPY step=i0,riser:i \0,angle:i1
    ESET;

SET stair1 = spiral.stair(100.0,46.0,30.0);
```

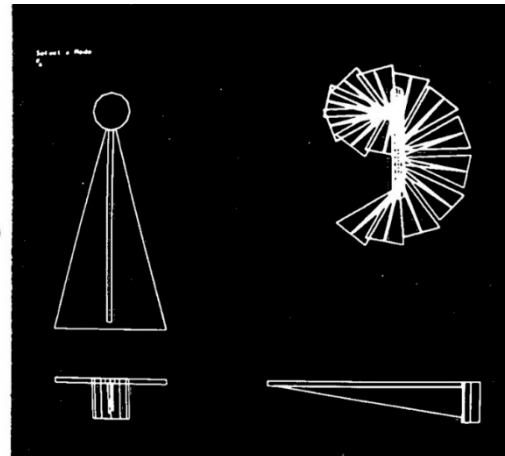


Рис. 1. GLIDE Чарльза Истмена

Fig. 1. Charles Eastman's GLIDE

Затем, в 80-е годы началось развитие нескольких систем по всему миру. Они завоевали популярность в отрасли, а некоторые из них даже были применены к строительным объектам. Это было в 1986 году, когда RUCAPS (Really Universal Computer-Aided Production System) использовалась для ремонта Терминала 3 аэропорта Хитроу. Эта система рассматривается как предшественник современного программного обеспечения BIM [8].

чтобы заняться разработкой программного обеспечения, которое, в будущем, изменит ход истории развития концепции BIM и рынка BIM и приведет их к тому виду, который мы знаем сегодня. В 1982 году Габор Бояр начал разработку ArchiCAD, для этого ему пришлось заложить ювелирные украшения своей жены, а затем контрабандно провезти компьютеры Apple. В 1984 году Бояр выпустил Radar CH от Graphisoft для ОС Apple Lisa. Позже, в 1987, эта программа была перевыпущена под названием ArchiCAD, став первым ПО BIM, доступным на персональном компьютере.

В то время как в США и Англии события происходили стремительно, в коммунистической Венгрии, один гений вычислительной техники и программирования контрабандой провозил через железный занавес компьютеры Apple [9] для того,

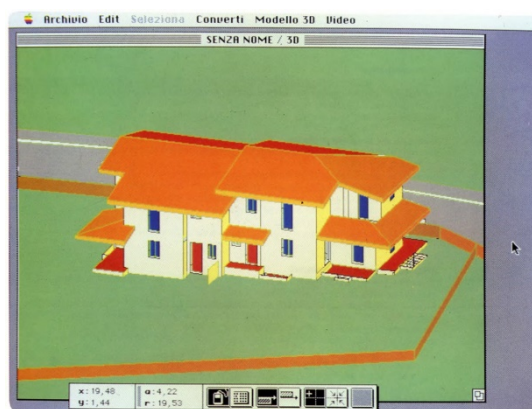


Рис. 2. Скриншот из Radar CH (позже ArchiCAD)

Fig. 2. Screenshot from Radar CH (later ArchiCAD)

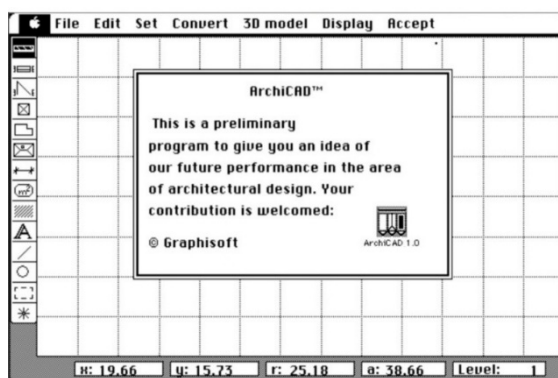


Рис. 3. Скриншот из ArchiCAD 1.0

Fig. 3. Screenshot from ArchiCAD 1.0

Возвратимся в 1985 год, в США, когда Diehl Graphsoft разрабатывала Vectorworks [10], одну из первых программ для трехмерного моделирования и первое кросс-платформенное приложение САПР. Программа Vectorworks была одной из первых, представлявших возможности BIM. В то же время (1985 год), была основана компания Parametric Technology Corporation (PTC), а в 1988 году она выпустила программу Pro / ENGINEER, которая считается первым истории программным обеспечением для параметрического моделирования. Ирвин Джунгрейс и Леонид Райз, отделившись от PTC, основали свою собственную компанию по разработке программного обеспечения Charles River Software. Этот дуэт хотел разработать архитектурную версию Pro / ENGINEER, которая могла бы обрабатывать более сложные проекты, чем ArchiCAD. К 2000 году у них была программа под названием Revit (составное слово, означающее изменение и скорость). Revit произвел революцию в BIM с помощью механизма параметрического изменения, который стал возможен благодаря объектно-ориентированному проектированию, а так же благодаря созданию платформы, которая позволила добавить атрибут времени.

Некоторые важные моменты, которые следует отметить в истории разработки BIM – это разработка Building Design Advisor в Национальной лаборатории Беркли в 1993 году [11]. Это было программное обеспечение, которое выполняло моделирование и предлагало решения на основе модели. В Австралии к 1994 году была создана Mapsoft, разрабатывавшая программное обеспечение САПР по доступным ценам. Это проложило путь для miniCAD [12], первого программного обеспечения САПР для работы на карманном компьютере HP100LX на базе DOS.

Современная архитектура, техника и методы строительства продвигаются к тенденции сотрудничества. В последнем десятилетии архитектурные данные объединяются с инженерными системами. Эта культура сотрудничества влияет на отрасль – постепенно тендерные контракты переходят на интегрированную систему выполнения проекта, где

каждый работает на взаимно доступном наборе моделей BIM.

В 1995 году был разработан International Foundation Class (IFC)[13], который позволил переносить данные между платформами. В 1997 году ArchiCAD выпустила первое решение для совместной работы на основе обмена файлами [14]. Это произвело революцию в коллективном сотрудничестве и позволило большему числу архитекторов работать над моделью здания одновременно. Обновления в Teamwork позже позволили удаленный доступ к тому же проекту через Интернет и позволили вывести сотрудничество и координацию проекта на новый уровень. В 1999 году в Японии компания Onuma разрешила виртуальным командам работать в BIM через Интернет и создала систему планирования BIM, основанную на базе данных, которая подготовила почву для будущей бесшовной кросс-платформенной интеграции программного обеспечения BIM и параметрических технологий. В 2001 году NavisWorks разработала и продала JetStream, программное обеспечение для просмотра 3D-моделей, которое предлагало набор инструментов для навигации, совместной работы и координации 3D-CAD. JetStream в основном координировал данные в различных форматах файлов и позволял моделировать конструкции и обнаруживать проблемы. Когда было выпущено обновление Revit - Revit 6, в 2004 году, это создало основу для совместной работы больших групп архитекторов и инженеров в одном едином программном обеспечении.

Поскольку компания Autodesk участвовала в гонке BIM, она приобрела Revit в 2002 году и NavisWorks в 2007 году. В конце 2012 года Autodesk разработала Formit. Formit - это приложение, которое позволяет использовать концепцию модели BIM на мобильном устройстве.

Есть еще несколько BIM-игроков, о которых стоит упомянуть здесь. Несмотря на небольшие доли на рынке, они оказали огромное влияние на мир проектирования. В 2003 году Bentley Systems разработала Generative Components (GC) - платформу BIM, ориентированную на параметрическую гибкость и геометрию

скульптуры, которая поддерживает NURBS (неоднородные рациональные B-сплайновые) поверхности. В 2006 году Gehry Technologies выпустила Digital Project, похожую на GC. И Digital Project, и GC произвели революцию в архитектурных проектах. Эти две платформы являются революционными в некотором смысле, поскольку они могут создавать особенно сложные и дерзкие архитектурные формы, прокладывая путь для параметризма. Патрик Шумахер придумал «параметризм» и движение строительных параметрических архитектурных сооружений в 2008 году. Он указал в Манифесте параметризма на важность овладения современными платформами BIM (DP и GC) в конкуренции на современной архитектурной сцене.

Из-за всех параметрических представлений существует разрыв поколений, который создается из-за интеграции новых технологий. Например, проектировщик «начального уровня», который знает основные команды в программном обеспечении, может выполнить больше работы, чем опытный архитектор, который не знаком с программным интерфейсом и концепциями. Поскольку все это навыки и методы, которым возможно обучиться, архитектурные школы и даже компании-разработчики программного обеспечения проводят специальную подготовку людей для конкретного ПО. Быть "устаревшим" работником - миф, так как все эти новые технологические интеграции могут быть изучены.

В мировой практике есть примеры (Концертный зал Уолта Диснея в Лос Анджелес, небоскреб One Island East в Гонконге, олимпийские объекты в Пекине и др.) когда комплексное или частичное использование информационного моделирования зданий приводит к ускорению и упрощению проектирования, а так же к удешевлению строительства объектов, что является очевидными преимуществами BIM.

Опросы, проведенные американской компанией McGraw-Hill Construction в 2009 году показали, что почти половина организаций (около 49%) уже используют BIM. В докризисном 2007 году таких компаний было 28%. Все опрошенные в скором времени планировали значительно увеличить долю использования этой технологии. Подавляющее большинство респондентов напрямую связывает успех своего бизнеса с внедрением BIM технологий [15].

Эти результаты, с одной стороны, показывают, что BIM успешно освоен в США и Канаде. С другой стороны, специалисты этих стран считают что темпы роста могут быть намного выше. Похожее понимание вопроса и в Европе, во всех регионах которой последовательно предпринимаются усилия по дальнейшему внедрению BIM как со стороны государства, так и со стороны частных компаний и организаций.

Помимо Северной Америки и очень активных стран северо-западной Европы, активно используют BIM страны Ближнего Востока и Юго-

Восточной Азии. Например, Дубай требует BIM для строительства зданий более 40 этажей, для объектов или зданий, площадь которых превышает 25 000 м², а так же для всех правительственных проектов, таких как больницы, университеты и тому подобное.

В России массового внедрения BIM до сих пор не наблюдается. Если быть точным, то внедрение BIM осуществляется очень медленно и, по сути, носит локальный характер и не стимулируется правительством. Как часто бывает, при внедрении чего-то нового есть как положительные, так и отрицательные примеры. Поэтому периодически ходят различные слухи о бесполезности и "опасности" BIM, основанные, как правило, на невежестве, непонимании и собственной неспособности. Информационное моделирование зданий – новая технология. Количество экспертов не достаточно. Большинство пользователей в основном можно классифицировать как начинающих.

Первостепенной проблемой внедрения BIM в России является недостаточная заинтересованность строительных организаций. Основной причиной этого является неготовность предприятий к достаточно большим первоначальным затратам. Особенно это касается небольших компаний, которые не имеют свободных ресурсов.

Вторая проблема заключается в оформлении проектной и рабочей документации в соответствии с ГОСТ СПДС. Несмотря на то, что энтузиасты разрабатывают готовые шаблоны оформления, ориентированные на российские нормы, этого часто бывает недостаточно, особенно при разработке конструктивных разделов.

Для решения данной проблемы государством был предпринят ряд шагов:

– 29 декабря 2014 Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ был утвержден «План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства». [16]

– 12 апреля 2017 года утверждена «дорожная карта» по внедрению технологий информационного моделирования (BIM) на всех этапах «жизненного цикла» объекта капитального строительства. [17]

Разработка первых российских стандартов началась в 2015 году в ПК-5 Технического комитета 465. Работой руководит ОАО «НИЦ Строительство» [18]. На данный момент на основе стандартов международной организации ISO разработаны и утверждены 7 ГОСТ Р и 4 СП. При рассмотрении данных национальных стандартов было отмечено низкое качество переводов, искажение содержания стандартов по сравнению со стандартами ISO, отсутствие переводов некоторых международных стандартов, на основе которых разрабатывались ГОСТ Р. В свою очередь СП представляют собой в значительной части заимствование методических рекомендаций по

работе с программных обеспечением Autodesk Revit.

Сложившаяся ситуация привела к появлению 19 июля 2018 г. поручения президента РФ Путина В.В. председателю правительства РФ Медведеву Д.А.: «О модернизации строительной отрасли и повышении качества строительства путем внедрения технологии информационного моделирования», в рамках которого необходимо обеспечить принятие недостающих стандартов и провести «гармонизацию ранее принятых нормативно-технических документов с международным и российским законодательством»[19].

ВЫВОДЫ

Общая концепция BIM появилась более 40 лет назад в результате экспериментов ряда энтузиастов. В последствии она показала свой огромный потенциал в строительном секторе и превратилась в «философию», позволяющую избежать множества проблем при проектировании и строительстве. Во многих странах BIM-технологии уже внедрены и используются на достаточном уровне, а главное, наблюдается устойчивая положительная динамика: с каждым годом совершенствуется программное обеспечение, форматы файлов для перемещения данных между платформами, вводятся национальные стандарты BIM, производится государственное стимулирование внедрения BIM. Исследования показали, что несмотря на очевидную выгоду от использования данной концепции, в России на данный момент существует ряд проблем, замедляющих процесс повсеместного внедрения BIM. Решением данных проблем, если опираться на мировой опыт, может являться создание и модернизация уже существующих государственных программ по стимулированию использования BIM, а также создание и гармонизация уже принятых государственных стандартов и стратегий развития и использования BIM.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К.С. Петров, Ю.С. Швец, Б.Д. Корнилов, А.О. Шелкоплясов Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2018. - №4. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_20_Petrov.pdf_df135443df.pdf (дата обращения 12.12.2018)
2. The CAD/CAM Hall of Fame // American Machinist URL: <https://www.americanmachinist.com/cadcam-software/cadcam-hall-fame> (дата обращения: 12.12.2018).
3. AUGMENTING HUMAN INTELLECT: A Conceptual Framework // Stanford University URL: <https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/extra4/sloan/>

mousesite/EngelbartPapers/B5_F18_ConceptFrameworkrkInd.html (дата обращения: 12.12.2018).

4. Ivan E. Sutherland Sketchpad: A man-machine graphical communication system // University of Cambridge Computer Laboratory. - 2003. - Technical Report Number 574.
5. Awanis Romli, Habibollah Haron Solid Modeler Evaluation and Comparison: Perspective of Computer Science // Jurnal Teknologi. - 2007. - №47. - С. 15-26.
6. Charles M. Eastman The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design // AIA Journal. - 1975. - С. 46-50.
7. Charles M. Eastman An Outline of the Building Description System // Institute of Physical Planning Carnegie-Mellon University. - 1974. - Research Report No. 50.
8. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. - 978-0-470-54137-1 изд. - Hoboken: Wiley, 2008. - 624 с.
9. High hopes for hi-tech // BBC URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/2522537.stm> (дата обращения: 12.12.2018).
10. Company History // Vectorworks URL: <https://www.vectorworks.net/company/history> (дата обращения: 12.12.2018).
11. K. Papamichael, J. LaPorta, H. Chauvet, D. Collins, T. Trzcinski, J. Thorpe, S. Selkowitz The Building Design Advisor // ACADIA 1996 Conference. - Tucson: University of Arizona, 1996. - С. 85-97.
12. Company Profile // Mapsoft URL: <http://www.mapsoft.com.au/home/contact.aspx#companyprofile> (дата обращения: 12.12.2018).
13. History // buildingSMART International URL: <https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/> (дата обращения: 12.12.2018).
14. The Teamwork Concept // GRAPHISOFT URL: <https://helpcenter.graphisoft.com/user-guide/73231/> (дата обращения: 12.12.2018).
15. The Business Value of BIM in North America // Autodesk URL: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/bim/Business_value_of_BIM_2012_North_America.pdf (дата обращения: 12.12.2018).
16. Приказ Минстроя России от 29 декабря 2014 года №926/пр // Минстрой России URL: <http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/383/prikaz-926pr.pdf> (дата обращения: 12.12.2018).
17. Утверждена «дорожная карта» по внедрению BIM-технологий в строительстве // BIMLIB URL: <https://bimlib.ru/articles/utverjdjena-dorojnaya-karta-po-vnedreniyu-bim-tehnologiy-v-stroitelstve-32/> (дата обращения: 12.12.2018).
18. Оценка применения BIM-технологий в строительстве // НОПРИЗ URL: http://nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchot.pdf (дата обращения: 12.12.2018).
19. Президент дал поручение председателю Правительства по обеспечению информационного

моделирования в строительстве (BIM) // NORMACS URL: <https://www.normacs.info/ntds/8615> (дата обращения: 12.12.2018).

REFERENCES

1. K.S. Petrov, YU.S. SHvec, B.D. Kornilov, A.O. SHelkopyasov The use of BIM-technology in the design and reconstruction of buildings and structures // Inzhenernyj vestnik Dona. - 2018. - №4. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_20_Petrov.pdf_df135443df.pdf (date of the application: 12.12.2018)
2. The CAD/CAM Hall of Fame // American Machinist URL: <https://www.americanmachinist.com/cadcam-software/cadcam-hall-fame> (date of the application: 12.12.2018).
3. AUGMENTING HUMAN INTELLECT: A Conceptual Framework // Stanford University URL: https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/extra4/sloan/mousesite/EngelbartPapers/B5_F18_ConceptFrameworkInd.html (date of the application: 12.12.2018).
4. Ivan E. Sutherland Sketchpad: A man-machine graphical communication system // University of Cambridge Computer Laboratory. - 2003. - Technical Report Number 574.
5. Awanis Romli, Habibollah Haron Solid Modeler Evaluation and Comparison: Perspective of Computer Science // Jurnal Teknologi. - 2007. - №47. - С. 15-26.
6. Charles M. Eastman The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design // AIA Journal. - 1975. - С. 46-50.
7. Charles M. Eastman An Outline of the Building Description System // Institute of Physical Planning Carnegie-Mellon University. - 1974. - Research Report No. 50.
8. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. - 978-0-470-54137-1 изд. - Hoboken: Wiley, 2008. - 624 с.
9. High hopes for hi-tech // BBC URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/2522537.stm> (date of the application: 12.12.2018).
10. Company History // Vectorworks URL: <https://www.vectorworks.net/company/history> (date of the application: 12.12.2018).
11. K. Papamichael, J. LaPorta, H. Chauvet, D. Collins, T. Trzcinski, J. Thorpe, S. Selkowitz The Building Design Advisor // ACADIA 1996 Conference. - Tucson: University of Arizona, 1996. - С. 85-97.
12. Company Profile // Mapsoft URL: <http://www.mapsoft.com.au/home/contact.aspx#companyprofile> (date of the application: 12.12.2018).
13. History // buildingSMART International URL: <https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/> (date of the application: 12.12.2018).
14. The Teamwork Concept // GRAPHISOFT URL: <https://helpcenter.graphisoft.com/user-guide/73231/> (date of the application: 12.12.2018).
15. The Business Value of BIM in North America // Autodesk URL: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/bim/Business_value_of_BIM_2012_North_America.pdf (date of the application: 12.12.2018).
16. Order of the Ministry of Construction of Russia of December 29, 2014 No. 926 / pr // Minstroy Rossii URL: <http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/383/prikaz-926pr.pdf> (date of the application: 12.12.2018).
17. Approved "roadmap" for the implementation of BIM-technologies in construction // BIMLIB URL: <https://bimlib.ru/articles/utverjdjena-dorojnaya-karta-po-vnedreniyu-bim-tehnologiy-v-stroitelstve-32/> (date of the application: 12.12.2018).
18. Evaluation of the use of BIM technologies in construction // NOPRIZ URL: http://nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchot.pdf (date of the application: 12.12.2018).
19. The President instructed the Prime Minister on the provision of information modeling in construction (BIM) // NORMACS URL: <https://www.normacs.info/ntds/8615> (date of the application: 12.12.2018).

RESEARCH OF THE STAGES OF DEVELOPMENT OF BIM-TECHNOLOGIES IN WORLD
PRACTICE AND RUSSIA

Sheina S.G., Petrov K.S, Fedorov A.A.

Don State Technical University,
Address: Gagarin Square 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia
e-mail¹: rgsu-gsh@mail.ru
e-mail²: pks81@bk.ru,
e-mail³: anton_fedorov@outlook.com

Summary The article presents the results of research and analysis of the development of BIM in world practice from the inception of the concepts of CAM and CAD in the 1960s, their interweaving, the emergence of the concept of BIM itself in the 1970s to the present day. On the basis of the information received, the effectiveness and necessity of introducing this technology into the construction industry was proved. Against the background of the analysis of world experience, the problem of introducing BIM into the construction industry of the Russian Federation was considered.

Key words: bim, information modeling, history, stages of development.

ПАССИВНЫЙ ДОМ (ЭКОДОМ).

Голикова А.А., Нагаева З.С.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им.В.И.Вернадского»,
295493 РК г.Симферополь, ул.Киевская, 18
e-mail: Anastasiya98.00.98@yandex.ru
e-mail: zarema.nagaeva@gmail.com

Аннотация. Сегодня вопрос экологичности жилья актуален как никогда. Массовое жилищное строительство далеко не экологично. В помещениях складывается неблагоприятная для человека среда: вместе со строительными материалами, мебелью и оборудованием в квартиры попадают вредные для организма человека вещества, системы вентиляции не обеспечивают очистки воздуха в помещениях, нарушается шумовой режим, велики теплопотери зданий, а микроклимат в них не соответствует требованиям комфортности жилой среды. Многоэтажные здания не обеспечивают их жителям необходимой связи с земельным участком, вокруг непомерно крупных жилых домов формируются неблагоприятные микроклимат и психологическая обстановка, архитектурный облик построек не отвечает эстетическим запросам современного человека. Архитекторы не могут решить все мировые экологические проблемы, но могут проектировать здания, требующие только часть потребляемой ныне энергии. Современные застройщики начали возводить экологически чистые дома, используя новейшие технологии. Одним из последних достижений в данной отрасли стал пассивный дом или экодом. Экодом – это дом, в котором используются исключительно натуральные материалы, отсутствуют традиционные системы отопления и минимизировано потребление электроэнергии.

Предмет исследования: В данной статье рассмотрены основные аспекты строительства энергоэффективных (пассивных) домов, положительные и отрицательные стороны экодомов.

Материалы и методы исследования: в данной статье предлагается возможное решение экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды и влияющих на здоровье человека. Предлагается к рассмотрению строительство энергоэффективных домов.

Ключевые слова: Пассивный дом; энергоэффективный дом; экодом.

ВВЕДЕНИЕ

Экологически грязные дома - это не фантазии учёных и специалистов, а реальный факт, от которого страдает множество людей. Нередко бывает так, что у человека, после возвращения домой, начинаются головные боли или насморк. Сразу приходит мысль об аллергии, но стоит выйти на свежий воздух, как все симптомы проходят. Это всё происходит регулярно и ни один врач не может помочь, причину нужно искать в экологии своего жилища. В медицине сейчас даже появился новый диагноз: синдром больных зданий, а в санитарии - новая тема: экологическая безопасность жилища.

Сегодня вопрос экологичности жилья очень актуален. Проблемы окружающей среды воздействуют на архитектуру на каждом ее уровне. Половина потребления энергии в развитых странах приходится на здания, и еще четверть - на транспорт. Архитекторы не могут решить все мировые экологические проблемы, но могут проектировать здания, требующие только часть потребляемой ныне энергии. Современные застройщики начали возводить экологически чистые дома, используя новейшие технологии. Одним из последних достижений в данной отрасли стал пассивный дом или экодом.

Существует определение, что пассивный дом, энергосберегающий дом или экодом — это

сооружение, основной особенностью которого является отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление, такой дом отличается полным отсутствием традиционных систем отопления. Внутри помещения постоянно поддерживается благоприятный микроклимат, при этом негативное воздействие на окружающую среду абсолютно исключено. Расход энергоресурсов такого жилья составляет лишь 10% от показателя затрат обычных частных домов. Однако, именно в отсутствие традиционных систем отопления заключается главный минус экодому, его можно построить только в регионах, где солнечной энергии достаточно для того, чтобы обеспечить ею такой дом.

**ПРЕДЫСТОРИЯ СОЗДАНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

Термин «Пассивный дом» появился около 25 лет назад в Германии. В мае 1988 года профессор Бо Адамс (Швеция) и Вольфганг Файст (Германия) разработали концепцию жилого дома, который для отопления и горячего водоснабжения должен был потреблять минимум энергии. Это давало возможность отказаться от использования отопительных приборов. Согласно расчетов, для отопления было достаточно

солнечного тепла и того тепла, которое вырабатывается жильцами.

На основании предварительных расчетов был разработан проект дома, в котором учитывались: архитектурные энерго-экономичные решения; в вентиляционной системе предусмотрен рекуператор — теплообменник, благодаря которому теплый воздух, выходящий из помещений, подогревал холодный воздух, входящий в дом; разработана система управления вентиляции с контролем качества воздуха; разработаны новые энергосберегающие оконные рамы; разработаны специальные энергосберегающие конструктивные узлы; учтено

использование солнечного тепла; разработана система рекуперации (т.е. использования) тепла от сточных вод.

Пассивный дом – это, в первую очередь, энергоэффективный дом. Экодома – это не идеализированное представление дома будущего, это вполне реальные дома, строительство которых с каждым годом приобретает все большую популярность.

Задолго до строительства первого пассивного дома, в США, штат Нью-Хэмпшир, в Манчестере, был построен первый экодом, в 1972 г., в преддверии энергетического кризиса. (Рис.1).



Восточный фасад здания



Северный фасад здания



Солнцезащитные устройства

Рис.1. Офисное здание для администрации общих служб. США, штат Нью-Хэмпшир, Манчестер

Fig.1. Office building for the administration of common services. USA, New Hampshire, Manchester

Перед архитекторами Николасом Исааком (Nicholas Isaak) и Эндрю Исааком (Andrew C. Isaak) стояла задача создать 6-ти этажное федеральное здание, общей площадью 16350 м², с подземной двухъярусной автостоянкой. Проект дома представлял собой куб, такая форма минимизировала потери тепла за счет лаконичности архитектурного решения. Остекление составляло всего 10% поверхности стен, а на крыше были установлены солнечные коллекторы. Наружные стены имели двухслойную конструкцию, а окна солнцезащитные козырьки. Архитектура здания позволяла максимально

использовать естественное освещение, в том числе благодаря открытой планировке внутренних помещений. Были продуманы резервуары для хранения охлажденной и нагретой воды и вентиляция с рекуперацией.

Второе энергоэффективное здание "EKONO-house" было построено в г. Отаниеми, Финляндия (1973-1979 гг). Компания "EKONO" занималась исследованием в области сохранения и оптимального использования энергии с 1950 г. Накопленный специалистами компании опыт был реализован в инновационном проекте здания, получившем название "EKONO-house". (Рис.2).



Рис.2. "EKONO-house", г. Отаниеми, Финляндия (1973-1979 гг).

Fig.2. "EKONO-house", Otaniemi, Finland (1973-1979).

Особенность проекта состояла в строительстве 2-х секций здания. Внешне они были одинаковыми, но первая секция была построена по существующим на тот момент строительным нормам и не содержала инновационных решений по энергосбережению. Во второй такие решения были использованы. Это были исследовательские лаборатории, цель строительства которых, была в изучении и сравнении энергопотребления обеих секций. В результате проектировщики получили уникальную возможность оценить эффективность выбранных решений.

Основные инновационные энергосберегающие решения здания "EKONO-house" заключались в следующем: эффективное использование внутреннего объема для минимизации площади ограждающих конструкции и уменьшения через них теплопотерь; эффективная теплоизоляция ограждающих конструкций для уменьшения теплопотерь; высокая теплоемкость ограждающих конструкций для накопления тепла и повышения теплоустойчивости здания; аккумуляция тепла солнечной радиации в основании сооружения для снижения нагрузки на систему отопления; применение вентилируемых окон для уменьшения теплопотерь в летнее время и уменьшения теплопотерь в зимнее время; минимальные утечки воздуха (герметичность здания) и низкий расход наружного воздуха в системе вентиляции для снижения затрат энергии на отопление здания; эффективное освещение для снижения затрат электрической энергии; система автоматического управления оборудованием климатизации и освещением для оптимизации и учета потребления энергии.

Ежегодное удельное теплопотребление первой секции здания "EKONO-house" составило 124 кВт·ч/м². В то время это было на 50 % ниже чем в административных зданиях Финляндии. Подобные здания в США имели еще большее удельное теплопотребление. Ежегодное удельное электропотребление первой секции 79 кВт·ч/м² что также ниже, чем в Финляндии и США. Удельное теплопотребление второй секции здания "EKONO-house" составляет 70 кВт·ч/м², удельное

электропотребление - 57 кВт·ч/м², что составляет примерно одну треть от энергопотребления традиционных сооружений подобного типа.

Таким образом, можно сделать вывод, что до появления в архитектуре понятия «пассивный дом», архитекторы старались не только проектировать красивые фасады зданий, перед ними стояла задача спроектировать дом «умными», т.е. менее энергозатратными, и в то же время удобным и надежным в эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА

Существуют несколько ключевых аспектов, которых следует придерживаться при проектировании экодомов:

1. Форма проектируемого здания:

При создании проектов таких домов специалисты определяют их оптимальную форму, которая позволит создать просторное помещение при минимальной внешней площади. Данный ход позволяет сократить теплопотери через наружную поверхность.

Экодома, по форме (конструкции), можно разделить на следующие типы:

а). Купольный экодом – конструкция дома имеет вид купола. Материалом может выступать дерево или кирпич. Крыша покрывается зеленой кровлей, одулином или черепицей.

б). Экодом с плоской кровлей – конструкция состоит из дерева, с использованием соломенных панелей и живых растений на поверхности крыши.

в). Классический дом – вид экодома, построенный из сруба дерева и кирпича.

г). Круглый дом – имеет округлую форму. При постройке используют глину, дерево, кирпич или солому. Кровля круглого дома может быть из металочерепицы.

2. В экодоме должно быть мощное утепление (для кровли и стен коэффициент теплового сопротивления должен составлять не менее R40 и R60), тщательная герметизация примыканий стен и крыши, фундаментов и т. д., герметизация проемов

вокруг окон и дверей, установка систем вентиляции, оснащенных оборудованием для рекуперации тепла. Например, если уделить внимание крыше: многие архитекторы рекомендуют делать максимально простые крыши для энергосберегающего дома. Часто останавливаются на двухскатном варианте, причем чем более пологим он будет, тем более экономным окажется дом. На пологой крыше будет задерживаться снег, а это дополнительное утепление зимой.

3. Планировка. В экодоме двери и окна не должны выходить на северный фасад здания, наличие входного тамбура обязательно (это уменьшит теплопотери в зимнее время). По возможности, жилые помещения располагать выходящими на восточный фасад, на северном же располагать буферные помещения (складские помещения, кладовые, гаражи и др.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В ходе проведенного исследования следует что энергоэффективные дома – это вполне реальные дома, строительство которых развивается с каждым годом. Добиться минимизации затрат на электроэнергию можно за счет архитектурных приемов, применяемых на внешних фасадах здания (остекление южного фасада здания, строительство буферных помещений и др.).

Стоит отметить, что в строительстве пассивных домов есть не только положительные аспекты, но и недостатки. К недостаткам энергоэффективных домов относятся:

- Постройка экодомов в центре больших мегаполисов невозможна, так как экодом - это только малоэтажное жилье, чаще всего коттедж для одной или нескольких семей.

- Энергоэффективные дома не предназначены для регионов с суровым климатом, где мало солнца и большое количество морозных дней. В таких местах дома все равно придется отапливать за счет сторонних источников энергии, т.к. минимизация затрат на электроэнергию в пассивном доме осуществляется за счет обогрева солнцем.

- Экодом может стоить в несколько раз дороже обычного дома той же площади. Дорогие материалы, системы сбережения энергии и переработки отходов - все это обходится в серьезные суммы. Впрочем, экодом со временем может окупиться благодаря экономии на энергии.

- Проект каждого экодома разрабатывается индивидуально, с учетом климата, рельефа и других особенностей того места, на котором он будет стоять. Это делает невозможным создание дешевых типовых проектов экодомов. Для строительства таких домов нужны специальные навыки работы по новым технологиям, позволяющим сделать дом герметичным.

Пассивный дом можно назвать домом будущего. В таком доме обретается независимость от цен на энергетические ресурсы, постройка

экодома обеспечит более качественный уровень жизни и здоровья человека. Вред окружающей среде, что актуально в настоящее время, будет минимален, или вообще не будет наноситься. Но, к большому сожалению, экодома недоступны там, где природа не может обеспечить достаточной солнечной энергией, в регионах с суровым климатом. Также для строительства таких домов необходимы специальные навыки, также большие расходы на проект и материалы. Впрочем, экодом со временем может окупиться благодаря экономии на энергии. Однако, хочется верить, что в будущем и эта проблема будет решена, ведь технология создания экологических домов появилась совсем недавно, и она постоянно совершенствуется. Уже очевидно, что в будущем такие дома будут стоить гораздо дешевле. Возможно, удастся устранить и другие недостатки таких жилищ.

ВЫВОДЫ

Энергосберегающий дом – это здание, в котором поддерживается оптимальный микроклимат, при этом потребление различных видов энергии, от сторонних источников, находится на низком, в сравнении с обычными строениями, уровне потребления. Энергосберегающий дом обладает хорошей теплоизоляцией, и не только получает тепловую энергию от сторонних источников, но и сам служит источником тепла.

Пассивный дом можно назвать домом будущего. Такой дом, как и любой другой, имеет свои достоинства и недостатки, рассмотренные ранее. В экодоме обретается независимость от цен на энергетические ресурсы, такая постройка обеспечит более качественный уровень жизни и здоровья человека.

Строительство энергоэффективного дома обойдется на 10-30% дороже, чем возведение аналогичного неэнергоэффективного здания. Однако при достижении стандарта пассивного дома можно не тратить на стандартные системы отопления и охлаждения, а экономленные средства могут быть направлены на повышение качества других компонентов дома. Ежемесячные же эксплуатационные расходы снижаются в несколько раз. Это долгосрочное энергосбережение делает пассивный дом привлекательным для инвестирования, особенно в условиях истощения энергоресурсов и роста цен на энергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габриель И., Ладенер Х. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома: БХВ-Петербург, 2011.

2. "Развитие теоретических и практических основ концепции пассивного дома", А.О. Пилипенко, журнал "Архитектура и строительство" 1/2014

3. С. Н. Булгаков. Энергоэффективные строительные системы и технологии. Опубликовано в журнале АВОК № 2/1999, рубрика: Энергоэффективные здания. Технологии.
 4. В. Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов, Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.
 5. Нанасова С. М. Малоэтажные дома, М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2007.
 6. Казанцев П. А. Основы экологической архитектуры и дизайна, Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008.
 7. Дыховичный Ю. А. и др. Архитектурные конструкции малоэтажных жилых зданий. М.: Москва, Архитектура-С, 2006.
 8. А.Е. Елохов. Пассивный дом: комфорт, энергосбережение, экономия, журнал "Коммунальный комплекс России" №2 (104), 2013.
 9. А.Е. Елохов. Энергопассивное домостроение в России, журнал СтройПРОФИЛЬ №2 (105) 2013
 10. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. // АВОК. – 1998.
 11. А. П. Дубров. Экология жилища и здоровье человека. - Уфа: Слово, 1995.
 12. Klaus Daniels. The Technology of Ecological Building - Birkhauser-VerlagfurArhitektur. Basel, 1997.
 13. Jurobic S. A. An investigation of the minimization of building energy load through optimization techniques - Los Angeles scientific center, 1MB Corporation, Los Angeles, California.
 14. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009. <http://www.usgbc.org>.
1. Gabriel I., Ladener H. Reconstruction of buildings according to the standards of an energy-efficient house: BHV-Petersburg, 2011. (In Russian)
 2. "Development of theoretical and practical principles of the concept of a passive house", A.O. Pilipenko, magazine "Architecture and Construction" 1/2014
 3. S. N. Bulgakov. Energy efficient building systems and technologies. Published in ABOK magazine No. 2/1999, rubric: Energy-efficient buildings. Technology. (In Russian)
 4. V. Feist. Basic provisions for the design of passive houses, Publishing House of the Association of construction universities, 2008. (In Russian)
 5. Nanasova S. M. Low-rise buildings, Moscow: Publishing house of the association of construction universities, 2007. (In Russian)
 6. Kazantsev, P.A., Fundamentals of Ecological Architecture and Design, Vladivostok: FESTU Publishing House, 2008. (In Russian)
 7. Dykhovichny Yu. A. and others. Architectural structures of low-rise residential buildings. M.: Moscow, Architecture-C, 2006. (In Russian)
 8. A.E. Yelokhov. Passive house: comfort, energy conservation, savings, the magazine "Communal complex of Russia" № 2 (104), 2013. (In Russian)
 9. A.E. Yelokhov. Energy-resistant housing construction in Russia, the magazine StroyPROFIL №2 (105) 2013
 10. Tabunshchikov Yu. A., Brodach MM Scientific basis for the design of energy efficient buildings. // AVOK. - 1998. (In Russian)
 11. A.P. Dubrov. Ecology of the home and human health. - Ufa: the Word, 1995. (In Russian)
 12. Klaus Daniels. The Technology of Ecological Building - Birkhauser-VerlagfurArhitektur. Basel, 1997.
 13. Los Angeles Scientific Center, 1MB Corporation, Los Angeles, California.
 14. LEED 2009 for the Green Building Council 2009. <http://www.usgbc.org>.

REFERENCES

PASSIVE HOUSE (ECO HOUSE).

Golikova A.A., Nagaeva.Z.S.

Academy of Construction and Architecture
e-mail:Anastasiya98.00.98@yandex.ru

Summary Today, the issue of environmental housing is more relevant than ever. Mass housing is far from sustainable. An environment unfavorable to humans develops in the premises: together with building materials, furniture and equipment substances harmful to the human body get into the apartments, ventilation systems do not provide air purification in the rooms, noise conditions are disturbed, building heat loss is high, and the microclimate in them does not meet the requirements of comfort living environment. Multi-storey buildings do not provide their residents with the necessary connection with the land plot; around the excessively large residential buildings, unfavorable microclimates and psychological conditions are formed, the architectural appearance of the buildings does not meet the aesthetic needs of modern people. Architects cannot solve all global environmental problems, but can design buildings that require only a fraction of the energy consumed today. Modern developers began to build environmentally friendly homes using the latest technology. One of the latest achievements in this industry has become a passive house or eco-house. Eco-house is a house in which only natural materials are used, traditional heating systems are absent and electricity consumption is minimized.

Subject of research: This article describes the main aspects of the construction of energy-efficient (passive) houses, the positive and negative aspects of eco-houses.

Materials and methods: this article proposes a possible solution to environmental problems associated with environmental pollution and affecting human health. It is proposed to consider the construction of energy-efficient homes.

Key words: Passive house; energy efficient house; eco house

Раздел 2. Строительство

УДК 624.953

УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА С ЖИДКОСТЬЮ, НАГРУЖЕННОГО ВНЕШНИМ ДАВЛЕНИЕМ

Чемодуров В.Т., Леоненко Ю., Попов А.Г.

¹ Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181, chens_mu1@mail.ru

² Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181, uliakuzmina1992@gmail.com

³ Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181, agr-51@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты работы по созданию математической модели колебаний цилиндрической оболочки с жидкостью после воздействия на нее ударной волны воздушного взрыва. Для описания поведения оболочки в зависимости от длительности внешней нагрузки применены две модели: модель касательного модуля для импульсного воздействия и упругая модель для квазистатического. С помощью этих моделей для реально существующего резервуара определены уровни максимального давления и импульса, при которых для одной из форм изгибных деформаций произойдет потеря устойчивости. Также построены критические кривые устойчивости в плоскости максимальное давление – импульс давления.

Предмет исследования: предметом исследования является устойчивость цилиндрических резервуаров с жидкостью, подвергающихся воздействию ударной волны воздушного взрыва.

Материалы и методы: оценка устойчивости оболочки топливного бака осуществляется с помощью построения критических кривых. Для этого в качестве расчетной схемы резервуара выбрана гладкая цилиндрическая оболочка, несущая идеальную несжимаемую жидкость, нагруженная внешним давлением, которое прикладывается в виде треугольного импульса. Такой подход позволяет в качестве исходных уравнений применить известные уравнения движения гладкой цилиндрической оболочки. Наличие жидкости учитывается путем введения в исходные уравнения ее присоединенной массы.

Результаты: получены математические модели для определения кривых устойчивости для гладкой цилиндрической оболочки с жидкостью, нагруженной внешним нестационарным давлением в разных областях длительности действия нагрузки. С помощью этих моделей численным интегрированием была рассчитана критическая кривая устойчивости для реально существующего резервуара для хранения жидкого топлива.

Выводы: полученные в работе аналитические решения по построению кривых устойчивости могут быть применены для регулирования параметров исследуемых сооружений с целью расширения их области устойчивости.

Ключевые слова: устойчивость цилиндрической оболочки, критические кривые устойчивости, ударная волна воздушного взрыва, импульс давления, модель касательного модуля, упругая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ аварийности при эксплуатации цилиндрических емкостей с топливом показывает, что существует вероятность появления внештатных ситуаций, которые возникают при воздействии на эти сооружения внешних импульсных нагрузок. Следствием таких нагрузок является потеря устойчивости оболочек топливных баков.

Данная работа посвящена вопросам потери устойчивости цилиндрических оболочек с жидкостью при внешнем импульсном воздействии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Существует ряд работ, например, [1-6], в которых рассмотрены вопросы устойчивости оболочек резервуаров. Новизной данной работы является то, что устойчивость топливных хранилищ на воздействие ударной волны воздушного взрыва будет оцениваться с помощью построения критических кривых устойчивости, которые будут получены путем численного интегрирования уравнений движения гладкой цилиндрической оболочки. Кроме того, в колебательном процессе будут учтена масса

топлива путем включения в исходные уравнения присоединенных масс жидкости. Присоединенные массы возникают при движении оболочки бака, заполненного жидкостью. Они увеличивают инерционность системы, что, несомненно, нужно учитывать в расчетах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментально установлено, что характер потери устойчивости оболочки резервуара при

воздействии на нее ударной волны воздушного взрыва зависит от величины максимального давления и длительности действия нагрузки. В зависимости от этих параметров выделяют три области воздействий (Рис. 1):

- импульсное воздействие (нагрузка малой длительности);
- квазиимпульсное воздействие (нагрузка промежуточной длительности);
- квазистатическое воздействие (длительная нагрузка).

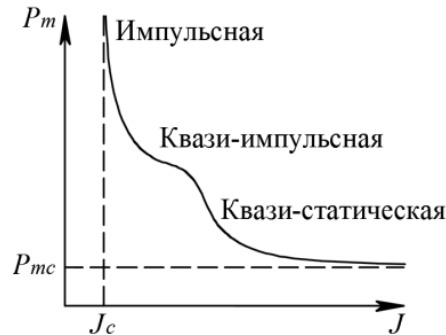


Рис. 1. Критическая кривая потери устойчивости оболочки в плоскости максимальное давление P_m – импульс давления J и области нагрузок разной длительности

Fig. 1. Critical curve of stability loss of the shell in the maximum pressure plane P_m – impulse of pressure J and a loading area of different duration

В работе оценивается возможность потери устойчивости цилиндрического резервуара при импульсной и квазистатической нагрузке. Из Рис. 1 видно, что квазиимпульсный участок занимает достаточно малый диапазон, поэтому в данной работе он не рассматривался.

Для описания поведения оболочки цилиндрического резервуара при импульсном воздействии была применена модель касательного модуля, а при квазиимпульсном – упругая модель деформаций.

Расчетной схемой резервуара при воздействии на него ударной волны воздушного взрыва является гладкая цилиндрическая оболочка. Поэтому в обоих расчетных случаях можно использовать известные уравнения движения

гладкой цилиндрической оболочки. Жидкость в баке считаем идеальной и несжимаемой.

Моделирование нагрузки.

Рассматриваемая нагрузка на цилиндрическую оболочку – ударная волна воздушного взрыва. Основными характеристиками ударной волны, представляющими нагружение объектов, являются: p_{\max} – максимальное давление в ударной волне, J – полный импульс давления и τ – время действия взрывной нагрузки. Для оценки перечисленных параметров воздушной ударной волны существуют хорошо апробированные на практике эмпирические зависимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{\max} = a \frac{\sqrt[3]{m}}{R} + b \frac{\sqrt[3]{m^2}}{R^2} + c \frac{m}{R^3} \\ J = 570 \frac{\sqrt[3]{m^2}}{R^2} \\ \tau = 0,0013 \sqrt[6]{m} \sqrt{R} \end{array} \right. \quad (1)$$

где m – масса взрывчатого вещества в килограммах; R – расстояние от точки взрыва до объекта в метрах; коэффициенты $a=0,08$, $b=0,26$, $c=0,69$. Результат максимального давления в МПа.

Нагружение при взрыве носит импульсный характер, поскольку период собственных колебаний конструкции T существенно больше времени действия взрывной нагрузки.

Изменение давления в ударной волне P во времени t зависит от расстояния до точки подрыва

взрывчатого вещества и выражается экспоненциальной зависимостью. В таком случае площадь графика под экспонентой является импульсом. Для проведения расчетов устойчивости оболочки реальную экспоненту давления правомочно заменить треугольной формой (Рис. 2):

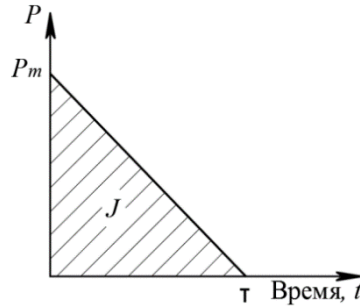


Рис. 2. Форма прикладываемой нагрузки, где P – давление в ударной волне, P_m – максимальной давление ударной волны, t – текущее время, τ – полное время действия ударной волны, J – полный импульс давления

Fig. 2. The form of applied load, where P - pressure in the shock wave, P_m - the maximum pressure, t - current time, τ - total time of action of the shock wave, J - total impulse of pressure

В случае треугольной формы прикладываемой нагрузки зависимость между полным импульсом давления и максимальным давлением представляется следующей формулой:

$$I = \frac{1}{2} P_m \tau \quad (2)$$

Наиболее опасным аварийным состоянием для сооружений рассматриваемого типа является случай воздействия ударной волны воздушного взрыва. Это воздействие является очень кратковременным по длительности, но со значительным пиком максимального давления. Поэтому основной расчетный случай описывается моделью касательного модуля.

Модель касательного модуля.

Экспериментально установлено, что при импульсном нагружении длина оболочки несущественно влияет на потерю устойчивости. Следовательно, в модели касательного модуля достаточно рассмотреть потерю устойчивости кольца без учета влияния жидкости.

Воспользуемся уравнением движения кольца, приведенным в [6]. При этом для удобства вычисления будем производить в безразмерной виде:

$$\ddot{w} + \frac{h^2}{12R^2 E} \frac{\partial^4 w}{\partial \theta^4} + \left(\frac{h^2}{12R^2} \frac{E_t}{E} + \frac{\sigma}{E} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \frac{\sigma}{E} (1 + w) = p - \frac{\sigma}{E} \left(u_n + \frac{\partial^2 w_n}{\partial \theta^2} \right) \quad (3)$$

где $w = u/R$, $w_n = u_n/R$ – безразмерные перемещения;

$u(\theta, t)$ – радиальное перемещение оболочки (положительное при движении внутрь);

$u_n(\theta, t)$ – отклонение начальной формы оболочки от цилиндрической;

θ – угловая координата;

R – радиус оболочки;

h - толщина оболочки;

E – модуль упругости материала, из которого изготовлена оболочка;

E_t – касательный модуль упругости материала за пределом упругих деформаций;

σ – окружное мембранное напряжение;

$p = (R/Eh)p'(\theta, t)$ – безразмерное давление.

Безразмерное время определяется:

$$t = t' R \sqrt{E/\rho}$$

где ρ – плотность материала, из которого изготовлена оболочка;

Зададим форму динамического и начального прогибов, а также внешнее давление следующими зависимостями:

$$\begin{cases} w_n(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \delta_n \cos(n\theta) \\ w(\theta, t) = w_0(t) + \sum_{n=0}^{\infty} w_n(t) \cos(n\theta) \\ p(\theta, t) = p_0(t) + \sum_{n=0}^{\infty} p_n(t) \cos(n\theta) \end{cases} \quad (4)$$

где δ_n – начальные отклонения оболочки от правильной геометрической формы;

Обозначив $h^2/(12R^2) = \alpha^2$, подставив ряды (4) в уравнение (3) получаем систему уравнений:

$$\ddot{w}_n + (n^2 - 1)(\alpha^2 n^2 E_t/E - \sigma/E)w_n = p_n + \sigma/E(n^2 - 1)\delta_n \quad (5)$$

$$\ddot{w}_0 + \sigma/E = p_0 \quad (6)$$

Безразмерные перемещения w_0 совпадают с кольцевой деформацией, поэтому их значения малы по сравнению с единицей, и в уравнении (6) ими можно пренебречь.

В начальный момент времени оболочка находится в покое, поэтому начальные условия принимаются нулевыми.

При достаточно больших деформациях коэффициент в выражении (5) при w_n становится отрицательным. Следовательно, решение теряет

колебательный вид и имеет характер гиперболической функции. Поэтому появляется экспоненциальное возрастание решения, что можно считать указанием на возможность существования остаточных изгибных деформаций, т.е. на возможность потери устойчивости. Поэтому условие устойчивости определяется положительным значением коэффициента перед прогибом w_n в выражении (5), т.е.:

$$\alpha^2 n^2 E_t/E - \sigma/E > 0 \quad (7)$$

Для определения значения касательного модуля E_t используются данные диаграмм «напряжение – деформации». Отношение σ/E_t за пределами текучести линейно зависит от деформации. Поэтому в расчетах можно использовать выражения:

$$\frac{\sigma}{E_t} = \begin{cases} \varepsilon \text{ при } \varepsilon \leq \varepsilon_m \\ k(\varepsilon - \varepsilon_m) + \varepsilon_m \text{ при } \varepsilon > \varepsilon_m \end{cases} \quad (8)$$

где ε – текущая деформация;

$\varepsilon_m = \sigma_m/E$ – деформация начала текучести;

σ_m – предел текучести материала оболочки.

В этом случае выражения для касательного модуля имеет вид:

$$E_t = \begin{cases} E \text{ при } w_0 \leq \varepsilon_m \\ \sigma/[k(w_0 - \varepsilon_m) + \varepsilon_m] \text{ при } w_0 > \varepsilon_m \end{cases} \quad (9)$$

где k – тангенса наклона касательной к диаграмме «напряжение-деформация».

Изменить параметры ударной волны (сделать ее более «мягкой») возможно технологически, если покрыть оболочку легко обжимаемым материалом, например, резиной. Проходя через это покрытие

ударная волна трансформируется: снижается пик максимального давления, но время его действия увеличивается, сохраняя исходный импульс ударной волны.

В этом случае колебательный процесс цилиндрической оболочки становится более медленным. Это объясняет необходимость перехода к модели потери устойчивости на упругой стадии деформаций.

Упругая модель.

Будем считать, что оболочка имеет начальные неровности поверхности, совпадающие по форме с прогибами при потере устойчивости. Без этого

предположения процесс потери устойчивости при равномерной нагрузке не возникает. Сделанное допущение не меняет основных закономерностей исследуемого процесса, но существенно упрощает его теоретический анализ. Это позволяет воспользоваться уравнением движения гладкой цилиндрической оболочки с жидкостью в рамках линейной подстановки [7]:

$$\frac{D}{h} \nabla^8 u + \frac{E}{R^2} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + p' \frac{R}{h} \nabla^4 \left[\frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 (u + u_n)}{\partial \theta^2} \right] + \left(\rho + \frac{m_n}{h} \right) \frac{\partial^2}{\partial t^2} \nabla^4 u = 0 \quad (10)$$

где $D = Eh^3 / [12(1 - \mu^2)]$ – цилиндрическая жесткость;

μ – коэффициент Пуассона;

x – линейная координата;

m_n – присоединенная масса жидкости при движении оболочки по формам потери устойчивости.

Согласно теории длинных волн:

$$m_n = (R/n) \rho_m$$

где ρ_m – плотность жидкого наполнителя.

Формы динамического и начального прогибов зададим следующими зависимостями:

$$\begin{cases} u(x, \theta, t') = u_0(t') + \sum_{n_{cm}}^{\infty} u_n(t') \sin(kx) \cos(n\theta) \\ u_n(x, \theta) = \sum_{n_{cm}}^{\infty} \delta_n \sin(kx) \cos(n\theta) \end{cases} \quad (11)$$

где $k = \pi/L$, L – длина оболочки.

Внешнее давление $p(t)$ в уравнении (10) выразим через радиальное обжатие оболочки (без учета осевых сил):

$$p'(t') = Ehu_0 / R^2$$

Подставив ряды (11) в уравнение (9) и приравняв нулю коэффициенты в каждом члене, получаем:

$$a_n \ddot{u}_n + (c_n - b_n u_0) u_n = b_n u_0 \delta_n \quad (12)$$

$$a_0 \ddot{u}_0 + c_0 u_0 = p'(t') \quad (13)$$

где коэффициенты при переменных прогибах оболочки имеют вид:

$$\begin{cases} a_n = \left(\rho + \frac{R\rho_m}{nh} \right) \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^2 \\ b_n = \frac{E}{R^3} n^2 \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^2 \\ c_n = \frac{Eh^2}{12(1 - \mu^2)} \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^4 + \frac{E}{R^2} k^4 \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} a_0 = \rho h + m_m^* \\ c_0 = \frac{Eh}{R^2} \end{cases} \quad (15)$$

Коэффициент a_0 в выражении (15) показан для заполненного топливом бака с учетом присоединенной массы жидкого наполнителя m_m^* . Подробно влияние присоединенных масс жидкого наполнителя на колебания цилиндрической оболочки под действием динамической нагрузки изучены авторами в предыдущих исследованиях.

Согласно им:

$$m_m^* = (8/3)\rho_m(L/2R)^2$$

Также как и в модели касательного модуля, условие устойчивости определяется положительным значением коэффициента при w_n в выражении (12), т.е.:

$$c_n - b_n w_0 > 0 \quad (16)$$

В безразмерном виде, приняв за основные величины E, ρ, R упругая модель записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} a_n \ddot{w}_n + (c_n - b_n w_0) w_n &= b_n w_0 \frac{\delta_n}{R} \\ a_0 \ddot{w}_0 + c_0 w_0 &= p(t) \end{aligned}$$

где коэффициенты:

$$\begin{cases} a_n = \left(1 + \frac{R\rho_m}{nh\rho}\right) (k^2 R^2 + n^2)^2 \\ b_n = n^2 (k^2 R^2 + n^2)^2 \\ c_n = \frac{h^2}{R^2 12(1-\mu^2)} (k^2 R^2 + n^2)^4 + k^4 R^4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_0 = \frac{h}{R} + \frac{m_m^*}{\rho} \\ c_0 = \frac{h}{R} \end{cases}$$

Для использования упругой модели необходимо убедиться, что максимальные кольцевые напряжения не превышают предела текучести материала оболочки. Если такое условие не выполняется, то можно воспользоваться моделью касательного модуля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИЗ АНАЛИЗ

Общая задача оценки устойчивости оболочки как для импульсной, так и для квазистатической нагрузки состоит в определении уровней максимального давления P_m и импульса J , при которых для какой-либо одной формы изгибных деформаций появится такой рост перемещений, что характерное условие устойчивости (7) оказывается нарушенным.

Исследование устойчивости оболочки проведено на примере вертикального стального цилиндрического резервуара со стационарной крышей для хранения дизельного топлива емкостью 1000 м^3 , расположенного в г.

Севастополе Республики Крым. Этот объект имеет следующие характеристики: $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $h = 0,006$ м, $\mu = 0,3$, $R = 5,2$ м, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, $\rho_m = 820 \text{ кг/м}^3$, $L = 12$ м.

Оболочка этого резервуара подвергается действию ударной волны воздушного взрыва. Эта нагрузка прикладывается в виде треугольного импульса (раздел «Моделирование нагрузки» данной работы).

В результате численного интегрирования уравнений движения оболочки (5,6,12,13) находилась такая пара максимального давления P_m и импульса J (точки на Рис. 3), при которой коэффициенты при перемещениях в выражениях (5, 12) оказывались отрицательными для целого ряда значений форм изгибных движений n (т.е. условия устойчивости (7, 16) получались нарушенными). В результате, соединив полученные точки на графике, получили критическую кривую устойчивости для

исследуемого резервуара, которая показана на Рис. 3:

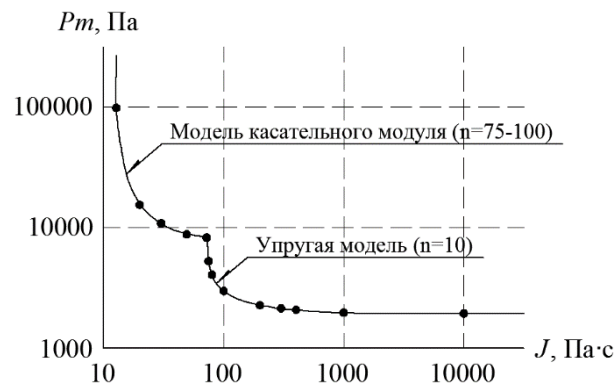


Рис. 3. Критические кривые потери устойчивости

Fig. 3. Critical curves of stability loss

ВЫВОДЫ

В работе предложены математические модели для определения критических кривых потери устойчивости гладкой оболочки в плоскости максимального давления – импульс в разных областях длительности действия нагрузки.

Численным интегрированием был рассчитан пример критической кривой для реально существующего вертикального стального цилиндрического резервуара для импульсной и квазистатической областей нагрузок.

Критическая кривая потери устойчивости в импульсной области нагрузок была рассчитана с использованием модели касательного модуля (верхняя часть кривой на Рис. 3).

Критическая кривая потери устойчивости для квазистатических нагрузок была рассчитана по упругой модели (нижняя кривая на Рис. 3).

Представленные в статье уравнения (5,6,12,13) для расчета и построения кривых устойчивости не поддаются аналитическому решению, однако их численное интегрирование дает достаточно точные решения, которые хорошо согласуются с результатами опытов, описанных во многих источниках, например, в [6].

Эти методики могут быть применены для любых сооружений, расчетную схему которых можно представить в виде гладкой цилиндрической оболочки. Из приведенных в расчетах формул видно, что эти кривые зависят от многих геометрических параметров рассматриваемого сооружения (толщина, диаметр, длина оболочки). Регулируя эти параметры (например, отношение радиуса к толщине или отношение длины к диаметру) можно добиться расширения области устойчивости рассматриваемых оболочек.

Также из описанного в работе следует, что снизить максимального давления в ударной волне возможно при использовании легко обжимаемого

покрытия, например, резины. Этот факт очень важен, так как цилиндрическая оболочка наиболее устойчива к внешнему давлению в области упругих деформаций.

Такие исследования помогут сделать проектирование сооружений рассматриваемого типа более надежным и эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидок Н.К., Кононов Ю.Н. Динамика и устойчивость колебаний цилиндрического резервуара с упругим дном и жидкостью со свободной поверхностью // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013 № 5 (177). С. 30 – 34.
2. Абросимов Н.А., Елесин А.В. Численный анализ динамического деформирования и потери устойчивости предварительно напряженных композитных цилиндрических оболочек // Проблемы прочности и пластичности. 2017 № 4 (79). С. 450-461.
3. Охлопков Н.Л., Соколов С.А. Бифуркация цилиндрической оболочки при сложном нагружении в момент потери устойчивости // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2010 № 1. С. 100-107.
4. Егоров Е.А., Федоряка Ю.В. Исследование вопросов устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Металлические конструкции. 2006 № 1. С. 89-97.
5. Дубровин В.М., Бутина Т.А. Моделирование динамической устойчивости цилиндрической оболочки при циклическом осевом воздействии // Математическое моделирование и численные методы. 2016 № 3 (11). С. 24 - 32.
6. Anderson D.L, Lindberg H.E. Dynamic pulse buckling of cylindrical shells under transient lateral pressures // AIAA Journal. 1968 № 4 (6). pp. 589-598.

7. Перцев А.К., Платонов Е.Г. Динамика оболочек и пластин: нестационарные задачи. Л.: Судостроение. 1987. 316 с.

1. Didok N.K., Kononov Yu.N. Dynamic and stability of oscillations of cylindrical tank with ideal fluid and elastic bases // *Izvestiya vysshix uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki.* 2013 № 5. pp. 30–34. (In Russian)

2. Abrosimov N.A., Yelesin A.V. Numerically analyzing dynamic deformation and loss of stability of prestressed composite cylindrical shells // *Problemy prochnosti i plastichnosti.* 2017 № 4 (79). pp. 450-461. (In Russian)

3. Okhlopov N.L., Sokolov S.A. Bifurcation of the cylindrical shell under complicated loading in the moment of loss of stability // *Izvestiya Tul'skogo*

gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. 2010 № 1. pp. 100-107. (In Russian)

4. Yegorov Ye.A., Fedoryaka Yu.V. Investigation of stability questions of steel vertical cylindrical tanks // *Metallicheskie konstrukcii.* 2006 № 1. pp. 89-97. (In Russian)

5. Dubrovin V.M., Butina T.A. Simulation of dynamic stability of a cylindrical shell under cyclic axial impact // *Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody.* 2016 № 3 (11). С. 24 - 32.

6. Anderson D.L., Lindberg H.E. Dynamic pulse buckling of cylindrical shells under transient lateral pressures // *AIAA Journal.* 1968 № 4 (6). pp. 589-598.

7. Pertsev A.K., Platonov E.G. Dinamika obolochek i plastin: nesstacionarnye zadachi [Dynamics of shells and plates: non-stationary ta

STABILITY OF CYLINDRICAL TANK WITH LIQUID LOADED BY EXTERNAL PRESSURE

Chemodurov V.T. Leonenko Yuliya, Popov A.G.

ACAVernadskyCFU, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181, chens_mu1@mail.ru

²ACAVernadskyCFU, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181, uliakuzmina1992@gmail.com

ACAVernadskyCFU, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181, agp-51@mail.ru

Summary. Working results on the creation of a mathematical model of cylindrical shell fluctuations with fluid after impacting on it by a shock wave of air explosion are presented in the article. Two models are applied to the description of behavior of a shell depending on duration of external loading: model of the tangent modulus for pulse influence and an elastic modulus for quasi-static. Levels of the maximum pressure and impulse at which for one of the forms of flexural deformations there will be loss of stability are determined by these models for a real-life tank. Critical curves of stability in the «maximum pressure–impulse of pressure» plane are also developed.

Subject: the subject of the study is the stability of cylindrical tanks with liquid exposed by the shock wave of air explosion.

Materials and methods: assessment of the stability of the fuel tank shell is calculated by construction critical curves. For this purpose, a smooth cylindrical shell, carrying an ideal incompressible fluid loaded with external pressure, which is applied in the form of a triangular impulse, was chosen as the settlement scheme of the reservoir. Such an approach allows applying the known equations of the movement of smooth cylindrical shell as the initial equations. The presence of a fluid is taken into account by introducing its attached mass into the initial equations.

Results: mathematical models for determining the stability curves for a smooth cylindrical shell with a liquid loaded with external unsteady pressure for loading areas of different duration are obtained. With the help of these models, a critical stability curve for a real-life liquid fuel storage tank was calculated by numerical integration.

Conclusions: the analytical solutions obtained in the work on the construction of stability curves can be applied to adjust the parameters of the structures under study in order to expand their stability area.

Key words: the stability of cylindrical shell, critical curves of stability, air explosion shock wave, impulse of pressure, the tangent modulus model, elastic modulus.

УДК 614.83

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНОГО ТИПА ОТ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ПРИ НАИМЕНЬШИХ ЗАТРАТАХ

Гусеница Я.Н., Затрудинов Ю.А., Ржавитин В.Л.

Военный инновационный технополис «ЭРА», 353456, г. Анапа, Пионерский пр-т, д. 28, Краснодарский край, Россия, era_1@mil.ru

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, vka@mil.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросу определения оптимального состава дополнительной многослойной защиты объектов от ударной воздушной волны, с учетом физических особенностей материала каждого слоя, при наименьших затратах. В статье представлены модель и метод, позволяющие учесть геометрические особенности линейных объектов воздействия ударной воздушной волны, характер ее затухания с увеличением расстояния, физико-механические свойства материалов дополнительной защиты и их стоимость. Для решения оптимизационной задачи использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Представлен частный график изменения целевой функции, демонстрирующий допустимую область решений.

Ключевые слова: дополнительная защита, объекты линейного типа, ударно-воздушная волна, наименьшие затраты.

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие любого государства сопровождается не только позитивным эффектом, но и увеличением количества аварий на критически важных и потенциально опасных объектах, которые приводят к человеческим жизням и материальным потерям. Следовательно, работы, посвященные вопросу обеспечения безопасности и надежности критически важных и потенциально опасных объектов, являются весьма актуальными.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время по данному направлению отечественными и зарубежными учеными написано значительное количество работ [1-14,]. Однако анализ данных работ показывает, что вопрос обеспечения безопасности критически важных и потенциально опасных объектов на основе выбора состава дополнительной защиты (ДЗ) от ударной воздушной волны (УВВ), является недостаточно освещенным. Поэтому в данной статье представлен метод оптимизации состава ДЗ объектов линейного типа от УВВ при наименьших затратах.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим объект линейного типа (арочный, котлованный, обсыпной и т.д.) имеющий степень защиты $\Delta R_{исх}$. Обозначим через l длину объекта, m ширину объекта. На данный объект оказывает воздействие УВВ аварийного взрыва (АВ). Для обеспечения безопасности объекта в состав ДЗ может входить n различных видов материалов. Требуется выбрать такую комбинацию материалов и их геометрических параметров для создания ДЗ, которые при наименьших затратах позволяют

добиться требуемой степени защиты $\Delta R_{тр}$ данного объекта.

На практике для оценивания воздействия УВВ на объекты, как правило, используются методы, подобные представленному в работе [12]. Вместе с тем, данные методы основаны на модели воздействия УВВ на точечный объект, что позволяет сравнивать степень защиты (ΔR) и избыточное давление (ΔP_f) на фронте УВВ в геометрическом центре объекта. Однако, проведенный анализ показывает, что такой подход не учитывает всех особенностей взаимодействия объектов линейного типа и относительно быстро затухающей УВВ. В частности, характер падения избыточного давления на фронте УВВ с удалением от эпицентра аварийного взрыва (АВ) является нелинейным, и объекты линейного типа повреждаются неравномерно.

Поэтому для того, чтобы описать корректную модель воздействия УВВ на объект линейного типа, разобьем его по длине на s секторов (частей) с шагом uj , ($j=1,s$), так, чтобы на каждом из них ΔP_f можно было принять неизменной, то есть на длине каждого участка ΔP_f можно считать постоянной, иными словами изменение ΔP_f несущественно. При этом суммарные расходы на создание ДЗ можно выразить с помощью следующей формулы:

$$f(\delta_1, \dots, \delta_n) = \sum_{i=1}^n C_i \delta_i S \quad (1)$$

где C_i – стоимость единицы объема i -го материала;

δ_i – толщина (высота) слоя ДЗ i -го материала;

S – площадь требуемой ДЗ.

Целевая функция (1) имеет ограничения.

Первое ограничение учитывает требуемую степень защиты $\Delta R_{тр}$ объекта и изменение

исходной степени защиты $\Delta P_{исх}$ за счет положительного $\sum_{i=1}^n \Delta P_{доп i}$ и негативного вклада ДЗ, обусловленных сочетанием материалов.

$$\Delta P_{исх} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{доп i} - \sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i \geq \Delta P_{тр} \quad (2)$$

где $\Delta P_{доп i}$ – ДЗ i-го материала;
 ρ_i – плотность i-го материала.
 При этом для получения значений $\Delta P_{доп i}$ может использоваться формула, приведенная в [12]:

$$\Delta P_{доп i} = \left(\frac{\delta_i}{0,05 \left(r_a + \delta_{исх} + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\delta_j}{k_j} \right) k_i} \right)^{\frac{10}{7}} \quad (3)$$

где $\delta_{исх}$ – исходная толщина защитного покрытия рассматриваемого объекта;
 r_a – внутренний радиус кривизны арочного свода;
 k_i – коэффициент «прочности» i-го материала относительно железобетона.

Второе ограничение учитывает допустимую нагрузку на объект в зависимости от сочетания материалов ДЗ:

$$\sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i \leq k_d \Delta P_{исх} \quad (4)$$

где k_d – коэффициент допустимой нагрузки на объект.

С учетом представленных особенностей модели конечный результат можно получить путем поиска оптимального состава ДЗ для каждого j-го участка объекта отдельно. В формализованном виде данная задача будет выглядеть следующим образом:

$$\mathbf{x}^* = \arg \min_{\mathbf{x} \in \Delta_{\beta}} f(\mathbf{x})$$

$$\Delta_{\beta} = \left\{ \Delta \mid \Delta P_{исх} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{доп i} - \sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i \geq \Delta P_{тр}; \sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i \leq k_d \Delta P_{исх}; x = \{\delta_i\}, i = \overline{1, n} \right\} \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Обозначим левую часть выражения (2) через $\mu_1(x)$, а левую часть выражения (4) через $\mu_2(x)$. В виду того, что $\mu_1(x)$ является нелинейной функцией, а $\mu_2(x)$ – линейной, то задача (5) может быть исследована методами нелинейного программирования. Используя метод неопределенных множителей Лагранжа, сведем условную задачу к безусловной. Для этого представим выражение (5) следующим образом:

$$L(\mathbf{x}, \lambda_1, \lambda_2) = f + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_2 \mu_2 \quad (6)$$

где λ_1 и λ_2 – множители Лагранжа.

Таким образом, исходная задача условной оптимизации была сведена к безусловной, предполагающей минимизацию функции Лагранжа L на всем пространстве размерности $n+2$, а именно:

$$L(\mathbf{x}, \lambda_1, \lambda_2) \rightarrow \min \quad (7)$$

Для поиска экстремума функции (7) выпишем необходимое условие экстремума:

$$L'_{\delta_i} = 0, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$\lambda_1 \mu_1 = 0, \quad (9)$$

$$\lambda_2 \mu_2 = 0, \quad (10)$$

$$\lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0. \quad (11)$$

Здесь выражение (8) выражает условие стационарности функции Лагранжа L, выражение (9) и (10) являются условиями дополняющей нежесткости [13,14] (или условиями дополнительности), а выражение (11) характеризуют неотрицательность множителей Лагранжа.

Распишем подробнее систему (8)-(11):

$$\begin{cases}
 L'_{\delta_1} = C_1 S + \lambda_1 \left\{ \rho_1 - \frac{10}{7} \left[\frac{\delta_1 \frac{1}{k_1}}{0,05(r_a + \delta_{ucx})} \right]^{3/7} \frac{1}{0,05(r_a + \delta_{ucx})} - \frac{10}{7} \sum_{i=2}^n \frac{(\Delta P_{cs(\text{don}i)})^{3/10} 0,05 \frac{1}{k_1} \delta_i \frac{1}{k_i}}{\left[0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j \frac{1}{k_j} \right) \right]^2} \right\} + \lambda_2 \rho_1 = 0, \\
 L'_{\delta_2} = C_2 S + \lambda_1 \left\{ \rho_2 - \frac{10}{7} \left[\frac{\delta_2 \frac{1}{k_2}}{0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \delta_1 \frac{1}{k_1} \right)} \right]^{3/7} \frac{1}{0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \delta_1 \frac{1}{k_1} \right)} - \right. \\
 \left. - \frac{10}{7} \sum_{i=3}^n \frac{(\Delta P_{cs(\text{don}i)})^{3/10} 0,05 \frac{1}{k_2} \delta_i \frac{1}{k_i}}{\left[0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j \frac{1}{k_j} \right) \right]^2} \right\} + \lambda_2 \rho_2 = 0, \\
 L'_{\delta_n} = C_n S + \lambda_1 \left\{ \rho_n - \frac{10}{7} \left[\frac{\delta_n \frac{1}{k_n}}{0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \sum_{j=1}^{n-1} \delta_j \frac{1}{k_j} \right)} \right]^{3/7} \frac{1}{0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \sum_{j=1}^{n-1} \delta_j \frac{1}{k_j} \right)} \right\} + \lambda_2 \rho_n = 0, \\
 \lambda_1 \left[\Delta P_{cs(\text{mp})} - \Delta P_{cs(\text{ucx})} - \sum_{i=1}^n \left[\frac{\delta_i \frac{1}{k_i}}{0,05 \left(r_a + \delta_{ucx} + \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j \frac{1}{k_j} \right)} \right]^{10/7} + \sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i \right] = 0, \\
 \lambda_2 \left[\sum_{i=1}^n \rho_i \delta_i - k_0 \Delta P_{cs(\text{ucx})} \right] = 0, \\
 \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0.
 \end{cases} \quad (12)$$

Следует отметить, что полученная система уравнений (12) является существенно нелинейной относительно неизвестных x, λ_1, λ_2 , поэтому ее решение можно найти только численными методами.

Для решения системы уравнений (12) воспользуемся методом «наименьших квадратов». Для его корректной и успешной работы необходимо задать начальное приближение, которое может быть получено в результате

экспертной оценки области локализации оптимального решения.

В случае выбора из двух или трех материалов решение задачи можно продемонстрировать графически. Это связано с тем, что целевая функция линейная.

На рис. 1 изображен график изменения целевой функции при $n=2$ и ограничении (2). Допустимая область решений находится в положительном ортанте и выше кривой функции $\mu_1(x)$.

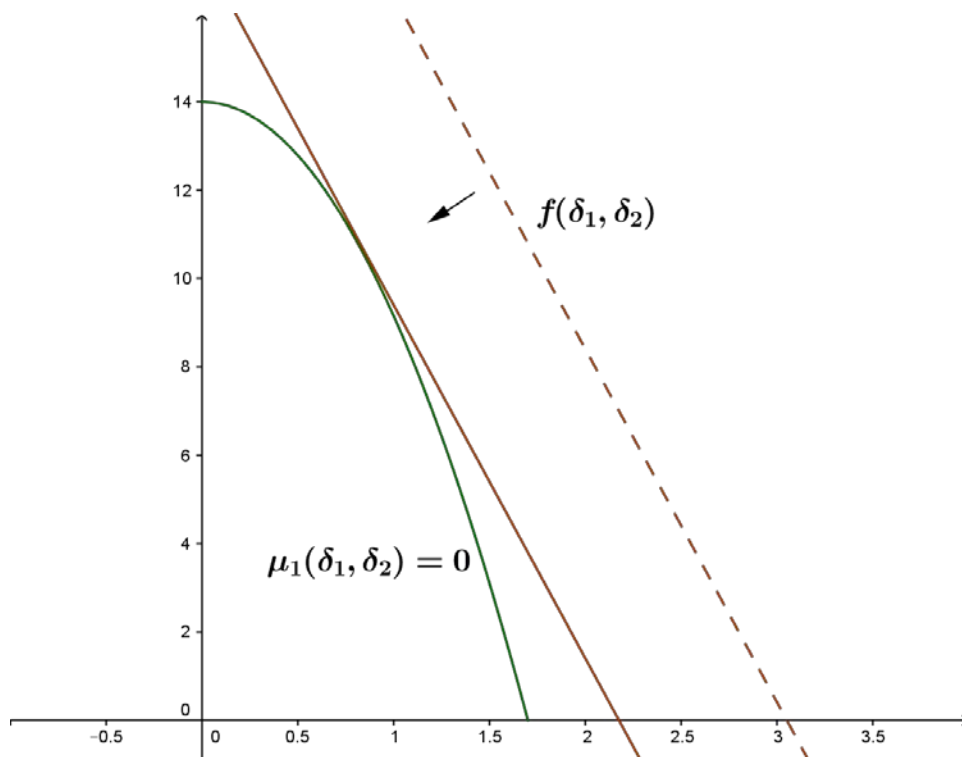


Рис. 1. Графическое представление изменения целевой функции при $n=2$ и ограничении (2)

Fig. 1. Graphical representation of the change of the objective function at $n=2$ and the constraint (2)

Решения вышеописанной нелинейной системы (12) находятся среди точек касания целевой функции и границы допустимой области.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе решается задача обоснования оптимального состава дополнительной защиты объектов линейного типа от ударной воздушной волны при наименьших затратах. При решении поставленной задачи применен метод неопределенных множителей Лагранжа.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при выборе средств защиты объектов от воздействия механических поражающих факторов. Дальнейшее развитие предложенных модели и метода является разработка базы данных номенклатуры материалов, их физических свойств и стоимостных показателей для повышения вариативности, и автоматизации расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычева А.М., Сватовская Л.Б., Старчуков Д.С., Соловьева В.Я., Гравит М.В. Повышение качества бетона в монолитной обойме // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4(80). С. 3–14.
2. Абдрахманов Н.Х., Волкова Ю.В. Взаимодействие воздушной ударной волны с наземными объектами // Нефтегазовое дело:

электронный научный журнал. 2013 № 6. С. 432-444.

3. Тюкалов Ю.Я. Конечно-элементные модели в напряжениях для задач плоской теории упругости // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 1(77). С. 23–37.

4. Яковлев С.Н., Мазурин В.Л. Виброизолирующие свойства полиуретановых эластомеров, применяемых в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 6(74). С. 53–60.

5. Мухин В.И., Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Панин Г.В. О методике оценки состояния потенциально опасных объектов при воздействии воздушной ударной волной от обычных средств поражения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 1 (32). С. 7-15

6. Тюкалов Ю.Я. Функционал дополнительной энергии для анализа устойчивости пространственных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 2 (70). С. 18–32

7. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 73-78

8. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Седов Д.С., Иванова Л.Е. О методике повышения защищенности объекта экономики от воздействия воздушной ударной волны. // International journal for computational civil and structural engineering. 2018. №1. С. 155-163

9. Тугушов К.В., Иванов Е.В. Структура методики оценки защищенности основных производственных фондов критически важных объектов от поражающих факторов обычных средств поражения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. №4(35). С. 78-86

10. Деров М.Н., Трофимов М.В., Гарькушев А.Ю. Избыточная удельная механическая энергия потока воздуха как основной оценочный параметр разрушения зданий и сооружений. // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 8(122). С.35-39

11. Бурлов В.Г., Матвеев А.В. Основы теории синтеза облика системы обеспечения безопасности и способов ее функционирования на потенциально опасных объектах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2012. № 3 (23). С. 1-13.

12. Сурин Д.В. Аналитические методы оценки защищенности и живучести объектов и комплексов: монография. – СПб.: МО РФ, 1997. - 249 с.

13. Солдатенко В.С., Смагин В.А., Гусеница Я.Н., Гера В.И., Солдатенко Т.Н. Метод расчета периода контроля оборудования инженерно-технических систем // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 2 (70). С. 72-83.

14. Шевчук А.М., Мачнев С.А., Загруднинов Ю.А., Закиров Р.Ф. Методика оценки ущерба объектам инфраструктуры стартового комплекса при аварийном взрыве ракеты-носителя // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 9-10 (99-100). С. 67-71.

REFERENCES

1. Sychova A.M., Svatovskaya L.B., Starchukov D.S., Soloviova V.Y., Gravit M.V. Povyshenie kachestva betona v monolitnoy oboime [The improving of the concrete quality in a monolithic clip] // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 80. No. 4. Pp. 3-14

2. Abdrahmanov N.H., Volkova YU.V. Vzaimodeystvie vozduшной udarniy volny s nazemnymi ob'ektami [The interaction of air shock waves with the ground objects] // *Oil and gas business: electronic scientific journal*. 2013 No. 6. Pp. 432-444. (rus)

3. Tyukalov YU.YA. Konechno-elementnye modeli v napryazheniyah dlya zadach ploskoy teorii uprugosti [Finite element models in stresses for plane elasticity problems] // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 77. No. 1. Pp. 23-37

4. Yakovlev S.N., Mazurin V.L. Vibrozoliruyushchie svoystva poliuretanovykh elastomerov primenyaemykh v stroitelstve [Vibroisolating properties of polyurethane elastomeric materials, used in construction] // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. Vol. 74 No 6. Pp. 53-60

5. Muhin V.I., Rybakov A.V., Ivanov E.V., Panin G.V. O metodike ocenki sostoyaniya potencialno opasnykh ob'ektov pri vozdeystvii vozduшной udarnoy volny ot obychnykh sredstv porazheniya [About the technique of assessment of the condition of potentially dangerous objects at influence of the air shock wave from usual means of defeat] // *Scientific and education problems of civil defense*. 2017. Vol. 32. No. 1. Pp. 7-15 (rus)

6. Tyukalov YU.YA. Funktsional dopolnitelnoy energii dlya analiza ustoychivosti prostranstvennykh sterzhnevnykh sistem [The functional of additional energy for stability analysis of spatial rod systems] // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. Vol. 70. No. 2. Pp. 18-32

7. Analiz sposobov I sredstv povysheniya urovnya zashchity zdaniy i sooruzheniy ot deystviya udarnykh voln [Analysis of ways and means of increasing the level of protection of buildings and structures from the action of shock waves] // *Working safety in factory* 2017. No. 2. Pp. 73-78. (rus)

8. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Sedov D.S., Ivanova L.E. O metodike povysheniya zashchishchennosti ob'ekta ekonomiki ot vozdeystviya vozduшной udarnoy volny [About the technique of increase of protection of object of economy from influence of an air shock wave] // *International Journal For Computational Civil And Structural Engineering* 2018. No. 1. Pp. 155-163 (rus)

9. Tugushkov K.V., Ivanov E.V. Struktura metodiki ocenki osnovnykh proizvodstvennykh fondov kriticheski vazhnykh ob'ektov ot porazhayushchih faktorov obychnykh sredstv porazheniya [The structure of the methodology for assessing the protection of fixed assets of critical objects from the damaging factors of conventional means of destruction] // *Scientific and education problems of civil defense*. 2017. Vol. 35. No. 4. Pp. 78-86 (rus)

10. Derov M.N., Trofimov M.V., Gar'kushev A.YU. Izbytochnaya udelnaya mekhanicheskaya energiya potoka vozduha kak osnovnoy ocenochniy parameter razrusheiya zdaniy i sooruzheniy [Excess specific mechanical energy of air flow as the main estimated parameter of destruction of buildings and structures] // *Question of defense technics: Counterterrorist technical equipment*. 2018. Vol. 122. No. 8. Pp. 35-39 (rus)

11. Surin D.V. Analiticheskie metody ocenki zashchishchennosti i zhivuchesti ob'ektov i kompleksov [Analytical methods for assessing the security and survivability of objects and complexes]. Saint-Petersburg: Ministry of Defense, 1997. 249 p. (rus)

12. Burlov V.G., Matveev A.V. Osnovy teoryi sinteza облика системы обеспечения безопасности и способов ее функционирования на потенциально опасных объектах] // *Problems of maintenance of risks in techno sphere*. 2012. Vol. 23. No. 3. Pp. 1-13 (rus)

13. Soldatenko V.S., Smagin V.A., Gusenitsa Y.N., Gera V.I., Soldatenko T.N. The method of calculation for the period of checking utility systems // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. Vol. 70. No. 2. Pp. 72-83

14. Shevchuk A.M., Machnev S.A., Zagrudinov YU.A., Zakirov R.F. Metodika ocenki ushcherba 15..

ob'ektam infrastruktury startovogo kompleksa pri avariynom vzryve rakety-nositelya [Methodology for assessing damage to the infrastructure of the launch complex in the event of an emergency explosion of the launch vehicle] // *Question of defense technics: Counterterrorist technical equipment*. 2016. Vol. 100. No. 10. Pp. 67-71

DETERMINATION OF THE OPTIMUM STRUCTURE FOR MORE PROTECTION OF OBJECTS OF LINEAR TYPE FROM THE AIR SHOCK WAVE AT THE LOWEST COST

Gusenitsa Ya.N. , Zagrudinov Yu.A., Rzhavitin V.L.

Military Innovation Technopolis «ERA», 353456, Pionerskiy av. 28, Anapa, Krasnodar Region, Russia,
e-mail - era_1@mil.ru

Military Space academy named after A.F. Mozhaisky, 197198, Zhdanovskaya st. 13, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail - vka@mil.ru

Summary. The article is devoted to the question of determining the optimal composition of an additional multilayer protection of objects from an air shock wave, taking into account the physical characteristics of the material of each layer, at the lowest cost. The article presents a model and method that allows to take into account the geometric features of linear objects of impact of an air shock wave, the nature of its attenuation with increasing distance, the physicomechanical properties of materials of additional protection and their cost. To solve the optimization problem, the method of uncertain Lagrange multipliers is used. A private graph of the change of the objective function is presented, showing the allowed range of solutions.

Key words: additional protection, linear type objects, shock-air wave, least costs

УДК 624.1

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ КРЫМСКОГО РАКУШЕЧНИКА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ ТРУДА РАБОЧИХ-СТРОИТЕЛЕЙ

Леоненко К.А., Шаленный В.Т.

Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры

295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: leonenkoka@gmail.com, v_shalennyj@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены доступные решения по устройству горизонтальных конструкций: плит перекрытия для малоэтажной застройки Республики Крым. Проведена апробация на объекте при устройстве монолитных и сборно-монолитных перекрытий на конкретном объекте - усадебном жилом доме в с. Пионерское Республики Крым. При этом были запроектированы и реализовались на практике, на одном и том же перекрытии цокольного этажа, две сборно-монолитные конструктивно-технологические системы: монолитная по стальному профилированному настилу и сборно-монолитная с заполнением блоками местного стройматериала – известняковых блоков (ракушечника). Технологический порядок выполнения операций был выстроен с учётом критерия Сеченова. Проведен сравнительный анализ с учетом критерия эргономических показателей. На этом основании предложена более рациональная, с точки зрения тяжести труда рабочих-строителей, технология. В результате удалось добиться повышения их работоспособности и снижения уровня производственного травматизма на треть. Такой результат получен путем обработки данных киносъёмки, хронометража и физиологического состояния рабочих-строителей, что подтверждает целесообразность использования предложенной технологии и методологии оценки показателей тяжести их труда в сравнении с устройством монолитных железобетонных перекрытий, как наиболее распространённой и доступной на сегодняшний день технологии.

Ключевые слова: энергоэффективность; тяжесть труда; методы снижения энергозатрат; эргономика; сборно-монолитные перекрытия.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Республики Крым, по причине высокой сейсмичности района строительства, наибольшее распространение получили монолитные железобетонные каркасные конструктивные системы за счёт своей повышенной жёсткости и простоте производства железобетонных работ в разборно-переставных индустриальных опалубочных системах [1] непосредственно на строительной площадке. В то же время, такие технологии имеют и ряд существенных недостатков, связанных, прежде всего, с их повышенной трудоёмкостью и существенно большими сроками выполнения работ. Поэтому как в России, так и за рубежом, все большее распространение получают компромиссные сборно-монолитные конструктивно-технологические системы малоэтажного гражданского строительства [2]. Доля сборно-монолитных конструкций для перекрытий в странах Евросоюза по разным оценкам составляет от 20% до 35%. В России же до 2008 года такие перекрытия не применялись вовсе. В то время как такие конструкции имеют меньший собственный вес, более высокие показатели по теплозащите и звукоизоляции, не требуют использования мощной грузоподъёмной техники и других сопутствующих трудозатрат [3]. Ориентируясь на известные зарубежные сборно-монолитные системы Porotherm, Teriva, Ytong, Rectolight, в Российской Федерации запатентована и развивается отечественная инновационная технология СМП МАРКО [4]. Лишь отсутствие близко расположенных производств сборных элементов этой системы сдерживает её распространение в Крыму.

Применение подобных сборно-монолитных конструктивно-технологических систем, по сравнению с наиболее распространёнными монолитными перекрытиями, ведёт как к снижению построечной трудоёмкости, так и тяжести труда строительных рабочих, как эргономического показателя современных строительных процессов [5]. Выдвинув такую **рабочую гипотезу**, в настоящей научно-прикладной работе поставлены **задачи** и произведена сравнительная оценка тяжести труда рабочих-строителей для обоснования целесообразности выбора и совершенствования технологии устройства сборно-монолитных перекрытий малоэтажной застройки Крыма, прежде всего, **с целью** улучшения указанного эргономического показателя.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение подобных сборно-монолитных конструктивно-технологических систем, по сравнению с наиболее распространёнными монолитными перекрытиями, ведёт как к снижению построечной трудоёмкости, так и тяжести труда строительных рабочих, как эргономического показателя современных строительных процессов [5]. Выдвинув такую **рабочую гипотезу**, в настоящей научно-прикладной работе поставлены **задачи** и произведена сравнительная оценка тяжести труда рабочих-строителей для обоснования целесообразности выбора и совершенствования технологии устройства сборно-монолитных перекрытий малоэтажной застройки Крыма **с целью** снижения указанного эргономического показателя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проанализировав доступные литературные источники и научно-производственный опыт их использования, мы пришли к выводу, что наиболее достоверным для оценки тяжести труда в строительстве будет интегральная балльная оценка тяжести труда (эргономическая), а дублирующей к ней может выступать методика оценки, опирающаяся на фактическую частоту сердечных сокращений и конвертируемая в тяжесть труда по

формуле профессора Травина [6]. Такие методы исследований мы решили применить и для сравнительной оценки тяжести труда рабочих-строителей при устройстве монолитных и сборно-монолитных перекрытий на конкретном объекте - усадебном жилом доме в с. Пионерское Республики Крым. При этом были запроектированы и реализовались на практике, на одном и том же перекрытии цокольного этажа, две сборно-монолитные конструктивно-технологические системы: монолитная по стальному профилированному настилу и сборно-монолитная с заполнением блоками местного строительного материала – известняковых блоков (ракушечника) (Рис. 1).



Рис. 1. Общий вид подготовленных к бетонированию перекрытий: по стальному профилированному настилу (слева) и с блоками-кладушками известняка-ракушечника (справа)

Fig. 1. General view of the slabs prepared for concreting: on steel shaped flooring (left) and with filling limestone blocks (right)

Поскольку, по показателям себестоимости, реализованное перекрытие в несъемной опалубке из оцинкованного профилированного настила с ребрами высотой 60 мм оказалось явно неконкурентоспособным, в дальнейшем эта технология по выбранным эргономическим показателям не изучалась. А представленная справа на Рис.1 конструктивная система - более приспособленная к условиям Крыма система МАРКО. Ее модификация заключается в замене сборного арматурно-опалубочного блока заводского изготовления на два элемента, изготавливаемых в построечных условиях – арматурного пространственного каркаса и опалубочной доски-основания, на которой, с зазором, обеспечивающим требуемую толщину защитного слоя бетона, монтировался упомянутый арматурный каркас (Рис.2). Такая модификация известной инновационной системы МАРКО позволяет полностью исключить транспортные расходы на

доставку элементов заводского изготовления, которые для условий Крыма имеют определяющее экономическое значение из-за дальности расположения заводского производства таких сборных элементов и сложной логистики. Интегральный показатель тяжести труда рабочих при рассмотрении конкурирующих технологий в баллах определялся по формуле:

$$U_T = \left[X_{max} + \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n-1} \cdot \frac{6 - X_{max}}{6} \right] \cdot 10,$$

где U_T – интегральный показатель категории тяжести в баллах;

X_{max} – элемент условий труда на рабочем месте, имеющий наибольший балл;

$\sum_{i=1}^n X_i$ – сумма количественной оценки в баллах значимых элементов условий труда за исключением X_{max} ;

n – количество элементов условий труда;

10 – число, введенное для удобства расчетов.

В соответствии с величиной интегрального показателя условиям труда, процессам присваивалась соответствующая категория тяжести труда [7, 8].

Интегральный показатель тяжести труда позволяет определить степень **утомления**:

$$y = \frac{U_T - 15,6}{0,64},$$

где U – показатель утомления в условных (относительных) единицах;

15,6 и 0,64 – коэффициенты регрессии;

U_T – представленный ранее интегральный показатель категории тяжести труда в баллах.

Зная степень утомления, можно определить уровень работоспособности:

$$P = 100 - U,$$

где P – уровень работоспособности в относительных единицах.

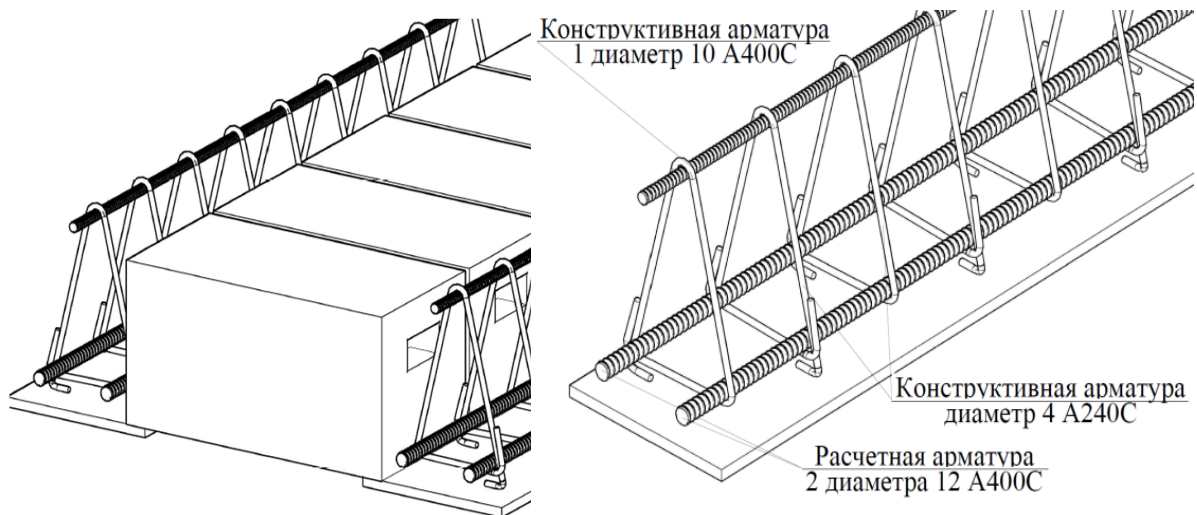


Рис. 2. Элементы сборной системы и полученные сечения пространственного арматурного каркаса монолитной несущей балки запроектированного перекрытия - объекта исследования

Fig. 2. Elements of the prefabricated system and the obtained cross-sections of the spatial reinforcement frame of the monolithic supporting beam of the projected slab – the object of research

Экспериментально было установлено, что повышение производительности труда на единицу прироста работоспособности находится в пределах 0,15-0,4 и составляет в среднем 0,2 [8]. Следовательно, при модернизации технологии производства работ можно определить, как это повлияло на производительность труда [7]:

$$П_{пт} = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \cdot 100 \cdot 0,2,$$

где $П_{пт}$ – прирост производительности труда;

R_2 и R_1 – работоспособность в условных единицах до и после внедрения мероприятий, понизивших тяжесть труда;

0,2 – поправочный коэффициент, отражающий усреднённую зависимость между повышением работоспособности и ростом производительности труда.

Так же этот показатель позволяет прогнозировать уровень производственного травматизма на предприятии. Рост травматизма определяется по выражению [8]:

$$K = \frac{1}{1,3 - 0,0185 \cdot U_T'}$$

где K – рост производственного травматизма, количество раз (от 1).

Дополнительная оценка тяжести труда при реализации рассмотренных технологий устройства сборно-монолитных перекрытий производилась на основе данных о частоте сердечных сокращений рабочих на основании расчётов их энергозатрат по формуле проф. Травина:

$$E = 0,014 \cdot G \cdot t \cdot (0,12 \cdot f - 7),$$

где E – энергозатраты, ккал; G – масса тела, кг; t – продолжительность физической нагрузки, мин.; f – число сердечных сокращений (ЧСС), мин⁻¹.

После чего, на основании пункта 12 приложения 1 к ГОСТ 12.1.005-88 [9] можно также определить категорию тяжести труда рабочих-строителей.

Технологический порядок операций был выстроен с учётом критерия Сеченова, признаком которого является то, что при смене вида деятельности к состоянию возбуждения приходят другие нервные клетки, а у тех, что участвовали в операции, возбуждение сменяется торможением, что обеспечивает эффект активного отдыха [8], с учётом динамики работоспособности рабочих-строителей [10].

АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения количественной информации для расчётов по представленным методикам производилась видеосъемка двумя камерами: одна из камер, Sony Handycam CX625, устанавливалась на штатив и фиксировала общий технологический процесс, на основании ее данных были вычислены значения общей динамической нагрузки, времени передвижения рабочих и прочие аналогичные; вторая камера, GoPro Hero 7, крепилась непосредственно к грудной клетке рабочего, выполняющего технологические операции и, на основании ее данных, были вычислены значения региональных динамических нагрузок, монотонности операций и прочие аналогичные. Частота сердечных сокращений работников фиксировалась при помощи датчика на запястье (Garmin Vivomove HR) и датчика на грудь (Garmin HRM Run) с передачей, регистрацией и обработкой данных на персональном компьютере. Кроме того, технологический процесс делился на операции хронометрически: отрезки фиксировались секундомером. Для получения статистических данных эксперимента использовалась выборка

рабочих-строителей из 5 человек различной квалификации и физических параметров:

- 1) рабочий 2 разряда возрастом 25 лет, ростом 183см, весом 78 кг;
- 2) рабочий 4 разряда возрастом 32 года, ростом 176см, весом 75 кг;
- 3) рабочий 4 разряда возрастом 46 лет, ростом 174см, весом 63 кг;
- 4) производитель работ возрастом 42 года, ростом 185см, весом 88 кг;
- 5) начальник участка возрастом 56 лет, ростом 179см, весом 70 кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обработка полученной информации из видеозаписей и физиологического состояния рабочих, реализовавших на объекте представленные конструктивно-технологические решения сборно-монолитных железобетонных перекрытий, позволили изучить изменения пульса работников (Рис. 3), а также временные и силовые параметры выполняемых при этом этапов работ. Они стали основой для составления протоколов тяжести производства отдельных видов работ (таблица 1), максимально объективно характеризующих изучаемые технологии

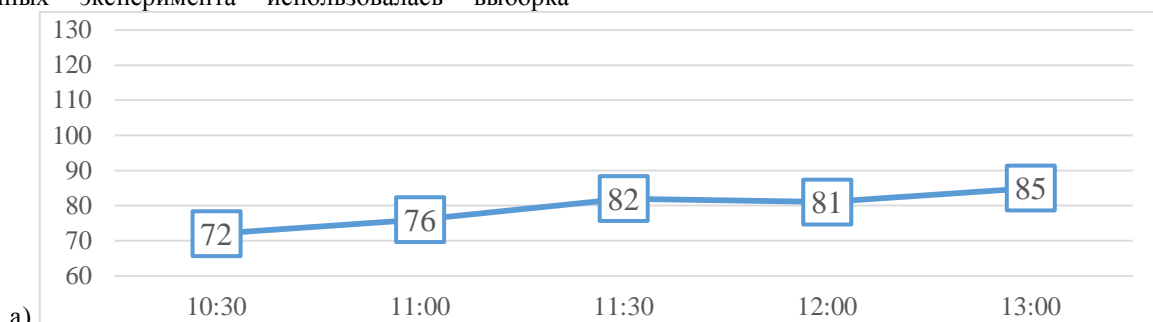


Рис. 3.1. Графики изменения пульса работников во времени для исследования комплекса технологических операций: а) устройство элемента сборно-монолитного перекрытия, закрепление верхней арматурной сетки к элементам перекрытия;

Fig. 3.1. Diagrams of changes in the pulse of the workers over time to study the complex of technological works: а) arrangement of an element of a prefabricated monolithic slab, fixing the upper reinforcing mesh to the elements of the slab;

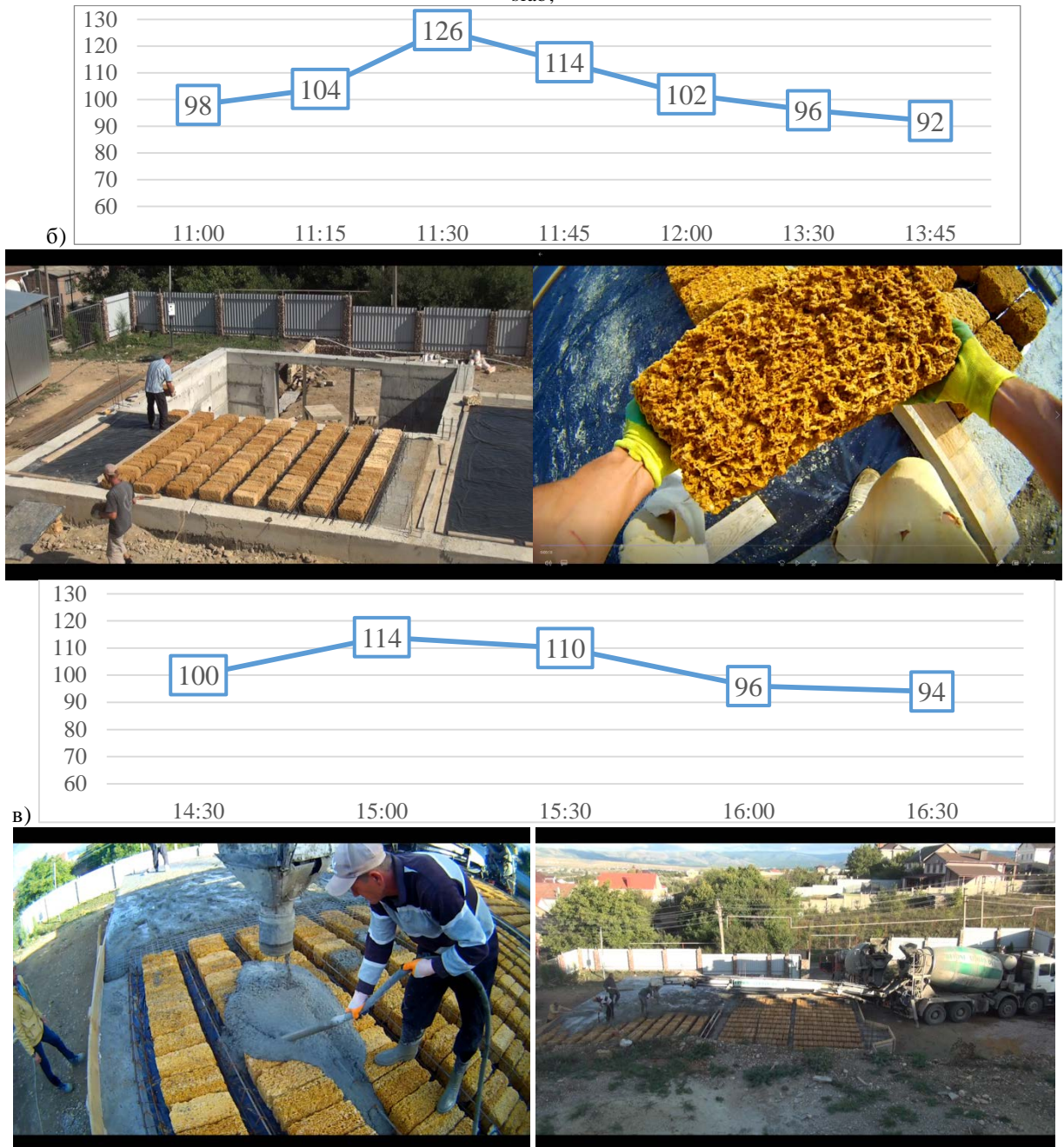


Рис. 3.2. Графики изменения пульса работников во времени для исследования комплекса технологических операций: б) внутрипостроечный транспорт: устройство заполнения сборно-монолитного перекрытия; в) устройство монолитной части плиты

Fig. 3.2. Diagrams of changes in the pulse of the workers over time to study the complex of technological works: б) internal transport: a device for filling a prefabricated monolithic slab; в) arrangement of the monolithic part of the plate

Таблица 1. Протокол оценки тяжести труда рабочих при устройстве сборно-монолитного перекрытия предложенной конструкции

Table 1. Protocol of the assessment of the severity of labor of the workers during the arrangement of prefabricated monolithic slabs of the proposed design

№ п/п	Факторы рабочей среды	Величина показателя	Балл фактора	Прод-ть фактора	Удельный вес в смене	Оценка удельной тяжести
1	Физическая динамическая нагрузка, Дж: общая *10 ⁵	13,42	4	480	1,00	4
2	Физическая динамическая нагрузка, Дж: региональная *10 ⁵	6,80	4	480	1,00	4
3	Физическая статическая нагрузка, Н·с на две руки *10 ⁴	238,37	5	90	0,19	0,94
4	Рабочее место (РМ), поза и перемещение в пространстве	поза несвободна, до 25% времени в наклонном положении до 30 градусов	3	480	1,00	3
5	Сменность	Две смены	2	480	1,00	2
6	Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч.	менее 8 часов	2	480	1,00	2
7	Монотонность: число приемов в операции	5 операций	3	435	0,40	1,20
8	Монотонность: длительность повторяющихся, секунд	30,00	3	435	0,40	1,20
9	Режим труда и отдыха	Обоснованный	2	480	1,00	2
10	Нервно-эмоциональная нагрузка	Сложные действия по зад. плану с возм. коррекции	3	480	1,00	3
11	Темп (число движений в час): Крупных (руки)	320	4	400	0,83	3,33
12	Длительность сосредоточенного наблюдения, % от смены	50% от смены	4	480	1,00	4

Из анализа данных хронометражных наблюдений и технологических карт на устройство монолитных железобетонных плит следует, что минимальная категория тяжести труда составляет 4-5 по причине продолжительного времени вязки арматуры, во время которой рабочий находится в несвободной позе, более 50% времени рабочей смены в наклонном положении, осуществляя при этом до 300 наклонов за смену до 60 градусов. Таким образом, нагрузка на поясницу будет сверх нормативной. Минимальный интегральный бальный показатель тяжести труда в таком случае 5, а фактический будет около 5,3, что находится на стыке 4 и 5 категорий тяжести труда из 6. Таким образом, с точки зрения эргономики, работы по устройству монолитных железобетонных перекрытий относятся к категории тяжёлых.

Таким образом, работы по устройству предложенного сборно-монолитного перекрытия характеризуются нижеследующим интегральным показателем тяжести труда:

$$U_T = \left[X_{max} + \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n-1} \cdot \frac{6 - X_{max}}{6} \right] \cdot 10$$

$$= \left[5 + \frac{30,67}{12-1} \cdot \frac{6-5}{6} - 1 \right] \cdot 10$$

$$= 4,47 \cdot 10 = 44,7.$$

Полученные результаты соответствуют 3 категории тяжести труда (**3 из 6**), но на стыке с 4. В таком случае, показатель усталости:

$$Y = \frac{U_T - 15,6}{0,64} = \frac{44,7 - 15,6}{0,64} = 45,47.$$

Тогда работоспособность составит:

$$R = 100 - Y = 100 - 44,06 = 54,53.$$

Повышение производительности труда за счет модернизации технологии производства работ:

$$P_{пт} = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \cdot 100 \cdot 0,2 = \left(\frac{54,53}{41,56} - 1 \right) \cdot 100 \cdot 0,2$$

$$= 6,24\%.$$

А прогнозируемый уровень производственного травматизма составит:

$$K = \frac{1}{1,3 - 0,0185 \cdot U_T} = \frac{1}{1,3 - 0,0185 \cdot 44,7} = 2,11 \text{ раз.}$$

В случае устройства монолитных плит перекрытия уровень производственного травматизма ($U_T = 53$) составляет 3,13 раза. Таким образом, используя технологию сборно-монолитного перекрытия, удалось добиться снижения уровня производственного травматизма на 33%.

Энергозатраты работников при устройстве сборно-монолитного перекрытия, вычисленные по формуле профессора Травина:

$$\begin{aligned} E &= 0,014 \cdot G \cdot t \cdot (0,12 \cdot f - 7) \\ &= 0,014 \cdot 70 \cdot 186 \cdot (0,12 \cdot 84 - 7) \\ &= 561,42 \text{ (ккал).} \end{aligned}$$

Или, в среднем, 184,07 ккал/час. На основании пункта 12 приложения 1 к ГОСТ 12.1.005-88 [9] категория тяжести труда: 2а (средней тяжести I категории) (3 из 5).

Из-за большого удельного веса арматурных работ при устройстве монолитных железобетонных перекрытий, все работы по их производству следует отнести к 5 категории тяжести по методике оценки интегрального показателя. Одним из путей снижения уровня тяжести работ по устройству монолитных перекрытий многими предлагается использование апробированного на практике дистанционного инструмента для вязки арматуры [5], однако более эффективным решением считаем отказ от монолитных конструкций в пользу сборно-монолитных железобетонных перекрытий.

При этом оказались лучшими и интегральный показатель тяжести (4,47) и показатель тяжести, вычисленный по методике учёта энергозатрат на основе частоты сердечных сокращений рабочих (184,07 ккал/час.), а работы в целом уже следует отнести к работам средней тяжести. Только на основании улучшения условий работы исполнителей уже можно рекомендовать к широкому применению предложенную технологию устройства сборно-монолитных перекрытий с использованием заполнения из местных материалов для малоэтажного строительства в Крыму. Другими, сопутствующими положительными факторами следует признать при этом снижение себестоимости, сокращение сроков строительства, повышение производительности труда и снижение уровня производственного травматизма на треть. Поэтому предложенная инновационная технология может иметь существенно больший, сверх суммарный синергетический социально-экономический эффект, оценка которого предполагается в нашей дальнейшей работе.

ВЫВОДЫ

1. Технологии устройства железобетонных перекрытий развиваются в последнее время в

направлении увеличения удельного веса сборно-монолитных конструктивно-технологических систем. В РФ появилась и развивается отечественная инновационная сборно-монолитная система МАРКО, которую мы приняли за основу для дальнейшего совершенствования.

2. Учитывая неблагоприятные условия доставки элементов заводского изготовления системы МАРКО в наш регион, а также возможности использования местных материалов для заполнения межбалочного пространства, предложена и представлена в работе усовершенствованная конструкция сборно-монолитного перекрытия.

3. Произведено проектирование и экспериментальное изготовление предложенной конструктивно-технологической сборно-монолитной системы в условиях малоэтажной загородной застройки центральной части Крымского полуострова.

4. В результате обработки данных киносъёмки, хронометража и физиологического состояния рабочих-строителей, показана целесообразность использования предложенной технологии на основании оценки показателей тяжести их труда в сравнении с устройством монолитных железобетонных перекрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капшук, О.А., Шалённый, В.Т. Технологичность разновидностей современных разборно-переставных опалубочных систем //Инженерно-строительный журнал, 2014, №7, с.80-88.
2. Шаленный, В.Т. Сборно-монолитное домостроение : учебник /В.Т. Шаленный, О.Л. Балакчина. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 178с.
3. Теплова, Ж.С., Виноградова, Н.А. Сборно-монолитные перекрытия системы «МАРКО» //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №8(35). – С.48-59.
4. Недвига, Е.С., Виноградова, Н.А. Системы сборно-монолитных перекрытий //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. - №4(43). - С.87-102.
5. Ершов, М.Н. Эргономика строительных процессов, доступные решения. М.Н. Ершов – М.: Издательство АСВ, 2010. – 248 с.
6. Шаленный, В.Т., Леоненко, К.А. Сравнительный анализ и обоснование целесообразности методики оценки тяжести труда рабочих-строителей для улучшения эргономических показателей каменно-монтажных работ //Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. - №4(20). – С.80-85.
7. Воронова, В.М., Егель, А.Э. Определение категории тяжести труда: Методические указания к дипломному проектированию. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. –18 с.

8. Крушельницкая, Я.В. Мероприятия по повышению работоспособности работников: [Электронный ресурс]. // Физиология и психология труда: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2003, – 367 с. – Режим доступа: <http://orbook.ru/index-6563.htm>, свободный.

9. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) М.: Стандартинформ, 2008, 48 с., ил.

10. Физиология человека: в 3-х томах. Т.3. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – 3-е изд. – М.: Мир, 2005. – 228с., ил.

11. Гигиена труда: учебник / Под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008, – 592 с.: ил.

12. Безопасность жизнедеятельности. Основы безопасности труда.: Практикум (сборник практических занятий для экономических, юридических, управленческих специальностей) /Под ред. Гетия И.Г. — М.: МГУПИ, 2010. – 136 с.: ил.

13. Есинова, Н.И. Экономика труда и социально-трудовые отношения: Учеб. пособие. – Киев: издательство «Кондор», 2008. – 360с.: ил.,табл. – Библиогр.: 40 назв.

14. Копанев, А.Е. Проблемы использования конструкций сборно-монолитного перекрытия //Молодой ученый. – 2012. – № 12. – С.76-80.

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

16. Шаленный В.Т., Леоненко, К.А. Улучшение эргономики каменной кладки за счет поэтапного снижения энерго- и трудозатрат рабочих-каменщиков //Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. – №4(16) – С.64-71.

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

5. Ershov M.N. Ergonomics of building processes, affordable solutions. M.N. Ershov – M.: ASV Publishing House, 2010. – p. 248.

6. Shalenny, V.T., Leonenko, K.A. Comparative analysis and justification of the target-specific methodology for assessing the severity of labor of construction workers to improve the ergonomic performance of masonry installation works // Biosphere compatibility: human, region, technology. – 2017. – №4(20). – p. 80-85.

7. Voronova, V.M., Egel, A.E. Definition of the category of severity of labor: Methodology guidelines for a thesis preparation. – Orenburg: State Educational Institution ORENBURG STATE UNIVERSITY, 2004. – p. 18.

8. Krushelnitskaia, Ya.V. Measures to improve the working capacity of workers: [Electronic resource]. //Physiology and Psychology of Labor: Textbook. – M.: Finance and Statistics, 2003, – p.367. – Access: <http://orbook.ru/index-6563.htm>, free.

9. GOST 12.1.005-88. Occupational Safety Standards System (OSSS). General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area (with Amendment N 1) M.: Standardinform, 2008, p. 48., illustr.

10. Human physiology: in 3 volumes. V.3. Transl. from English / Ed. by R. Schmidt and G. Tevs. – 3rd ed. – M.: Mir, 2005. – p. 228., illustr.

11. Occupational hygiene: textbook / Ed. by N.F. Izmerov, V.F. Kirillov. – M.: GEOTAR-Media, 2008, – p. 592, illustr.

12. Life safety. Fundamentals of occupational safety.: Practical work (a collection of practical exercises for economic, legal and managerial specialties) / Ed. by Getiia I.G. – M.: MGUPI, 2010. – p. 136, illustr.

13. Esinova N.I. Labor Economics and Social and Labor Relations: Textbook. – Kiev: Condor Publishing House, 2008. – p. 360.: illustr, table – Bibliogr.: 40 titles.

14. Kopanев, А.Е. Problems of use of structures of prefabricated monolithic slabs // Young Scientist. – 2012. – № 12. – p. 76-80.

15. Pushkariov, B.A., Korenkov, P.A. Prefabricated monolithic reinforced concrete structures, spheres of application and features of calculation // Construction and technogenic safety. – 2013. – № 46. – p. 30-35.

16. Shalenny, V.T., Leonenko, K.A. Improving ergonomics of masonry work due to the gradual reduction of energy and labor costs of mason workers // Biosphere compatibility: human, region, technology. – 2016. – №4(16) – p. 64-71.

17. Bryusov, V.A., Panfilov, A.V. Intermediate floors in stone houses // Building materials, equipment and technologies of the XXI century. - 2018. - №11-12 (238-239). - p.20-23

REFERENCES

1. Kapshuk, O.A., Shalenny, V.T. Constructability of varieties of modern disassembled and adjustable formwork systems // Engineering and Construction Journal, 2014, №7, p. 80-88.

2. Shalenny, V.T. Prefabricated monolithic house building: textbook / V.T. Shalenny, O.L. Balakchina. – Saratov: IPR Media, 2018. – p.178.

3. Teplova, Zh.S., Vinogradova, N.A. Prefabricated monolithic slabs of the 'MARKO' system // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №8(35). – p. 48-59.

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

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ARRANGEMENT OF PREFABRICATED MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLABS FROM THE CRIMEAN COLLECTOR BASED ON THE ASSESSMENT OF THE SEVERITY OF LABOR OF CONSTRUCTION WORKERS

Summary. The article discusses the available solutions for arranging horizontal structures: floor overlaps for low buildings of the Crimea Republic. Conducted testing on the object when the device monolithic and precast-monolithic floors on a specific object - a manor house in the village. Pioneer Republic of Crimea. At the same time, two prefabricated monolithic constructive and technological systems were designed and implemented in practice on the same floor of the basement: monolithic on steel shaped flooring and prefabricated monolithic with filling with blocks of local building material - limestone blocks (shell rock). The technological order of operations was built taking into account Sechenov's criterion. A comparative analysis is carried out taking into account the criteria of ergonomic indicators. On this basis, a more rational, in terms of the severity of the labor of construction workers, technology was proposed. As a result, it was possible to achieve an increase in their working capacity and a reduction in the level of industrial injuries by a third. This result was obtained by processing the data of filming, timing and physiological state of construction workers, which confirms the feasibility of using the proposed technology and methodology for assessing the indicators of the severity of their labor in comparison with the device of monolithic reinforced concrete floors, as the most common and currently available technology.

Key words: energy efficiency; energy and labor costs count; ergonomic; prefabricated monolithic overlap.

УДК. 550.34:699.841

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ГРУНТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КРЫМУ

Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Кульчицкий В.Е., Эреджепов Э.Э

- 1– ГАУ «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений»
- 2- Институт сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, bpustovitenko@mail.ru

Аннотация. Изложена схема поэтапного решения задачи генерации акселерограмм сильных движений грунта в Крыму на примере площадки проектируемого строительства Крымского Государственного центра детского театрального искусства в г. Симферополе. Применен метод моделирования акселерограмм, основанный на подобию статистических свойств слабых и сильных местных землетрясений. Используются зависимости динамических и спектральных характеристик сейсмических волн, а также очагов землетрясений Крыма от энергетического уровня. Исходя из свойства фрактальности сейсмических процессов, постулируется закон подобия их характеристик. Экстраполяция зависимостей на большие магнитуды позволяет создать "образ" синтезированной акселерограммы сильного землетрясения. Основой для расчетов служили сейсмограммы сейсмической станции "Симферополь" землетрясений с магнитудами $M_w=2.8-3.5$, которые произошли в ближайших сейсмогенерирующих структурах Крыма на расстояниях 30 и 58 км от объекта строительства. Проведен спектральный, спектрально-временной и энергетический анализ акселерограмм. Получены интервалы значений спектральных характеристик, представляющих наибольшую опасность для сооружения

Предмет исследования. Сейсмические воздействия сильных землетрясений на здания и сооружения.

Материалы и методы. Записи реальных «типичных» сейсмограмм местных землетрясений, база сейсмологических данных, расчетное значение интенсивности с учетом сейсмического микрорайонирования для периода повторяемости $T=500$ лет и пикового ускорения, модель строения среды под площадкой строительства. Использована авторская региональная методика моделирования акселерограмм.

Результаты. Получен комплект акселерограмм сильных сейсмических движений грунта для прогнозных сейсмических воздействий на площадке строительства в г. Симферополе. Представлены интервалы амплитуд и частот, опасных для здания. Комплект расчетных акселерограмм является основой для расчета сейсмических нагрузок с применением прямого динамического метода при проектировании здания.

Выводы. Используемый метод генерации синтетических акселерограмм, в отличие от других методов, наиболее адекватно отображает реальный процесс движения почвы при падении на поверхность сейсмической волны, порождаемой сильным землетрясением. "Образ" расчетных акселерограмм достаточно полно имитирует реальную картину сейсмического воздействия на площадку строительства объекта от максимальных землетрясений Крыма. Показано, что частицы грунта при падении сейсмической волны на площадку совершают также вращательные движения и могут вызвать в конструкции крутильные деформации, которые необходимо учитывать при выполнении проектных работ.

Ключевые слова. Акселерограмма, сейсмические воздействия, спектр, землетрясение, сейсмостойкое строительство.

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмические волны от сильных землетрясений, воздействуют на здания и сооружения сложным образом. Механический отклик сооружения зависит от частотного состава приходящей волны, реакции грунта, на котором находится сооружение, технических особенностей конструкций сооружения, находящегося на грунте. Полную информацию о напряженно-деформированном состоянии конструкций или отдельных их элементов под воздействием сейсмических колебаний может дать динамический расчет с определением реакции сооружения во временной области. В связи с этим, в практике сейсмостойкого строительства, особенно ответственных и экологически опасных объектов, для расчета сейсмических нагрузок регламентируется применять динамический метод

с использованием реальных или синтезированных акселерограмм сильных движений грунта (Нормативный документ СП 14.13330.2018, Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* Москва, 2018).

Актуальность применения динамического метода расчета сейсмических нагрузок на здания и сооружения в Крыму очевидна в связи с возросшим в последние годы строительством объектов повышенной категории ответственности и экологической опасности: автомагистрали, газопроводы, высотные здания (высотой более 50 м), детские учреждения и т.д.

В данной статье рассмотрены подходы и результаты моделирования сейсмических воздействий от прогнозных сильных землетрясений на примере проектируемого Крымского Государственного центра детского театрального искусства в г. Симферополь.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время существует несколько методов расчета акселерограмм сильных движений [1-8]. **1. Метод реальных акселерограмм.** В этом методе используются инструментально зарегистрированные в определенных пунктах акселерограммы от сильных землетрясений. Записи акселерограмм хранятся в цифровом виде в мировых базах данных. Однако, в Крыму за период инструментальных наблюдений сильные движения грунта от местных землетрясений не зарегистрированы, а использование записей из других регионов не представляется корректным в силу отсутствия идентичности геолого-тектонических и сейсмологических условий различных регионов.

2. Метод, основанный на моделях разлома (способ теоретического моделирования и полуэмпирический метод). Для его использования необходимы точные знания о глубинном строении и добротности среды в очаговой зоне и на пути распространения сейсмических волн, физико-механические параметры самих очагов и др. Многообразие сеймотектонических условий в Крымском регионе затрудняет использование этого метода.

3. Метод стандартных спектров реакций. Метод стандартных спектров (РБ,2000), взятых из нормативных документов СП 14.13330.2018 и НП-031-01, среди перечисленных методов является наиболее универсальным и распространенным, который используется при отсутствии информации о сейсмических воздействиях в регионе. Использование огибающих спектров реакций из нормативных документов других стран, в частности Евросоюза (Еврокод 8, 2004), при моделировании акселерограмм позволяет в полной мере учесть богатый мировой опыт и современные тенденции развития сейсмостойкого строительства. Особенность метода заключается в том, что основываясь на мировом опыте наблюдений за динамическими параметрами волновых форм разрушительных землетрясений и при помощи теории спектров упругих реакций, можно дать оценку возможности реализации сейсмических воздействий в регионе с аналогичными геологическими условиями и геодинамическими процессами в очагах землетрясений.

4. Метод синтетических акселерограмм. Этот метод используется в сейсмических регионах, для которых невозможно получить записи сильных движений в силу длительного периода повторяемости таких землетрясений. Тогда при создании акселерограммы сильного движения используется принцип подобия сильных и слабых землетрясений по ряду параметров. Принцип подобия отражает известный экспериментальный факт фрактальности сейсмичности. На основе принципа подобия конструируется «образ»

акселерограммы сильного движения. При этом возможны два варианта моделирования акселерограмм:

а) методом статистического моделирования с соблюдением эмпирических закономерностей, составляющих основу подобия;

б) использование реальных «типичных» сейсмограмм, записанных на ближайших к объекту сейсмических станциях от слабых землетрясений и затем трансформированных в соответствии с принципом подобия на большие магнитуды [8]. Такая методика расчета синтетических акселерограмм была разработана в Крыму. Она прошла научную апробацию на международных конференциях, опубликована в статьях [8, 9, 10] и рекомендована для практического использования. Особое преимущество методики состоит в максимально возможном учете особенностей сеймотектонических условий Крыма, характера излучения из очага сейсмических волн и свойств глубинной среды на пути "очаг-станция регистрации". Методика постоянно совершенствуется в связи появлением новых экспериментальных сейсмологических данных и пополнения статистики по ее практическому применению.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе при расчете акселерограмм сильных движений использована методика "типичных" землетрясений [8]. Она основана на особенностях сейсмичности Крымско-Черноморского региона. Динамические и спектральные характеристики записей сейсмических волн и «истинных» смещений почвы на сейсмических станциях Крымской сети в широком энергетическом диапазоне энергий (K0, Km) подчиняются простым эмпирическим зависимостям вида:

$$\lg A = a + bK \quad (1)$$

где A – динамические (максимальная амплитуда и период смещения, относительная и общая длительность записи и др.), спектральные характеристики (угловая частота f_0 , спектральная плотность в длиннопериодной части спектра Ω_0), K – энергетический класс (десятичный логарифм сейсмической энергии) или моментная магнитуда Mw. Предполагается, что эти зависимости справедливы при экстраполяции их на большие магнитуды ($M_m < M < M_{max}$) или энергетические классы ($K_m < K < K_{max}$), где M_{max} и K_{max} – энергетические параметры максимального возможного землетрясения в данном регионе. Таким образом, постулируется и экспериментально подтверждается закон подобия динамических характеристик записей сейсмических волн и их

спектров для слабых и сильнейших землетрясений [11]. Этот закон является главной экспериментальной основой методики расчета сильных воздействий. Такая методика обосновывалась ранее теоретически и предлагалась для построения синтетических акселерограмм [2, 3].

Важным условием в методике является **выбор ближайшей к исследуемому объекту сейсмической станции, для которой** получены зависимости (1) и отбор характерных ("типичных") записей слабых толчков из основных сейсмогенерирующих зон, могущих создать наибольшие воздействия на выбранную площадку. При этом необходимо использовать записи землетрясений компактной группы из этих зон и с глубинами очагов, попадающими в интервал преобладающих за длительный интервал времени для данной геологической структуры.

"Типичными" сейсмограммами землетрясений можно считать такие записи, которые удовлетворяют следующим условиям: параметры продольных (P) и поперечных (S) волн и отношения амплитуд AS/AP и периодов TS/TP на ближайшей к объекту станции регистрации соответствуют преобладающим долговременным значениям в функции их распределения. Для станции "Симферополь", использованной в данной работе, отношение амплитуд AS/AP находится в интервале от 2 до 6 при максимуме AS/AP = 4, а TS/TP = 2. Энергетический спектр записи имеет один максимум в ограниченной области частот; форма и параметры амплитудного спектра не противоречит стандартной теоретической модели Д. Брюна [12], в рамках которой надежно аппроксимируются спектры Крымских землетрясений за длительный интервал времени [13].

После ряда математических процедур "типичные" записи слабых землетрясений с использованием региональных зависимостей (1) трансформировались в смещения, соответствующие гипотетическому сильному землетрясению, которое могло быть зарегистрировано на станции. Трансформация смещения от слабого к сильному землетрясению возможна двумя путями. 1. В спектральном представлении – сдвиг по оси частот и спектральных амплитуд в соответствии с зависимостями (1); 2. во временной области – деформации временной и амплитудных осей.

Важным отличием используемой нами методики от других методик [1-7] является процедура трансформации смещений от гипотетического сильного землетрясения, отнесенного к станции регистрации, на исследуемый пункт. При выборе исходных данных важнейшим требованием является близость пункта регистрации "типичного" землетрясения к объекту, для которого рассчитываются акселерограммы,

При выполнении такого требования будут близкими траектории сейсмических лучей вдоль

трасс от очага на сейсмическую станцию и исследуемый пункт, комплексные частотные характеристики, описывающие затухание и дисперсию колебаний за счет неидеальной упругости среды, геометрическое расхождение лучей и диаграммы направленности излучения из очага в направлении указанных пунктов одинаковы. Большинство сейсмических станций Крыма расположено на коренных породах, поэтому можно считать, что условия распространения волн к станции и к объекту отличаются только особенностями подстилающих пород под объектом. Тогда в спектральном представлении задача трансформации состоит в расчете комплексной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) пачки слоев под объектом и умножением ее на комплексный спектр расчетных смещений от гипотетического сильного землетрясения, отнесенного к станции регистрации. Далее, производится перевод смещений в ускорения. В случае временного представления, производится свертка расчетного смещения на станции с импульсной характеристикой пачки слоев под исследуемым пунктом. После этого производится нормировка полученной акселерограммы на максимальное (пиковое) ускорение и нормировка на значение максимальной расчетной интенсивности (с точностью до десятых балла).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для исследования служили:

1. Сейсмограммы сейсмостанции «Симферополь» и унифицированная база данных по кинематическим, динамическим, спектральным и очаговым параметрам землетрясений Крыма за длительный интервал времени. Основную опасность для г. Симферополь, в котором находится исследуемая площадка строительства, представляют сильные движения грунта от землетрясений, генерируемых, в основном, структурами Южнобережного и прилегающих к нему разломов. Южнобережная сейсмогенерирующая структура на всем протяжении однородна и обладает одинаковым сейсмическим потенциалом с прогнозными катастрофическими землетрясениями с магнитудами $M=7$ [14].

Были выбраны записи двух «типичных» землетрясений (3 компоненты в цифровом виде) зарегистрированных на сейсмической станции "Симферополь". Объект находится от станции на расстоянии менее 1 км. Эти относительно слабые землетрясения произошли в двух сейсмогенерирующих структурах, представляющих опасность для г. Симферополя. Расположение эпицентров и станции показаны на схеме (рис.1).

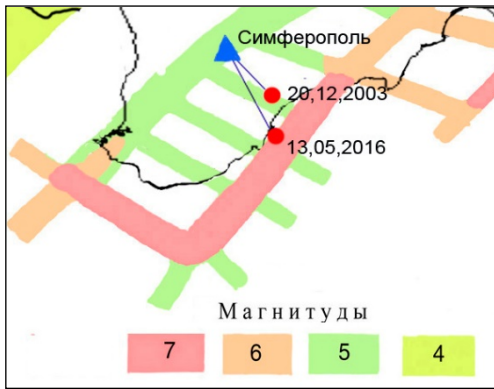


Рис. 1. Схема расположения эпицентров «типичных» землетрясений и станции «Симферополь».

Fig.1. The layout of the epicenters of "typical" earthquakes and the station "Simferopol".

Типичное землетрясение №1, произошло 20 декабря 2003 года, время в очаге 00 час 47 мин. 35.5 с, параметры очага $\varphi=44.76^{\circ}N$, $\lambda=34.39^{\circ}E$, $h=21$ км, $K=8.1$ ($M_w=2.8$) (зона Демерджинского разлома, сопряженная с Южнобережной зоной), эпицентральное расстояние от сейсмической станции «Симферополь» – 30 км. Запись землетрясения приведена на рис.2.

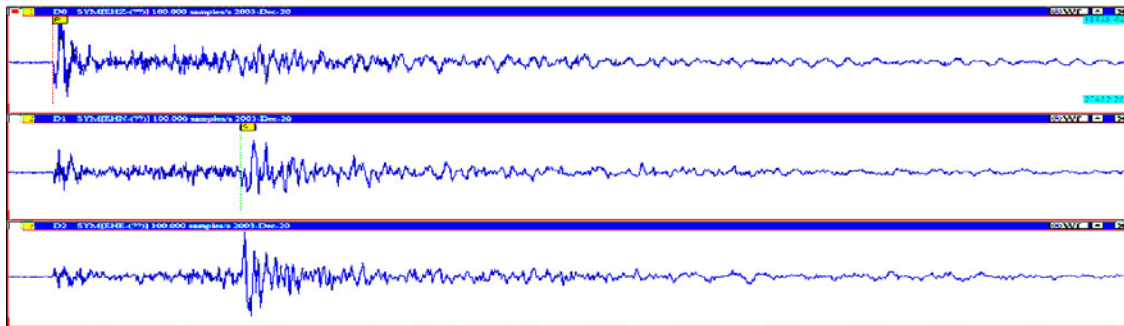


Рис. 2. Запись «типичного» землетрясения 20 декабря 2003 года, полученная на сейсмостанции «Симферополь» (компоненты Z, NS, EW).

Fig.2. An example of a record of a "typical" earthquake on December 20, 2003, received at the Simferopol seismic station (components Z, NS, EW).

Типичное землетрясение №2, произошло 13 мая 2016 года, время в очаге 14 час. 05 мин. 28 с, параметры очага $\varphi=44.61^{\circ}N$, $\lambda=34.41^{\circ}E$, $h=14$ км, $K=10.5$ ($M_w=3.5$) (Южнобережная сейсмогенная зона) эпицентральное расстояние от сейсмической станции «Симферополь» – 58 км. На рис.3. показана запись этого землетрясения.

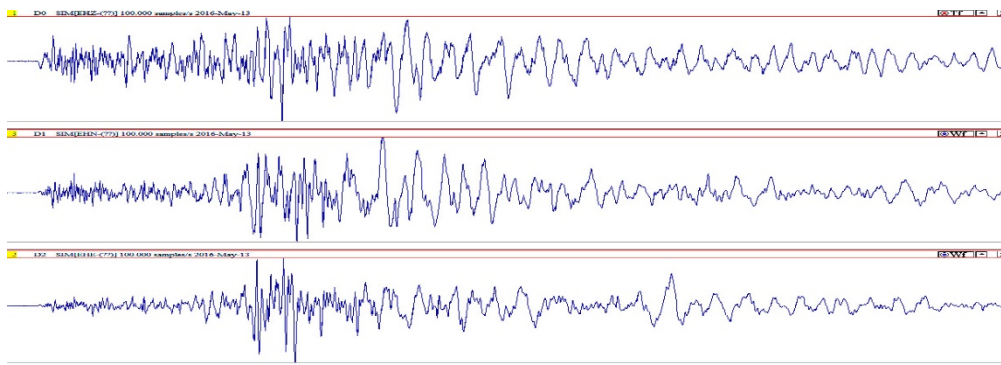


Рис.3. Запись «типичного» землетрясения 13 мая 2016 года, полученной на сейсмостанции «Симферополь» (компоненты Z, NS, EW).

Fig.3. An example of a record of a "typical" earthquake on may 13, 2016, received at the Simferopol seismic station (components Z, NS, EW).

2. Для исследуемого участка строительства использована уточненная исходная сейсмичность (УИС), которая составляет $I_R = 7.38$ балла с периодом повторяемости $T=500$ лет с вероятностью 0.1 превышения прогнозируемых значений (эти данные представлены авторам по результатам сейсмического микрорайонирования, Фонды ООО «КРЫМГИИНТИЗ», 2017). Переход от I_R к пиковому ускорению (PGA) проводился по формуле связи этих величин в соответствии национальным стандартом РФ ГОСТ Р 57546-2017:

$$I = 2.51g(PGA) + 1.89 \pm 0.6$$

3. Для расчетов и трансформации спектров и записей применялись корреляционные зависимости типа (1).

4. Использована информация о параметрах среды под исследуемым участком по результатам инженерно-геологических изысканий (фонды ООО «КРЫМГИИНТИЗ», 2017г).

5. Для расчетов применялось разработанное авторское программное обеспечение.

Таким образом, для подготовки генерации акселерограмм были соблюдены все описанные выше основные принципы методики: близость объекта к сейсмической станции "Симферополь" (порядка 1 км); расположение сейсмической станции "Симферополь" на коренных породах; выбраны записи "типичных" землетрясений, произошедших в основных сейсмогенерирующих зонах на глубинах с преобладающим диапазоном

гипоцентров; отобранные записи успешно прошли проверку на соответствие критериям «типичности» спектральных и очаговых параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Как принято в практике моделирования акселерограмм [1, 6, 7], для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений требуются акселерограммы, ориентированные по направлениям «очаг-объект» (радиальная составляющая R), перпендикулярная R – (тангенциальная составляющая T) и вертикальная Z. Компоненты NS и EW смещений почвы выбранного «типичного» землетрясения перепроектировались в горизонтальной плоскости на радиальное (R) и тангенциальное (T) направления.

Расчет частотных характеристик среды проводился по разработанной программе, использующий алгоритм Л.И. Ратниковой [15], реализующий матричный метод Томсона-Хаскелла [16, 17]. Основу этого алгоритма составляют рекуррентные соотношения между потенциалами падающих, отраженных и преломленных волн. На рис. 4 представлены расчетные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) среды под исследуемой площадкой.

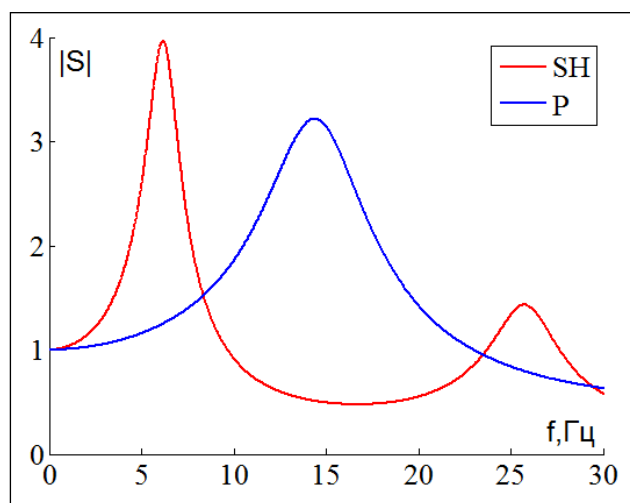


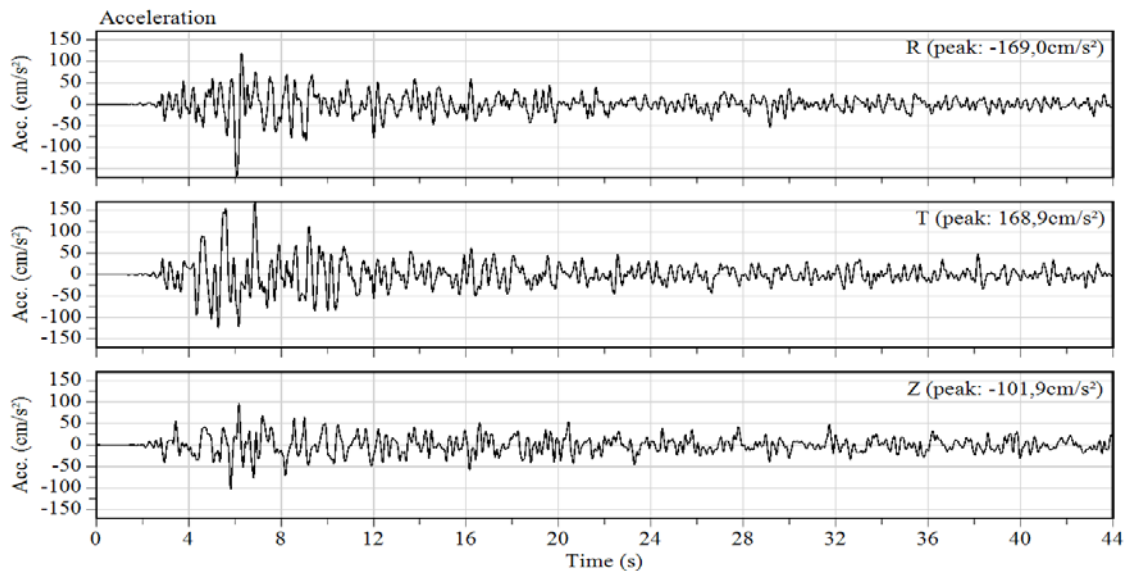
Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) среды для волн P и SH на исследуемой площадке строительства.

Fig. 4. Amplitude-frequency characteristics (AFC) of the medium for P and SH waves at the investigated construction site.

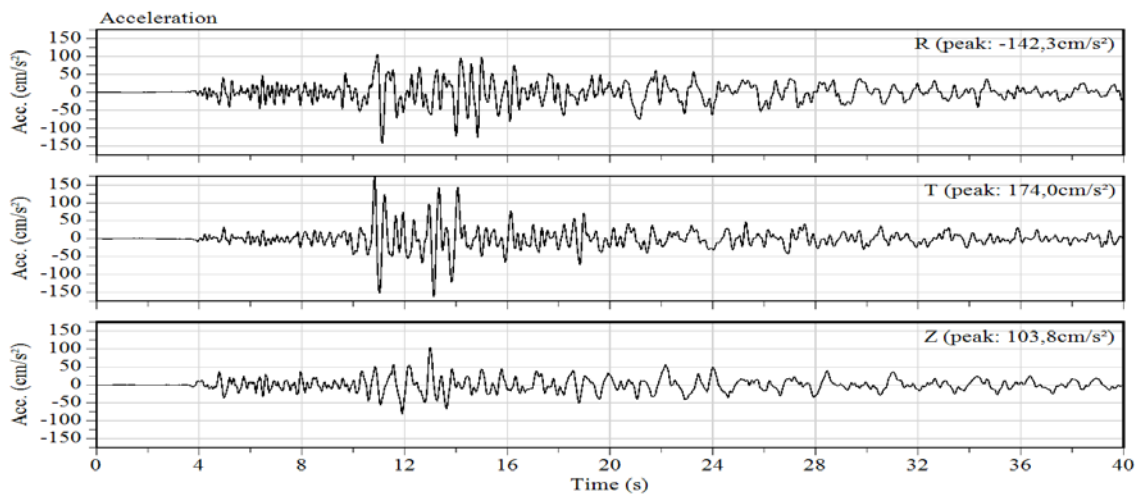
Как видно (рис.4), АЧХ среды под исследуемой площадкой строительства имеют два максимума на частотах порядка 5-6 Гц и 26 Гц, для поперечных волн SH и один максимум для продольных P-волн на частотах вблизи 15 Гц.

Используя частотные характеристики среды в соответствии с методикой [8], рассчитывались синтетические акселерограммы для вероятного максимального сотрясения $I_R = 7.38$ балла на исследуемой площадке для периода

повторяемости землетрясений 1 раз в 500 лет для двух очаговых зон (рис.5 а, б).



А



Б

Рис. 5. Акселерограммы прогнозируемого расчётного землетрясения с интенсивностью $I_R = 7.38$ балла от очагов зон разломов: а—Демерджинского; б- Южнобережного.

Fig. 5. Accelerograms of the predicted estimated earthquake with an intensity of $I_R = 7.38$ points from the foci of fault zones: a — Demerdzhinsky; b- South Coast.

Как видно из рис.5, акселерограммы несколько отличаются друг от друга. Так акселерограммы из района Демерджинского разлома после наступления главной фазы с течением времени мало меняют амплитудный и частотный состав, в то время как для акселерограммы Южнобережного разлома четко выделяются фазы Р и S волн, затем наступают длиннопериодные цуги. Амплитуды на горизонтальных составляющих акселерограмм примерно в 1.5 раза больше, чем на вертикальных. Общая длительность акселерограмм до полного спада колебаний составляет 44с и 40 с. Максимальные значения колебаний на акселерограммах довольно быстро затухают, до времен примерно 16 с на акселерограмме от Демерджинского разлома (рис.5.а), и 25с от Южнобережного (рис.5.б). Вероятнее всего это

связано как с особенностями среды в окрестности очага и направленностью очагового излучения, так и с разной удаленностью до станции регистрации. Если сравнить компоненты акселерограмм, можно отметить, что максимальная амплитуда ускорений 1 группы акселерограмм составляет 169 см/с² и 174 см/с² у 2-й группы. Однако в акселерограмме, смоделированной от «типичного землетрясения №1» имеется пиковое ускорение на радиальной R-компоненте, в отличие от 2-й группы акселерограмм, где максимальные значение акселерограмм получено на тангенциальной T-компоненте.

В моделированных акселерограммах содержится информация не только об ускорениях, но и о скоростях и смещениях почвы, поэтому оценивать параметры движения необходимо в комплексе по ускорениям, скоростям и смещениям.

На рис. 6 приведена диаграмма, которая позволяет оценить параметры сейсмических воздействий одновременно по трем параметрам движения среды по ускорению, скорости и смещению. Результаты измерений динамических параметров по волновым формам можно сравнить с экспериментальными данными, но не для каждого региона есть надежная статистика. В работах [1, 18] приведены некоторые результаты из мирового опыта. Диаграмма ADRS используется в рамках теории спектров упругих реакций [19], которая положена в основу Еврокода 8 (EN 1998-1. 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, BSI.). В строительных нормах СП 14.13330.2018 роль модели спектра упругих реакций выполняет кривая динамичности, которая принимает максимальное значение равное 2,5.

Модель спектра (рис.6) представлена в виде ломанной огибающей кривых, построенных по псевдоспектрам ускорений в зависимости от псевдосмещений с 5% затуханием упругих реакций. В основу графиков положены два комплекта акселерограмм (рис.5). Наибольший интерес представляют максимальные значения спектров ускорений (RSA_{max}), скоростей (RSV_{max}) и смещений (RSD_{max}) по которым можно сравнить прогнозные значения магнитуд и эпицентральных расстояний с экспериментальными значениями, полученными по мировым данным. Периоды T_1 и T_2 определяют границы столбовидной части спектра скорости, квадрат которой пропорционален кинетической энергии передаваемой от грунта к основанию здания.

Пиковые ускорения (PGA), скорости (PGV) и смещения (PGD) временных волновых форм сейсмических воздействий определяются приблизительно из модели, ограничивающей внутреннюю часть кривых на рис.6. Пиковые

значения используются для примерной оценки макросейсмического эффекта на площадке строительства по Шкале сейсмической интенсивности (ГОСТ Р 57546 2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности». Национальный стандарт РФ, 2017. 32 с.). Из рисунка 6 приближенно определены значения $PGA=170$ см/с², $PGV=30$ см/с, $PGD=5$ см. Согласно ГОСТ Р 57546 2017, полученные значения соответствуют расчетной интенсивности от 7,0 до 7,5 балла по PGA, от 7,5 до 8,0 балла – по PGV и от 7,0 до 7,5 балла – по PGD. Эти значения хорошо согласуются с расчетной интенсивностью $IR=7.38$ для площадки строительства.

Расчетное значение кривой динамичности, определенное как частное от деления RS_{Amax} и PGA составляет около 2,8, что выше значения, определенного в СП 14.13330.2018. Эмпирический уровень нормированной спектральной кривой при 5% затухании для горизонтальных компонент для всех типов грунтов, рассматриваемых совместно, в среднем равен $3.5 \pm 0.20\%$ [20]. Полученные нами значения коэффициента динамичности составляют от 2,7 до 4,0 при длительности основной фазы колебаний до 10 с, хорошо согласуется с формулой Ф.Ф. Аптикаева по большому числу экспериментальных данных [21].

Наиболее опасными для рассматриваемого объекта строительства являются периоды от 0,8 с (1,25 Гц) до 2 с (0,5 Гц), при которых с увеличением ускорений увеличиваются смещения.

Остаточные смещения в данной модели спектра упругой реакции отсутствуют, из-за удаленности от зоны генерации землетрясений, но при сейсмических воздействиях более 7-8 баллов непосредственно в эпицентральной зоне (на расстояниях до 15 км от очага) должны быть учтены путем интеграции в акселерограммы модели ступеньки смещения [22].

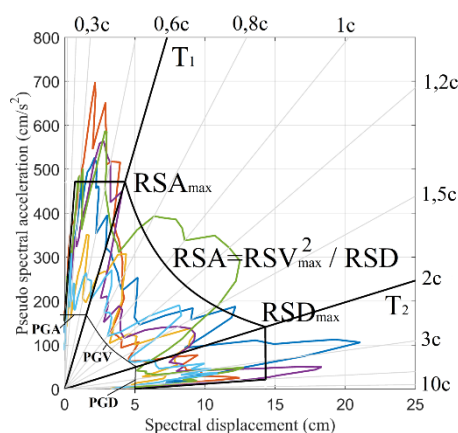


Рис.6. Диаграмма ADRS для акселерограмм, рассчитанных для площадки Кукольного театра г.Симферополь.

Fig.6. Chart of the ADRS for accelerograms calculated for the Puppet theater in Simferopol.

Для выявления общих свойств или различий в частотном диапазоне максимальных значений энергии волн, подходящих к объекту, по методике [13] были построены энергетические спектры акселерограмм (рис. 7).

Все энергетические спектры имеют резонансную форму максимума. Если обратить внимание на ширину спектра, можно легко заметить, ширина энергетических спектров акселерограмм из очаговых зон №1 и №2 несколько различны.

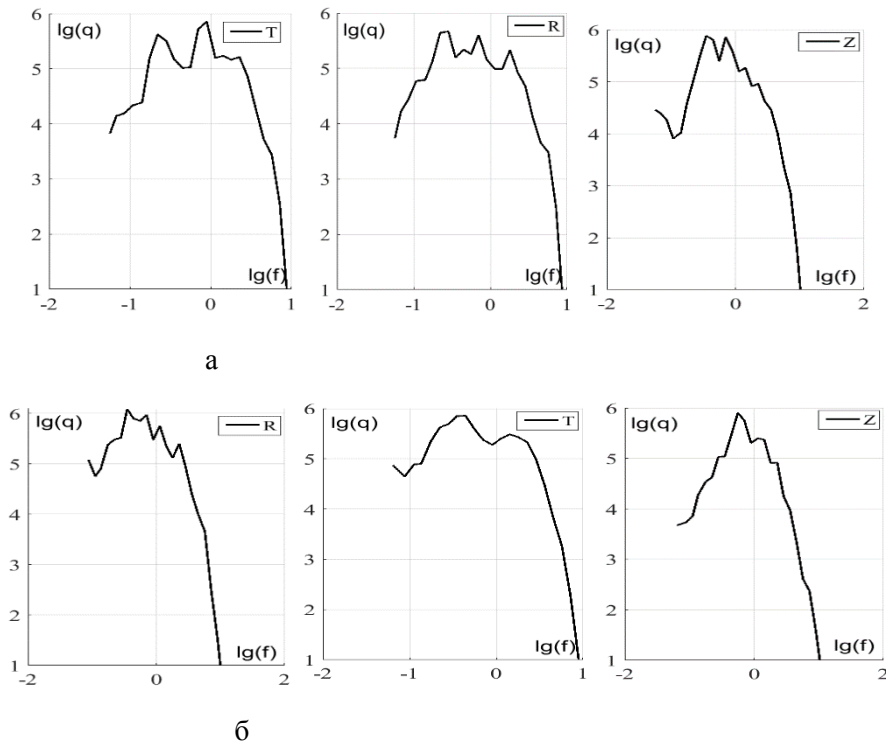


Рис.7. Энергетические спектры акселерограмм прогнозируемой интенсивности $I_R = 7.38$ балла на площадке строительства от землетрясений из сейсмогенерирующих он разломов: а-Демерджинского; б- Южнобережного.

Fig.7. The energy spectra of accelerograms of the predicted intensity $I_R = 7.38$ points at the construction site due at the construction site due a – Demerdzhinsky; b- South Coast.

Таблица 1. Характеристики энергетических спектров акселерограмм.

Table 1. Characteristics of energy spectra of accelerograms.

№ з-тр.	$F_{qmax}, Гц$			$\delta f_q (f_1 - f_2), Гц$		
	R	T	Z	R	T	Z
1	0,28	0,89	0,35	0,2-0,31	0,7-1	0,32-0,9
2	0,35	0,45	0,56	0,3-0,8	0,22-0,56	0,44-0,8

Вероятнее всего, это связано с пространственной локализацией очагов «типичных землетрясений». «Типичное землетрясение №1» расположено на материковой части Крымского полуострова, очаг 2-го землетрясения расположен в море на удалении от объекта почти в 2 раза. Так же данное отличие повлияло на частоту максимальных значений энергии (табл. 1).

Энергетические спектры акселерограмм №1 имеют максимумы на частотах 0.25-0.35 Гц. Отклоняющаяся от нормы частота максимума Т-компоненты связана с двугорбой формой спектра. Максимальные значения энергетического уровня, у акселерограмм №2, расположены в более высокочастотном диапазоне 0.35-0.56 Гц. Так же можно отметить, что спектры данной группы имеют более пикообразную форму максимума.

Распределение преобладающих частот в амплитудном спектре в зависимости от времени принято находить с помощью спектрально-временного анализа реакций (СВАР). Результатом СВАР является спектральная плотность как функция двух координат – частоты (или периода) и времени. Графически такую поверхность удобно представлять в виде изолиний поверхности равных аппликат. Практически такие же функции выполняют так называемые спектрограммы, которые представлены в математической компьютерной системе MATLAB специальным оператором [23]. На рис. 10 показан пример спектрограмм рассчитанных ускорений для "типичного" землетрясения 13 мая 2016 г. В качестве фильтра здесь использовано окно Кайзера

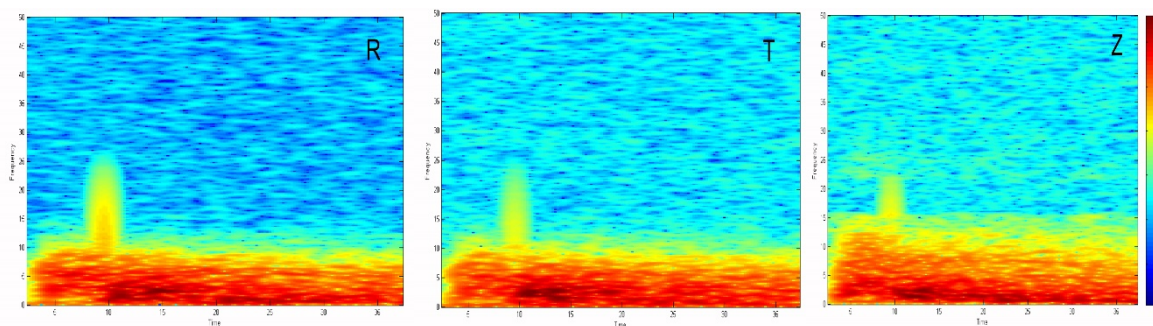


Рис. 8. Пример спектрограмм расчетных ускорений на площадке строительства от землетрясений из зоны Демерджинского разлома. Справа в столбце показаны нормированные величины плотностей спектральных амплитуд. Максимальные значения окрашены в темно-красный цвет.

Fig.8. An example of spectrograms of calculated accelerations at the construction site due to earthquakes from the Demerdzhinsky fault zone. The right column shows the normalized values of the densities of the spectral amplitudes. The maximum values are colored dark red.

Спектрограммы показывают, что частоты спектральных максимумов на всех 3-х компонентах распределены по оси времени сплошной полосой, плавно спадая от 10 до 18 с (красная полоса на спектрограммах). Ядра максимальных плотностей присутствуют на временах приблизительно от 10 до 15 секунд на частотах менее 0.5-2.5 Гц. Выделяется "горб" в районе 10 с, соответствующий по времени максимуму в смещениях в поперечной волне, который выделяется на общем частотном фоне в интервале от 0 до 25 Гц. На вертикальной компоненте Z максимум спектральной плотности прослеживается от 10 с до 34 с. Это свидетельствует о том, что в вертикальном направлении для данной акселерограммы энергетически значимые амплитуды присутствуют на большем отрезке времени, чем на горизонтальных компонентах. Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что наиболее опасными для объекта нужно считать частоты в интервале 0.5-2.5 Гц, что видно при

анализе энергетических спектров, спектрограмм и диаграмма ADRS.

Грунт во время землетрясения подвергается как горизонтальным, так и крутильным деформациям. В общем случае движение грунта во время землетрясения состоит из 6 компонентов, из которых три компонента вместе будут составлять главный вектор движения, а другие три компонента - главный момент движения. Главный вектор движения составляют расчетные акселерограммы, главный момент движения вычисляется из вектора движения. Крутильные деформации возникают не только в протяженных зданиях и сооружениях с несимметричными распределениями масс и жесткостей, но и в зданиях с небольшими размерами в плане и полным симметричным распределением масс и жесткостей. Из рисунка 9 видно, что горизонтальные компоненты главного вектора движения создают крутильные колебания среды.

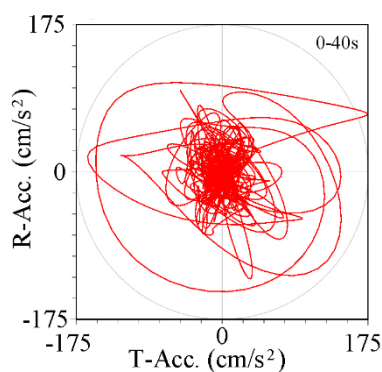


Рис. 9. Движение конца вектора ускорения в проекции на горизонтальную плоскость.

Fig.9. The movement of the end of the acceleration vector in the projection on the horizontal plane.

Этот рисунок показывает, что частицы поверхности при падении сейсмической волны на исследуемую площадку совершают вращательные движения с определенным ускорением, которое может вызвать в конструкции крутильные колебания. Учет таких колебаний при больших крутильных воздействиях необходимо учитывать при проектировании [24].

ВЫВОДЫ

В статье представлены результаты расчетов синтетических акселерограмм для реальной площадки строительства – Крымского государственного центра театрального искусства в г Симферополе АР Крым.

Моделирование основано на методике использования реальных «типичных» сейсмограмм слабых землетрясений из сейсмогенерирующих зон. Сейсмические воздействия от землетрясений, зарегистрированные на ближайшей к объекту сейсмической станции "Симферополь", трансформированы на прогнозные ожидаемые воздействия в соответствии с принципом подобия.

Проведен анализ динамических характеристик расчетных акселерограмм, их энергетических спектров и спектрограмм, соответствия этих данных стандартной кривой динамичности. Ускорения почвы от вероятных сильных землетрясений по времени могут длиться около 40-44 с. Максимальные ускорения довольно быстро затухают, до времен примерно 16 с на акселерограмме от очагов зоны Демержинского разлома и 25 с – от Южнобережного разлома. Максимумы ускорений составляют 169-174 см/с², что соответствуют нормативным величинам для расчетной интенсивности I_R на площадке объекта строительства.

Преобладающие частоты в акселерограммах, которые могут быть опасны для сооружения, находятся в интервале от 0.5 Гц до 2.5 Гц. Максимальный энергетический вклад представляют частоты 0.25-0.35 Гц. Вдоль записи максимальные спектральные плотности присутствуют на временах от 10 с до 18 с (горизонтальные компоненты), от 10 с до 34 с (вертикальная компонента). Расчет кривой динамичности показал их соответствие мировым данным.

Анализ ускорений на горизонтальной поверхности показал, что при падении сейсмической волны на исследуемую площадку могут возникать опасные для объекта крутильные деформации, которые необходимо учитывать при проектировании объекта.

Следует также отметить, что корректность расчета акселерограмм для конкретного объекта строительства или реконструкции связана с качеством проведения инженерно-геологических изысканий (желательно до глубин не менее 30 м или до подошвы коренных пород), детальных исследований по уточнению исходной (нормативной) и определению расчетной сейсмичности с учетом результатов сейсмического микрорайонирования. Как было показано в работе [10] наблюдается значительное различие в спектрах сейсмических колебаний не только при изменении категории грунтов, но и внутри одной категории с разными физико-механическими свойствами грунта внутри каждого слоя и мощности слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий. Задание сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. М.: Наука. 1993. С. 5–94.
2. Раутиан Т.Г. Роль очага и отклика среды в схеме формирования сейсмических колебаний. Инженерно-сейсмические проблемы // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.18. М.: Наука. 1976. С. 3–13.
3. Раутиан Т.Г., Голубятников В.Л., Никифорова М.Н. Изучение характеристики

сейсмических колебаний и методика построения синтетических сейсмограмм сильных землетрясений. Инженерно-сейсмические проблемы // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.18. М.: Наука, 1976. С.15–22.

4. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Генерирование искусственных акселерограмм методом масштабирования реальных записей // Физика Земли. 2002. №7. С. 39–45.

5. Крамынин П.И., Штейнберг В.В. Параметры колебаний плотных грунтов при сильных землетрясениях. Инженерно-сейсмические проблемы // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.18. М.: 1976. 62 с.

6. Кендзера А.В. Способ получения расчетных акселерограмм путем пересчета из сейсмических записей // Геофиз. журнал. 1987. Т.9. №5. С. 75–79.

7. Исичко Е.С. Методика расчета акселерограмм для конкретной строительной площадки // Buletinul Institutului si Seismologie al ASM. №1. 2007. pp. 58–67.

8. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Калинюк И.В., Мержей Е.А. Пустовитенко А.А. Методология и методические основы моделирования сейсмических воздействий на высотные здания в Крыму // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) Вип.73. Київ. ДП НДІБК. 2010. С. 316–323.

9. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Калинюк И.В., Мержей Е.А. Сравнительные характеристики акселерограмм, смоделированных для разных сеймотектонических условий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №6. 2012. С. 20–23.

10. Пустовитенко Б.Г., Калинюк И.В., Мержей Е.А. Моделирование прогнозных воздействий сильных землетрясений Крыма // Строительство и техногенная безопасность. Вып. 35. Симферополь: НАПКС. 2011. С. 104–111.

11. Пустовитенко Б.Г. О подобии очагов слабых и сильных землетрясений Крыма // Сучасні небезпечні процеси. Вплив на довкілля. Нові технології прогнозування та захисту (Матеріали 2-й науково-техніч. конференції). НПЦ «Екологія. Наука, Техніка». Київ. 2004. С. 59–61.

12. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. 1970. 75. No 20. pp. 4997–5009.

13. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев. Наукова думка. 1990. 252 с.

14. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофиз. журнал. №6. Т. 21. 1999. С. 3–15.

15. Ратникова Л.И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. М.: Наука. 1973. 124 с.

16. Thomson W.T. Transmission of elastic waves through a stratified solid medium // *J. Appl. Phys.*, 1950. Vol. 21. No 2. pp.89–93.
17. Haskell N.A. The dispersion of surface waves in multilayered media // *Bull. Seismol. Soc. America*. 1953. Vol. 43. No 1. pp. 17–34.
18. Lam, N., Wilson, J. Displacement modelling of intraplate earthquakes. ISET // *Journal of Earthquake Technology*. 2004. Vol. 41(1). pp. 15–52.
19. Newmark N.M., Hall W.J. Earthquake spectra and design. EERI Monograph, Earthquake Engineering Research Institute. 1982. 103 p.
20. Аптикаев Ф.Ф., Михайлова Н.Н., Жунусов Т.Ж. и др. Проект стандарта для интенсивности землетрясения // *Сейсмостойкое строительство. М: ЭИ ВНИИТПИ*. 1996. Вып. 5. С. 12– 20.
21. Перетокин С.А. Некоторые аспекты вероятностной оценки сейсмической опасности с использованием эмпирических зависимостей // *Инженерные изыскания*. 2016. №7. С. 39–47.
22. Калинин И.В., Ярошенко А.А., Панков Ф.Н., Бойко В.А. Определение максимальных остаточных смещений по записям велосиметров. Часть 2. Методы и результаты оценки остаточных смещений // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2018. Т. 45. № 4. С. 95–105.
23. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб. Питер. 2002. 608 с.
24. Хачиян Э. Прикладная сейсмология. Изд. ГИТУТЮН. НАН Республики Армения. 2008. 491 с.
7. Ishiko E.S. Method of calculating accelerograms for the construction site // *Buletinul Institutului si Seismologie al ASM*. №1. 2007. p. 58–67. (In Russian)
8. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Kalinyuk I.V., Merzhey E.A. Pustovitenko A.A. Methodology and methodological principles for modeling seismic effects on high-rise buildings in the Crimea // *Budivel'ni konstrukcii: Mizhvidomchij naukovotekhnichnij zbirnik naukovih prac' (budivnictvo)*. Kiev: DP NDIBK 2010. pp 316-323. (In Russian)
9. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Kalinyuk I.V., Merzhey E.A. Comparative characteristics of accelerograms modeled for different seimotectonic conditions // *Bezopasnost' sooruzhenij*. 2012. N 6. pp 20-23. (In Russian)
10. Pustovitenko B.G., Kalinyuk I.V., Merzhey E.A. Simulation of predicted effects of strong earthquakes in Crimea // *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. Simferopol: NAPKS. 2011. N 35. pp 104-111.
11. Pustovitenko B.G. On the similarity of foci of weak and strong earthquakes of the Crimea // *Suchasni nebezpechni procesi. Vpliv na dovkilliya. Novi tekhnologii prognozuvannya ta zahistu (Materiali 2-j naukovotekhnich. konferencii.)*. Kiev: NPC «Ekologiya. Nauka, Tekhnika». 2004. pp. 59-61. (In Russian)
12. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // *J. Geophys. Res.* 1970. 75. No 20. pp. 4997–5009.
13. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletryasenij Kryma. [Spectral and focal parameters of earthquakes of the Crimea]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990. 251 p. (In Russian)
14. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Borisenko L.S., Porechnova E.I. General seismic zoning of the territory of Crimea (OSR-98). // *Geofizicheskij zhurnal*. N 6(21). 1999. pp. 3–15.
15. Ratnikova L.I. Methods for calculating seismic waves in thin-layered media. Moscow: Nauka. 1973. 124 p. (In Russian)
16. Thomson W.T. Transmission of elastic waves through a stratified solid medium // *J. Appl. Phys.*, 1950. Vol. 21. No 2. pp.89–93.
17. Haskell N.A. The dispersion of surface waves in multilayered media // *Bull. Seismol. Soc. America*. 1953. Vol. 43. No 1. pp. 17–34.
18. Lam, N., Wilson, J. Displacement modelling of intraplate earthquakes. ISET // *Journal of Earthquake Technology*. 2004. Vol. 41(1). pp. 15–52.
19. Newmark N.M., Hall W.J. Earthquake spectra and design. EERI Monograph, Earthquake Engineering Research Institute. 1982. 103 p.
20. Аптикаев Ф.Ф., Михайлова Н.Н., Жунусов Т.Ж. et al. Draft standard for earthquake intensity // *Seysmostoykoye stroitel'stvo*. M: EI VNIINTPI. 1996. N 5. pp. 12– 20.
21. Peretokin S.A. Some aspects of the probabilistic seismic hazard assessment using

REFERENCES

empirical dependencies // Inzhenernyye izyskaniya. 2016. N 7. pp. 39–47.

22. Kalinyuk I.V., Yaroshenko A.A., Pankov F.N., Boyko V.A. Determination of the maximum residual displacement from the records of velocimeters. Part 2. Methods and results of residual bias estimation // Voprosy inzhenernoy seysmologii. 2018. N 4(45). pp. 95–105.

23. Dyakonov V., Abramenkova I. MATLAB. Signal and image processing. Special handbook. SPb. Piter. 2002. 608 p.

24. Khachiyani E. Applied seismology. Izd. GITUTYUN. NAN Respubliki Armeniya. 2008. 491 p.

FEATURES OF THE GENERATION OF THE ACSELEROGRAMS OF STRONG SEISMIC MOVEMENTS OF THE SOIL FOR ENGINEERING CALCULATIONS OF DESIGNED CONSTRUCTION OBJECTS IN THE CRIMEA

Pustovitenko B.G. , Kalinyuk I.V., Kulchitsky V.E., Eredzhepov E.E.

Summary The scheme of the step-by-step solution of the problem of generating accelerograms of strong ground movements in the Crimea is presented on the example of the projected construction site of the Crimea State Center for Children's Theatrical Art in Simferopol. An accelerogram modeling method based on the similarity of the statistical properties of weak and strong local earthquakes has been applied. The dependences of dynamic and spectral characteristics of seismic waves, as well as foci of earthquakes of the Crimea on the energy level are used. Based on the fractal properties of seismic processes, the law of similarity of their characteristics is postulated. Extrapolation of dependencies to large magnitudes allows you to create a "image" of the synthesized accelerogram of a strong earthquake. The basis for the calculations were seismograms of the Simferopol seismic station of earthquakes with magnitudes $M_w = 2.8-3.5$, which occurred in the nearest Crimea's seismic-generating structures at distances of 30 and 58 km from the construction object. Spectral, spectral-temporal and energy analysis of accelerograms was carried out. The intervals of the spectral characteristics that represent the greatest danger to the structure were obtained.

Subject of study. Seismic effects of strong earthquakes on buildings and structures.

Materials and methods. Records of real "typical" seismograms of local earthquakes, a seismological database, a calculated intensity value taking into account seismic microzoning for a repeatability period of $T = 500$ years and peak acceleration, a model of the structure of the medium under the construction site. The author uses the regional accelerogram modeling method.

Results. A set of accelerograms of strong seismic soil motions for predicted seismic impacts at the construction site in the city of Simferopol was obtained. The intervals of amplitudes and frequencies that are dangerous to the building are presented. The set of calculated accelerograms is the basis for the calculation of seismic loads using the direct dynamic method when designing a building.

Findings. The used method of generating synthetic accelerograms, unlike other methods, most adequately reflects the actual process of soil movement when a seismic wave is generated on the surface generated by a strong earthquake. The "image" of the calculated accelerograms rather fully imitates the real picture of the seismic impact on the construction site of the object from the maximum earthquakes of the Crimea. It is shown that soil particles also make rotational motions when a seismic wave falls on a platform and can cause torsional deformations in the structure, which must be taken into account when performing design work.

Key words. Accelerogram, seismic effects, spectrum, earthquake, earthquake resistant construction.

УДК 004.457; 621.383

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МОДУЛЕЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНЕЧНО-
ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗАВ.А. Панченко^{1,2}, С.П. Чирский³¹Российский университет транспорта (МИИТ), 127994, г. Москва, ул. Образцова, tu@miit.ru²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, vim@vim.ru³Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, bauman@bmstu.ru

Аннотация. В статье рассматривается моделирование солнечных теплофотоэлектрических модулей планарной и концентраторной конструкции в системах автоматизированного проектирования КОМПАС 3D и конечно-элементного анализа Ansys. С целью создания методики проектирования и моделирования такого рода солнечных модулей проанализированы различные их конструктивные особенности. Для создания основных четырёх моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей с различными освещаемыми сторонами и сторонами теплосъёма разработана методика проектирования их трёхмерных моделей в системе автоматизированного проектирования. Созданные трёхмерные модели сборок солнечных теплофотоэлектрических модулей в дальнейшем могут проходить различные испытания в системах конечно-элементного анализа с целью оптимизации конструкции и уточнения различных эксплуатационных параметров. Для исследования тепловых режимов созданных трёхмерных моделей разработана методика визуализации тепловых процессов, скорости теплоносителя и линий течения охлаждающего агента в системе конечно-элементного анализа. Разработанная методика позволяет учитывать послойную структуру солнечных теплофотоэлектрических модулей (компонентов, входящих в состав), где каждый элемент имеет свои физические и геометрические свойства и влияет на тепловые процессы, происходящие в самом модуле. В результате расчётов в программном комплексе конечно-элементного анализа по разработанной методике можно делать выводы о целесообразности созданной конструкции с дальнейшим её редактированием (изменением толщин компонентов, расхода теплоносителя и т.д.), визуализировать тепловые поля и линии тока охлаждающего радиатора агента. В качестве иллюстрации результатов проектирования по разработанной методике представлены трёхмерная модель и сборочный чертёж теплофотоэлектрической планарной кровельной панели, тепловое состояние которой моделировалось в системе конечно-элементного анализа согласно разработанной методике. Наряду с методикой, учитывающей послойную структуру модуля, разработана методика для экспресс-оценки теплового состояния охлаждающих солнечные элементы радиаторов, где учитываются физические и геометрические свойства исключительно радиатора с теплоносителем. В качестве реализации методики экспресс-оценки теплового состояния представлен оптимизированный радиатор концентраторного солнечного теплофотоэлектрического модуля.

Объект исследования: тепловое состояние солнечных теплофотоэлектрических модулей планарной и концентраторной конструкции, визуализируемое с помощью системы конечно-элементного анализа.

Предмет исследования: конструкция солнечных теплофотоэлектрических модулей, которая разрабатывается и моделируется с помощью систем автоматизированного проектирования и конечно-элементного анализа.

Материалы и методы: при создании методик, моделировании и оптимизации конструкций солнечных теплофотоэлектрических модулей применялись система автоматизированного проектирования КОМПАС 3D и система конечно-элементного анализа ANSYS.

Результаты: результатом исследований являются созданные методики с помощью которых проектируются и исследуются тепловые процессы трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей планарной и концентраторной конструкции.

Выводы: при использовании разработанных методик моделирования и исследования трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей появляется возможность тонкой послойной оптимизации конструкций таких модулей с получением оптимизированной конструкции солнечного теплофотоэлектрического модуля, который позволит наряду с электроэнергией получать тепловую энергию на выходе за счёт её отбора от солнечных элементов, повышая таким образом их эффективность, и общую эффективность модуля, которая включает в себя электрическую и тепловую составляющие.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, система конечно-элементного анализа, трёхмерная модель, солнечный теплофотоэлектрический модуль, КОМПАС 3D, ANSYS.

ВВЕДЕНИЕ

Принцип создания единого устройства, обеспечивающего одновременную выработку электрической и тепловой энергии, представляет собой создание теплофотоэлектрического модуля (ТФЭМ) [1], когда структура такого модуля обеспечивается путём размещения солнечных элементов на нагреваемой поглощающей поверхности плоского солнечного коллектора. Абсорбер в такой конструкции выполняет двойную функцию – во-первых, он охлаждает фотоэлектрическую панель, удаляя избыточную энергию, которая не участвует в выработке электроэнергии, тем самым повышая её эффективность, а во-вторых, производит тепловую энергию. Такого рода теплофотоэлектрические модули могут использоваться как для автономного, так и параллельного с сетью энергоснабжения объектов [2, 3, 4].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Публикации, в которых рассматриваются давно известные коллектора [5, 6] и фотоэлектрические солнечные элементы [7, 8] широко распространены. История же развития такого класса устройств, как теплофотоэлектрические солнечные модули, насчитывает несколько десятилетий, где показано, что такая комбинированная система является многообещающей конструкцией для дальнейшего развития. В работах [9, 10] авторы изучали модули, которые нагревают воду и воздух, определили ключевые концепции и основные приоритеты развития когенерационных систем этого типа. Повышение эффективности теплового преобразования солнечной радиации предполагает высокую рабочую температуру, которая в то же время уменьшает эффективность фотоэлектрического преобразования. Неудивительно, что в рассмотренных работах обращается внимание на развитие оптимальной конструкции теплогенерирующей части ТФЭМ, поскольку оптимальная конструкция такого модуля обеспечит высокую эффективность фотоэлектрической установки и высокую выходную тепловую мощность.

В экспериментальных исследованиях [11, 12, 13] показано, что общая эффективность комбинированного модуля больше, чем эффективность обычной солнечной панели, где суточная тепловая эффективность составила 50,1%, а общая эффективность разработанного модуля превысила 73%. При усовершенствовании конструкции теплофотоэлектрического модуля [14], где абсорбер изготовлен в виде прямоугольника в сечении, возможно изготовление абсорбера в виде V-образного треугольника, который представлен в [15], благодаря чему уменьшаются тепловые потери и улучшается отбор теплоты. В работе [16] представлен

теплофотоэлектрический модуль с трубчатым теплообменником, где максимальная эффективность жидкостного солнечного коллектора в составе установки составила 48% при выключенных фотоэлектрических преобразователях, а при одновременном производстве электрической и тепловой энергии его значение снизилось до 42%. В работе [17] рассмотрен плоский фотоэлектрический тепловой коллектор, в котором приёмником излучения является светопоглощающая пластина с фотоэлектрическими элементами, а под этой пластиной находятся трубки с циркулирующим теплоносителем. Исследования [18] показали большую эффективность теплофотоэлектрического модуля с прямоугольными каналами теплоносителя по сравнению с модулем с трубчато-листовым теплообменником. К недостаткам фотоэлектрических тепловых модулей с трубчатыми теплообменниками можно отнести низкую эффективность передачи тепловой энергии за счёт недостаточного теплового контакта абсорбера и подложки фотоэлектрических элементов. Для решения этой проблемы представлен фотоэлектрический тепловой модуль, в котором фотоприёмник механически прижат к тепловому коллектору без помощи какого-либо монтажного клея. В сравнении с фотоэлектрическим тепловым коллектором с трубчатым радиатором данное техническое решение обеспечивает лучший тепловой контакт между фотоприёмником и теплообменником, что повышает эффективность преобразования солнечной энергии, однако реализовать такое решение проблематично из-за хрупкости фотоэлектрических преобразователей и необходимости герметика для сохранения высоких электрических характеристик.

На сегодняшний день одной из самых совершенных конструкций с точки зрения оптимизации, являются модули компаний Solimpeks [19] и Sunsystem [20], которые производят теплофотоэлектрические модули с трубчатым теплообменником. Однако даже серийно изготавливаемые модули отличаются большой материалоемкостью, массой и, соответственно, стоимостью. К тому же модули выполняются в двух вариантах для различного назначения – максимальной электрической эффективности и максимальной тепловой эффективности, что позволяет усомниться в универсальности данной разработки, так как в любом случае происходит уменьшение одной из составляющих энергоснабжения. Также стоит вопрос срока службы электрической части модуля на уровне номинальной мощности, уровень которой с годами падает.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

ТФЭМ могут быть классифицированы по различным признакам, таким как: тип используемых солнечных элементов (монокристаллический, поликристаллический или аморфный кремний, тонкие пленки и т. д.), застеклённый или незастеклённый модуль, тип охлаждающей жидкости (вода, гликоль или воздух), наличие концентратора и т. д. На практике наиболее распространены воздушные и водяные ТФЭМ, которые могут использоваться для подачи горячей воды и которые создаются на основе солнечного коллектора, который дополняется солнечными элементами, размещёнными на поверхности абсорбера. ТФЭМ с концентраторами также представляют интерес, поскольку они помогают сократить количество дорогостоящих солнечных элементов и повысить их эффективность. Лучшие результаты демонстрируют ТФЭМ с одинарным остеклением, где плотность выходного излучения ниже, чем у открытой конструкции.

Из вышеприведённого обзора и исследований [1, 21] можно изобразить обобщающие конструкции ТФЭМ (рис. 1), где а) – ТФЭМ с абсорбером типа "металлический лист- труба"; б) – ТФЭМ с абсорбером в канале для жидкости над фотоэлектрической панелью; с) – ТФЭМ с абсорбером в виде канала для жидкости под фотоэлектрической панелью; d) – ТФЭМ абсорбер с прямоугольными каналами; е) – ТФЭМ с абсорбером в канале, частично заполненным жидкостью и расположенным над фотоэлектрической панелью; f) – ТФЭМ с двойным абсорбером и воздушным зазором. У приведённых конструкций ТФЭМ общие элементы: 1 – прозрачное покрытие; 2 – воздух; 3 – фотоэлектрическая панель; 4 – теплопроводящий электроизоляционный фиксирующий (адгезионный) материал; 5 – тепловой абсорбер; 6 – теплоноситель (жидкость); 7 – изоляционный материал; 8 – испаряющаяся жидкость.

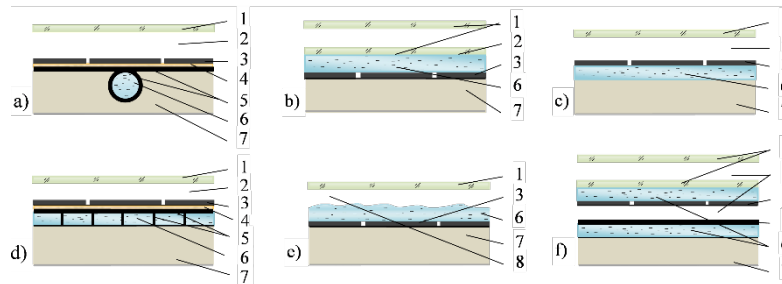


Рис. 1. Наиболее распространенные конструкции ТФЭМ [1, 21]

Fig. 1. The most common designs of solar photovoltaic thermal solar modules [1, 21]

ТФЭМ с абсорбером "металлический лист-труба" является традиционный солнечный коллектор, на рабочей поверхности которого размещена фотоэлектрическая панель (рис. 1а). При дополнительном прозрачном теплоизолирующем покрытии увеличивается отражение солнечной радиации, уменьшаются потери тепла от рабочей стороны солнечного элемента, что приводит к ухудшению выработки электроэнергии. ТФЭМ с абсорбером в виде канала представляет собой канал с жидкостью (водой), примыкающей к фотоэлектрической панели спереди или сзади. Если канал с жидкостью находится перед рабочей поверхностью солнечного элемента (лицевая сторона), то жидкость поглощает часть солнечной радиации, которая проходит через неё, и таким образом является частью абсорбера. Преимуществом такой конструкции по сравнению с конструкцией типа "металлический лист-труба" является равномерное рассеивание солнечной энергии. Конструкция ТФЭМ может иметь и другую конфигурацию с каналом для удаления тепла, расположенным за фотоэлектрической панелью (рис. 1с), то есть примыкать к задней стороне солнечного элемента.

На рис. 1d абсорбер состоит из множества вертикальных прямоугольных каналов, которые расположены за фотоэлектрической панелью. Такая структура образует рёбра-абсорберы, которые увеличивают площадь поверхности для удаления тепла жидкостью, тем самым увеличивая теплоотвод.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате анализа литературы и проведённых исследований можно сделать вывод, что приёмники солнечных теплофотоэлектрических модулей планарных и концентраторных установок могут иметь различную конструкцию, однако следует отметить, что конструктивные компоненты, применяемые в таких модулях, имеют принципиально схожую структуру. Конструкции таких модулей отличаются сложностью, однако в большинстве вариантов сложность конструкции позволяет добиться максимальной эффективности модуля, которая суммируется из эффективностей электрической части и тепловой, вклад которых в

общую эффективность можно варьировать в зависимости от необходимости, однако зачастую при увеличении электрической эффективности уменьшается тепловая и наоборот. Основной задачей современных исследований является поиск оптимального варианта конструкции, при котором общая эффективность модуля будет максимальной.

Для осуществления таких поисковых задач необходимо создание методики, которая позволяла бы на первоначальном этапе создавать такие солнечные теплофотоэлектрические модули различной конструкции в системе автоматизированного проектирования в виде трёхмерных моделей, после создания которых, такие модели подлежали бы детальному исследованию тепловых процессов, происходящих в них. Для этой задачи также необходима методика расчёта, в которой описана последовательность таких тепловых расчётов и визуализаций тепловых процессов в системе конечно-элементного анализа, происходящих в модуле при различных условиях. Результатом моделирования является создание оптимизированной модели солнечного теплофотоэлектрического модуля, который рекомендуется к прототипированию.

Трёхмерное моделирование солнечных теплофотоэлектрических модулей в системе автоматизированного проектирования

В качестве инструмента создания двумерных и трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей, следует отметить системы автоматизированного проектирования, например, программный комплекс компании Аскон – КОМПАС 3D [22], который уже в течение нескольких десятилетий зарекомендовал себя как достойный отечественный инструмент трёхмерного проектирования с полным соответствием единому стандарту конструкторской документации Российской Федерации.

В рассматриваемой методике создания моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей разрабатываются конструкции модулей стационарной и мобильной энергогенерации, основными отличиями конструкций которых являются размеры солнечных элементов, количество освещаемых сторон солнечных элементов (одно- и двусторонние) и размеры полостей радиатора из-за различного солнечного

потока на лучевоспринимающую поверхность (указанные размеры оптимизируются в программном комплексе конечно-элементного анализа Ansys [23]). Основной же задачей разрабатываемой методики является создание моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей стационарной и мобильной энергогенерации, последовательность выполнения которой будет универсальна для создания широкого спектра таких модулей для различного назначения и различных требований. Разрабатываемая методика создаётся для двух типов солнечных теплофотоэлектрических модулей, которые используются в планарных и концентраторных системах.

Первым типом солнечного теплофотоэлектрического модуля для использования в концентраторной системе является солнечный модуль с двусторонней лучевоспринимающей поверхностью. Количество компонентов, применяемых в таком типе модулей, ограничено необходимостью обеспечения прозрачности обеих лучевоспринимающих сторон модуля в спектре солнечного излучения, в котором солнечный элемент генерирует электричество.

Вторым типом солнечного теплофотоэлектрического модуля для использования в планарной системе является солнечный модуль с односторонней лучевоспринимающей стороной. В таком типе модуля количество применяемых компонентов может быть расширено и конструкции усложнены (рис. 2).

Оба типа приёмников теплофотоэлектрических солнечных модулей также подразделяются по типу охлаждения лучевоспринимающей стороны приёмника (теплосъём) – лицевой, тыловой, двусторонний. В зависимости от лучевоспринимающих сторон и типа теплосъёма создание модуля происходит по одной из четырёх моделей (рис. 2).

Разработанная методика создания моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей стационарной и мобильной энергогенерации позволяет создавать модели фотоприёмников с:

- односторонними солнечными элементами и лицевым теплосъёмом (Модель 1, рис. 3);
- односторонними солнечными элементами и тыловым теплосъёмом (Модель 2, рис. 4);
- односторонними солнечными элементами и двусторонним теплосъёмом (Модель 3, рис. 5);
- двусторонними солнечными элементами [24] и двусторонним теплосъёмом (Модель 4, рис. 6).

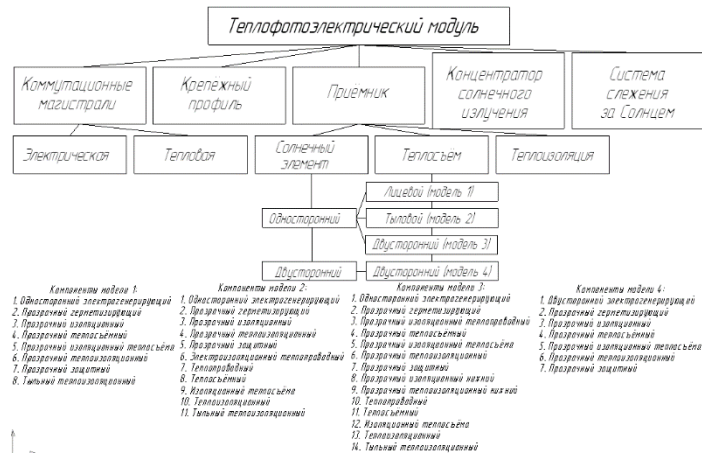


Рис. 2. Методика создания трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей с различными лучевоспринимающими сторонами и типами теплосъёма (4 модели модулей)

Fig. 2. Method of creating three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules with different ray-sensing sides and types of heat removal (4 models of modules)

Наибольшее применение в качестве электрогенерирующего компонента разработанных моделей (рис. 2) находят кремниевые солнечные односторонние элементы с одно- и двусторонней контактной сеткой. Размеры таких солнечных элементов составляют 125 мм и 156 мм, изготавливаются они в форме квадрата и псевдоквадрата. Такие элементы взяты за основу солнечных теплофотоэлектрических модулей с односторонней засветкой (модель 1, 2 и 3, рис. 2).

Стоит отметить, что в качестве герметизирующего компонента в сборочной единице солнечного теплофотоэлектрического модуля может применяться полисилоксановый компаунд, который увеличивает срок номинальной работы солнечных элементов, оптически прозрачен, что увеличивает

эффективность солнечных элементов по сравнению с этиленвинилацетатной плёнкой и может использоваться в системах с концентраторами, причём эффективность работы солнечных элементов не снижается как при большой положительной, так и большой отрицательной температуре [25, 26].

Согласно разработанной методике, при моделировании компонентов, входящих в состав приёмника с односторонним солнечным элементом и лицевым теплосъёмом, образуется сборка трёхмерной модели 1 (рис. 3). Большинство компонентов модели 1 должны быть оптически прозрачны, в том числе и теплосъёмный компонент (рис. 2), который может быть как жидкостью, так и газом.

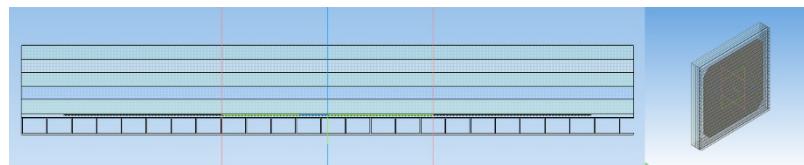


Рис. 3. Трёхмерная модель приёмника с односторонним солнечным элементом и лицевым теплосъёмом (модель 1)

Fig. 3. Three-dimensional model of the receiver with a one-sided solar cell and front heat removal (model 1)

В процессе создания всех трёхмерных компонентов, входящих в модель 2 с односторонним солнечным элементом и тыловым теплосъёмом, образуется сборочная единица в виде солнечного теплофотоэлектрического модуля (рис.

4). Из-за тылового теплосъёма качество теплоизоляции можно улучшить, используя потенциально большее количество компонентов вне зависимости от их прозрачности.

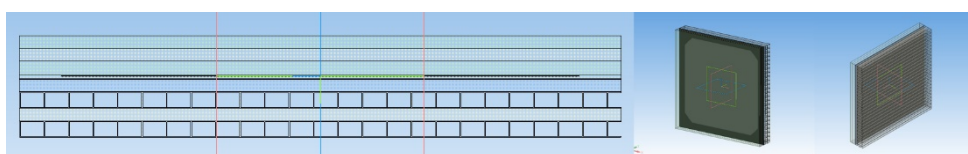


Рис. 4. Трёхмерная модель приёмника с односторонним солнечным элементом и тыловым теплосъёмом (модель 2)

Fig. 4. Three-dimensional model of a receiver with a one-sided solar cell and a rear heat removal (model 2)

В процессе создания всех трёхмерных компонентов, входящих в модель 3 с односторонним солнечным элементом и двусторонним теплосъёмом, образуется сборочная единица в виде солнечного теплофотоэлектрического модуля (рис. 5). Эта

модель сочетает в себе компоненты, используемые при создании модели 1 и модели 2, таким образом, конструкция усложняется, но одновременно появляется возможность более тонкой оптимизации охлаждения двух сторон солнечного элемента.

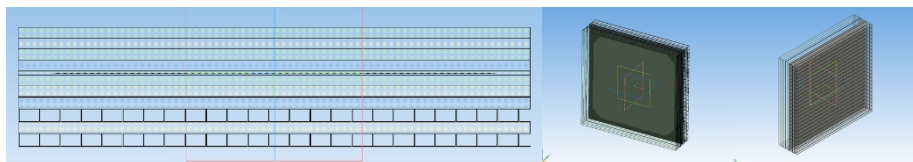


Рис. 5. Трёхмерная модель приёмника с односторонним солнечным элементом и двусторонним теплосъёмом (модель 3)

Fig. 5. Three-dimensional model of the receiver with a unilateral solar cell and two-sided heat removal (model 3)

Для реализации модели 4 в качестве двустороннего солнечного элемента принимаются высоковольтные солнечные элементы с увеличенной электрической эффективностью по сравнению со стандартными планарными кремниевыми солнечными элементами, используемыми без концентраторов [24]. Наряду с повышением эффективности до 28 % увеличивается и срок номинальной мощности солнечных элементов благодаря применению двухкомпонентного полисилоксанового компаунда. Такой высокой эффективности удаётся добиться при использовании концентраторов солнечного

излучения, при работе с которыми высоковольтные солнечные элементы не ухудшают своих характеристик, а количество кремния солнечного качества, используемого в таких установках, уменьшается.

В процессе создания всех трёхмерных компонентов, входящих в модель 4 с двусторонними солнечными элементами и двусторонним теплосъёмом, образуется сборочная единица в виде солнечного теплофотоэлектрического модуля (рис. 6). Такой солнечный теплофотоэлектрический модуль целесообразно использовать в концентраторной системе с получением тёплой воды на выходе.

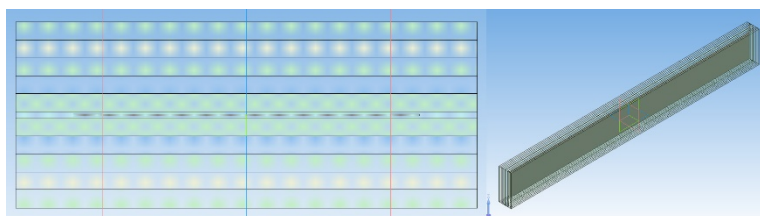


Рис. 6. Трёхмерная модель приёмника с двусторонним солнечным элементом и двусторонним теплосъёмом (модель 4)

Fig. 6. Three-dimensional model of a receiver with a bilateral solar cell and two-sided heat removal (model 4)

В качестве иллюстрации применения разработанной методики создания трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей, разработана модель солнечной теплофотоэлектрической кровельной панели [27] (рис. 7 слева), состоящая из 8 компонентов. Для создания сборки в системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3D созданы 8 компонентов, выполняющих различные функции, в виде отдельных деталей, входящих в состав разрабатываемого модуля. Основным конструкционным элементом является корпус (крепёжный профиль), к которому крепятся остальные компоненты. В качестве охлаждающего агента принята вода, которая омывает

алюминиевый радиатор чёрного цвета. Герметизация солнечных элементов производится с помощью полисилоксанового двухкомпонентного компаунда [25, 26], лицевой тонкой, прозрачной плёнки и чёрной ленты по периметру. Теплоизолирующую область представляет собой воздушная прослойка, которая с лицевой поверхности модуля ограничена оптически прозрачным стеклом. Созданная трёхмерная модель ассоциируется с двумерным чертежом для получения конструкторской документации и последующей отработки технологии изготовления экспериментально модуля (рис. 7 справа).

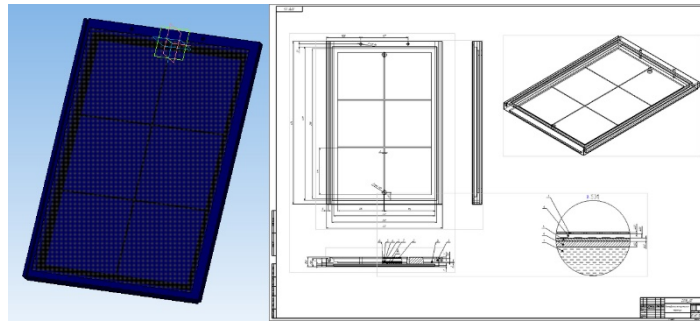


Рис. 7. Трёхмерная модель сборки планарного теплофотоэлектрического солнечного модуля в виде кровельной панели (слева) и её чертёж, полученный с созданной трёхмерной модели сборки (справа)

Fig. 7. Three-dimensional model of the assembly of a planar photovoltaic thermal solar module in the form of a roofing panel (on the left) and its drawing, obtained from the created three-dimensional model of the assembly (on the right)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНАРНОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В СИСТЕМЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Разработанные с помощью созданной методики трёхмерные модели приёмников

солнечных теплофотоэлектрических модулей с послойной структурой планарного и концентраторного типов необходимо испытать в программном комплексе конечно-элементного анализа Ansys [23] для оптимизации конструкции приёмников, в виду чего разработана методика теплового расчёта теплофотоэлектрических солнечных модулей (рис. 8).

1. Обоснование габаритных размеров модуля	11. Настройка трёхмерной модели, свойств материалов каждого из слоёв (компонентов) и граничных условий в модуле «CFX»	21. Настройка торцевых адиабатных поверхностей модуля
2. Разработка двумерных эскизов в системе автоматизированного проектирования	12. Отключение настройки "Constant Domain Physics" для обеспечения доменов жидкости различными свойствами	22. Задание граничного условия типа "Inlet", которое описывает вход охлаждающего агента
3. Создание трёхмерной твердотельной модели в системе автоматизированного проектирования	13. Создание и настройка всех материалов, используемых в исследуемой конструкции	23. Задание граничного условия типа "Opening", описывающее место свободного истечения
4. Сохранение трёхмерной твердотельной модели в формате Parasolid	14. Указание в "Basic Settings" геометрически тел, входящих в домен, определении фазового состояния вещества домена и выбор материала	24. Выбор типа интерфейса "Interface" и включение теплообмена через него
5. Создание проекта в модуле CFX пакета ANSYS Workbench	15. Настройка в "Solid Models" способ взаимодействия домена с другими доменами	25. Настройка источника теплоты
6. Открытие трёхмерной модели в модуле "Geometry" ANSYS Workbench	16. Выбор из списка "Heat Transfer", "Option" пункт "Thermal Energy", что позволяет домену обмениваться теплом с другими доменами	26. Задание максимального количества итераций в "Solver Control" в "Max. Iterations"
7. Создание расчёта с помощью "Import External Geometry File..."	17. Во вкладке "Initialization" настройка начального состояния системы (начальная температура)	27. Запуск расчёта в разделе "Solution" модуля "CFX"
8. Настройка и построение сетки конечных элементов в модуле "Mesh"	18. Во вкладке "Solver Control" настройка решателя	28. Просмотр результатов в разделе "Results" модуля "CFX"
9. Выбор типа решаемой задачи CFD и используемого решателя CFX	19. Настройка интерфейса типа "Symmetry"	29. Отображение эпюр скоростей, давлений, температур и т.п.
10. Задание размеров конечных элементов с помощью разбиений различных сторон слоёв	20. Настройка внешних верхней и нижней поверхности модуля	30. Построение линий тока жидкостей и газов

Рис. 8. Методика визуализации тепловых режимов работы созданных трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей с послойной структурой компонентов

Fig. 8. Method of visualization of thermal modes of operation of the created three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules with a layered structure of components

В качестве реализации методики рассмотрен процесс моделирования теплового состояния солнечного теплофотоэлектрического модуля в

виде кровельной панели (рис. 7). Названия слоёв (компонентов на рис. 2), их материалы и свойства перечислены в таблице 1.

Таблица 1. Толщины слоёв, материалы и их свойства (сверху вниз, прозрачная сторона модуля расположена сверху)

Table 1. Layer thicknesses, materials and their properties (from top to bottom, the transparent side of the module is on top)

Название компонента	Толщина, мм	Материал	Теплопров, Вт/м·К	Плот., кг/м ³	Для жидкостей		Теплоёмк., Дж/кг·К	Коэф. темп. расш., 1/К
					Кин. вязк., Па·с	Дин. вязк., м ² /с		
1. Прозрачный защитный <i>glass</i>	4	Стекло	0,937	2530			750	$8,9 \cdot 10^{-6}$
2. Прозрачный теплоизоляционный <i>air</i>	9,5	Воздух Азот при 0 °С	0,0244 $2,43 \cdot 10^{-2}$	1,293 1,21	$17,2 \cdot 10^{-6}$ $16,7 \cdot 10^{-6}$	$13,28 \cdot 10^{-6}$ $13,78 \cdot 10^{-6}$	1005 1051	
3. Прозрачный герметизирующий <i>germ 3</i>	0,1	Полиэтилен PET Стекло	0,14 0,937	1330 2530			1030 750	$60 \cdot 10^{-6}$ $8,6 \cdot 10^{-6}$
4.1. Прозрачный изоляционный ^{*1}	0,4	Бутиловая лента	0,12	920			1950	$110 \cdot 10^{-6}$
4.2. Прозрачный изоляционный ^{*2}	0,23	Полисилоксан PMS	0,167	950			1175	$100 \cdot 10^{-6}$
		Этиленвинилацетат EVA	0,35	931			1400	$180 \cdot 10^{-6}$
		Эпоксидная смола Ероху	0,59	1200			950	$55 \cdot 10^{-6}$
5. Односторонний электрогенерирующий <i>PVe</i>	0,2	Кремний	148	2330			714	$2,54 \cdot 10^{-6}$
6. Электроизоляционный теплопроводный <i>insul</i>	0,2	Полисилоксан PMS	0,167	950			1175	$100 \cdot 10^{-6}$
		Этиленвинилацетат EVA	0,35	931			1400	$180 \cdot 10^{-6}$
		Эпоксидная смола Ероху	0,59	1200			950	$55 \cdot 10^{-6}$
7. Теплопроводный <i>HEx</i>	0,3	Медь	385	8900			383	$16,6 \cdot 10^{-6}$
		Алюминий	230	2700			897	$22,2 \cdot 10^{-6}$
		Полиэтилен	0,14	1330			1030	$60 \cdot 10^{-6}$
8. Теплосъёмный <i>cool</i>	3	Вода	0,569	1000	$1788 \cdot 10^{-6}$	$1,789 \cdot 10^{-6}$	4182	
		Воздух	0,0244	1,293	$17,2 \cdot 10^{-6}$	$13,28 \cdot 10^{-6}$	1005	
		Фреон (газ)	0,0117	4,39	$11,2 \cdot 10^{-6}$	$0,778 \cdot 10^{-6}$	867	
9. Изоляционный теплосъёмка <i>frame 1</i>	3	Полиэтилен	0,14	1330			1030	$60 \cdot 10^{-6}$
		АБС ABS	0,2	1040			1800	$90 \cdot 10^{-6}$
		ПЛА PLA	0,13	1220			1800	$68 \cdot 10^{-6}$
10. Теплоизоляционный <i>gap</i>	4	Воздух	0,0244	1,293	$17,2 \cdot 10^{-6}$	$13,28 \cdot 10^{-6}$	1005	
11. Тыльный теплоизоляционный <i>frame 2</i>	3	Полиэтилен	0,14	1330			1030	$60 \cdot 10^{-6}$
		АБС ABS	0,2	1040			1800	$90 \cdot 10^{-6}$
		ПЛА PLA	0,13	1220			1800	$68 \cdot 10^{-6}$

При последовательном выполнении разработанной методики, представленной на рис. 8, появляется возможность вывода результатов моделирования в виде визуализации линий тока теплоносителя и суммарной скорости охлаждающего агента (рис. 9 сверху). В качестве теплоносителя принята вода с расходом 0,17 кг/с. Приведённые результаты характерны только для вышеуказанного расхода и заданного теплоносителя, хотя визуализация также проводилась при различных расходах, теплоносителях (воздух, вода) и толщинах компонентов. На рис. 9 представлена одна часть

симметричной модели планарной теплофотоэлектрической кровельной панели. Наряду с визуализацией линий тока и его суммарной скорости на рис. 9 посередине представлены распределения температур охлаждающего агента (воды) и электрогенерирующего компонента (солнечные элементы). Также на рис. 9 снизу представлены визуализации температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа охлаждающего агента и в зоне его выхода.

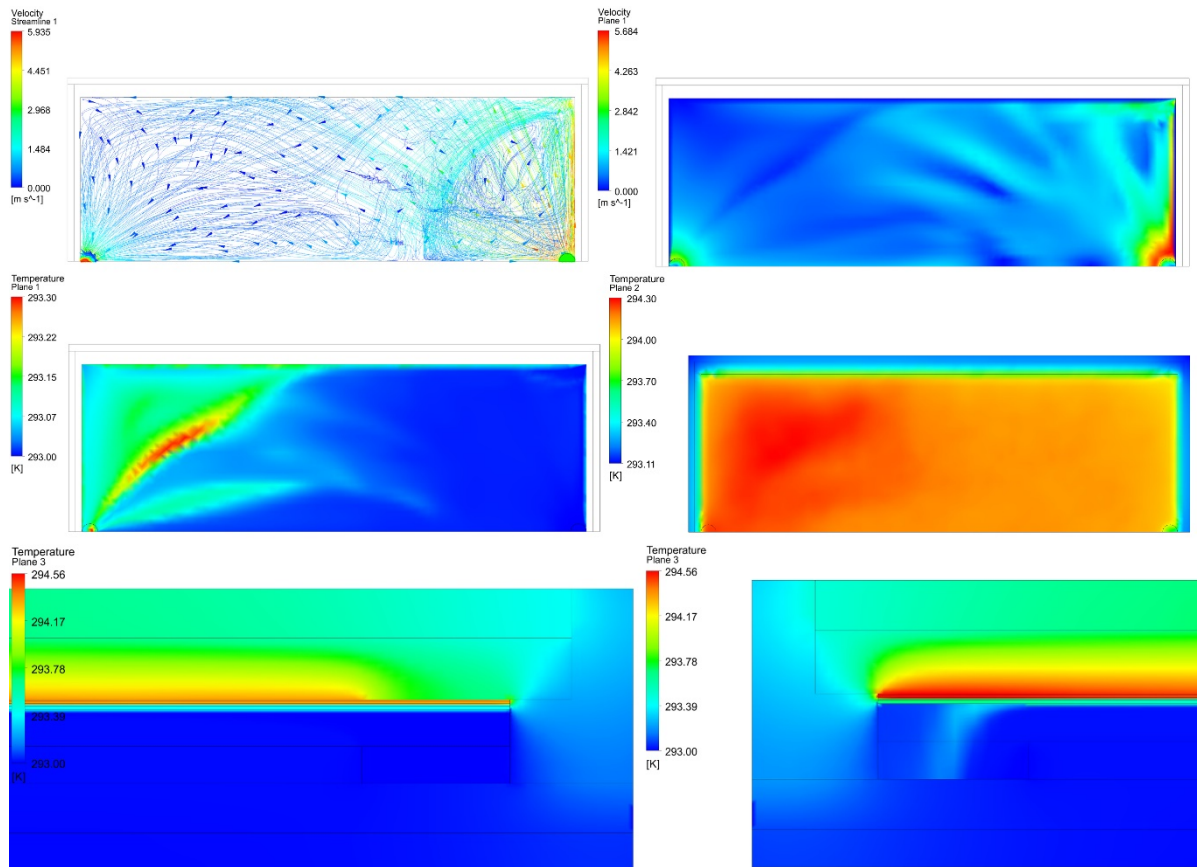


Рис. 9. Визуализации линий тока теплоносителя и его суммарная скорость (сверху), распределения температур охлаждающего агента и электрогенерирующего компонента (посередине), а также распределения температур в зоне входа охлаждающего агента и в зоне его выхода (снизу)

Fig. 9. Visualization of coolant flow lines and its total speed (top), of the temperature distribution of the cooling agent and the electrogenerating component (in the middle), of the temperature distribution in the zone of entry of the cooling agent and in the zone of its exit (below)

В процессе моделирования испытания проводились с различными толщинами компонентов, входящих в состав модуля, теплоносителями и их расходами, после чего, в результате их анализа, была определена оптимальная конструкция солнечной планарной теплофотоэлектрической кровельной панели,

которая и была изготовлена с помощью технологии капсулирования двухкомпонентным полисилоксановым компаундом [25, 26] (рис. 10). Критериями оптимизации являлась максимальная температура солнечных элементов не более 40 °С и максимальная температура воды на выходе.

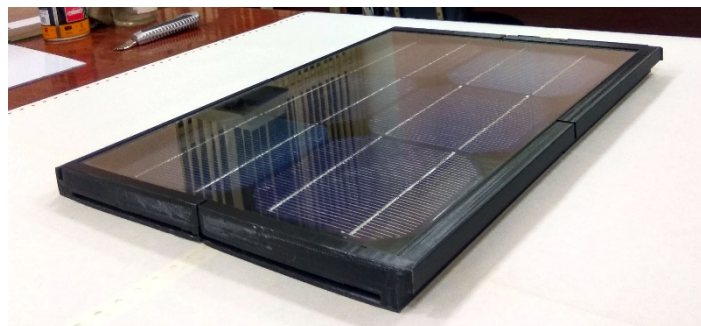


Рис. 10. Теплофотоэлектрическая планарная кровельная панель, конструкция которой оптимизировалась с помощью разработанной методики в системе конечно-элементного анализа Ansys

Fig. 10. Photovoltaic thermal planar roofing panel, the design of which was optimized using the developed method in the Ansys finite element analysis system

Разработанная методика визуализации тепловых процессов солнечных теплофотоэлектрических

модулей с послойной структурой позволяет анализировать тепловые режимы, движение

теплоносителя и конструкцию модуля, в результате чего появляется возможность в изготовлении оптимизированной конструкции солнечного теплофотоэлектрического модуля по различным критериям.

КОНЦЕНТРАТОРНОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В СИСТЕМЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

В случае, когда необходима экспресс-оценка теплового состояния радиатора охлаждения солнечного теплофотоэлектрического модуля без учёта послойной структуры фотоприёмника модуля (в расчёт включен исключительно радиатор), разработана методика экспресс-оценки теплового состояния приёмника солнечного теплофотоэлектрического модуля (рис.11).

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РАДИАТОРА

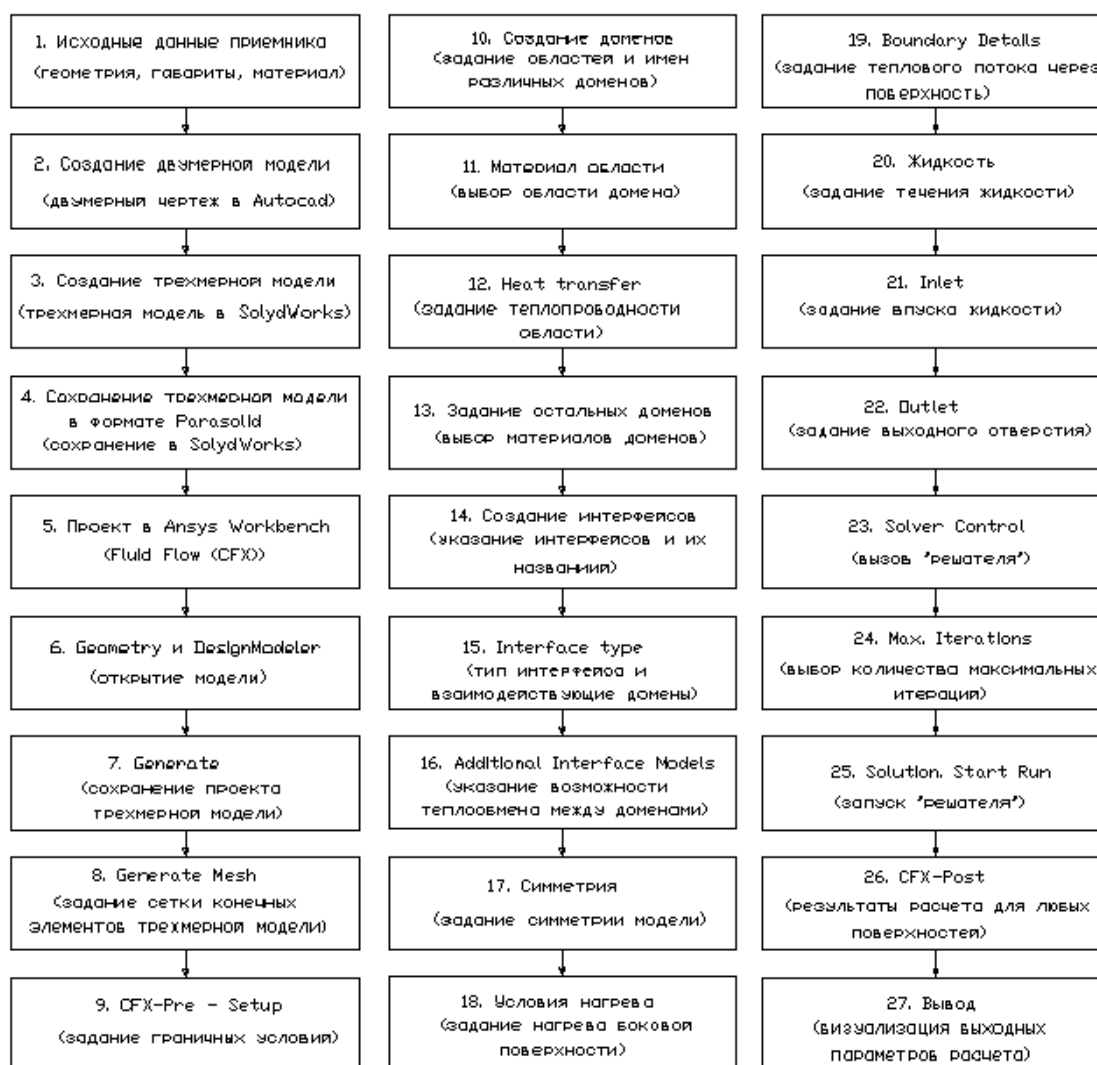


Рис. 11. Методика экспресс-оценки теплового состояния радиатора без учёта (пренебрегая) послойной структуры фотоприёмников теплофотоэлектрических модулей

Fig. 11. Method of rapid assessment of the thermal state of the radiator without taking into account (neglecting) the layered structure of photodetectors of photovoltaic thermal modules

В качестве реализации разработанной методики представлен концентраторный солнечный теплофотоэлектрический модуль [28, 29] (рис.12), где на одной части теплофотоэлектрического приёмника – на поверхности цилиндрического фотоэлектрического преобразователя формируется

равномерная освещённость концентрированного излучения, а на верхней части теплофотоэлектрического приёмника формируется освещённость концентрированного солнечного излучения для догрева проточной воды. При этом вода отбирает теплоту от фотоэлектрических

элементов, благодаря чему не снижается их эффективность и нагревается до определённой

температуры, регулируемой расходом при помощи устройства протока воды.



Рис. 12. Концентраторный солнечный теплофотоэлектрический модуль, радиатор которого оптимизировался в системе конечно-элементного анализа Ansys с помощью разработанной методики

Fig. 12. Solar concentrator photovoltaic thermal module whose radiator was optimized in the Ansys system of finite element analysis using the developed method

В результате исследования начального варианта радиатора концентраторного солнечного модуля с помощью разработанной методики получены

тепловые режимы работы модели с линиями течений теплоносителя, визуализацией тепловых полей и скоростей теплоносителя (рис. 13).

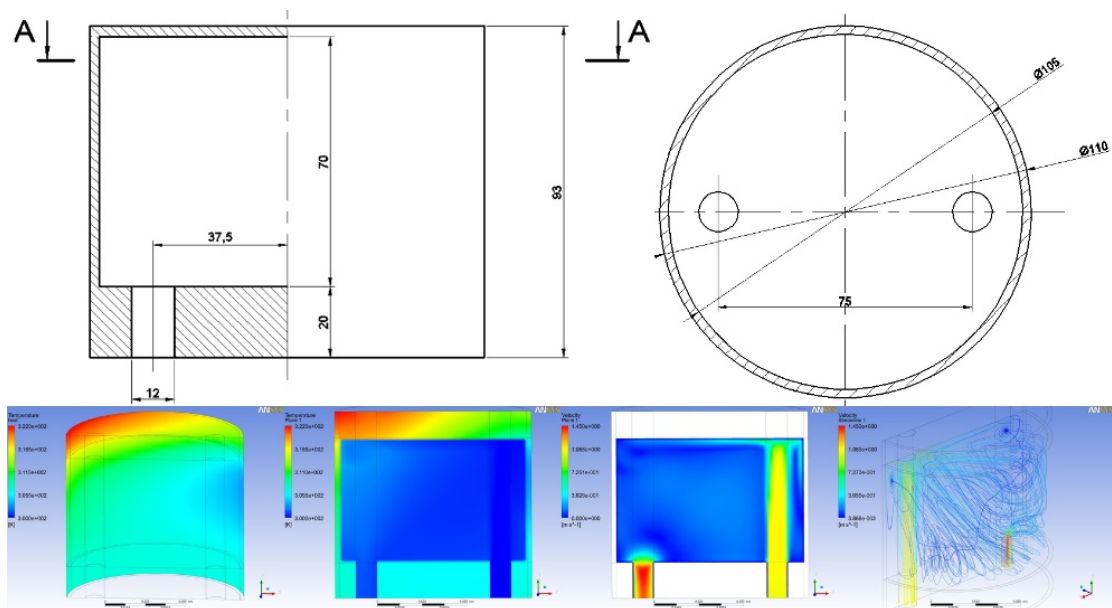


Рис. 13. Начальный вариант конструкции радиатора фотоприёмника (сверху) и распределение температур по поверхности радиатора, температуры теплоносителя внутри радиатора, его скорость и линии течения (снизу)

Fig. 13. The initial version of the design of the photoreceiver radiator (top) and the temperature distribution over the surface of the radiator, coolant temperature inside the radiator, its speed and flow lines (below)

Первоначальный тип радиатора с точки зрения отбора теплоты водой от фотоэлектрических элементов и её дальнейшего нагрева является не рациональным. Разница температуры воды на входе и на выходе составляет при расходе 5 л/мин около 5 °С, температура фотоэлектрических элементов составляет 44 °С. Видны области перегрева и неравномерного распределения температуры, а также неравномерные линии течения жидкости. В процессе оптимизации конструкции радиаторов рассматривались

тепловые режимы их трёхмерных моделей, после чего принималось решение о целесообразности применения каждой конструкции.

ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ РАДИАТОРА КОНЦЕНТРАТОРНОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ В СИСТЕМЕ КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Критерием оптимизации радиатора являлись максимальная температура воды на выходе из радиатора и не превышение температуры боковой поверхности радиатора выше максимальных значений, при которых вольтамперная характеристика солнечных элементов имеет прямоугольную форму.

Цилиндрическая форма радиатора обусловлена площадью засветки солнечным излучением концентратором параболического типа. Фотоэлектрические элементы располагаются на боковой цилиндрической поверхности и высокая электрическая эффективность их функционирования обусловлена обеспечением минимальной температуры функционирования.

Однако при обеспечении низкой температуры фотоэлектрических элементов температура воды на выходе из радиатора также остаётся невысокой (низкая общая эффективность) в виду чего необходима оптимизация тепловых режимов работы и конструкции радиатора таким образом, чтобы температура боковой поверхности радиатора не превышала $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (применяются матричные высоковольтные солнечные элементы [24], вольтамперная характеристика которых имеет прямоугольную форму и при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в отличие от планарных солнечных элементов), а разница между температурой боковой поверхностью радиатора и температурой воды на выходе минимальна (эффективный теплоотвод). Дальнейшее увеличение температуры фотоэлектрических элементов ведёт к значительному уменьшению электрической эффективности. С целью увеличения электрической и тепловой эффективности солнечного модуля вода, отобравшая теплоту от солнечных элементов догревается посредством верхней поверхности радиатора, который освещается концентрированным солнечным излучением.

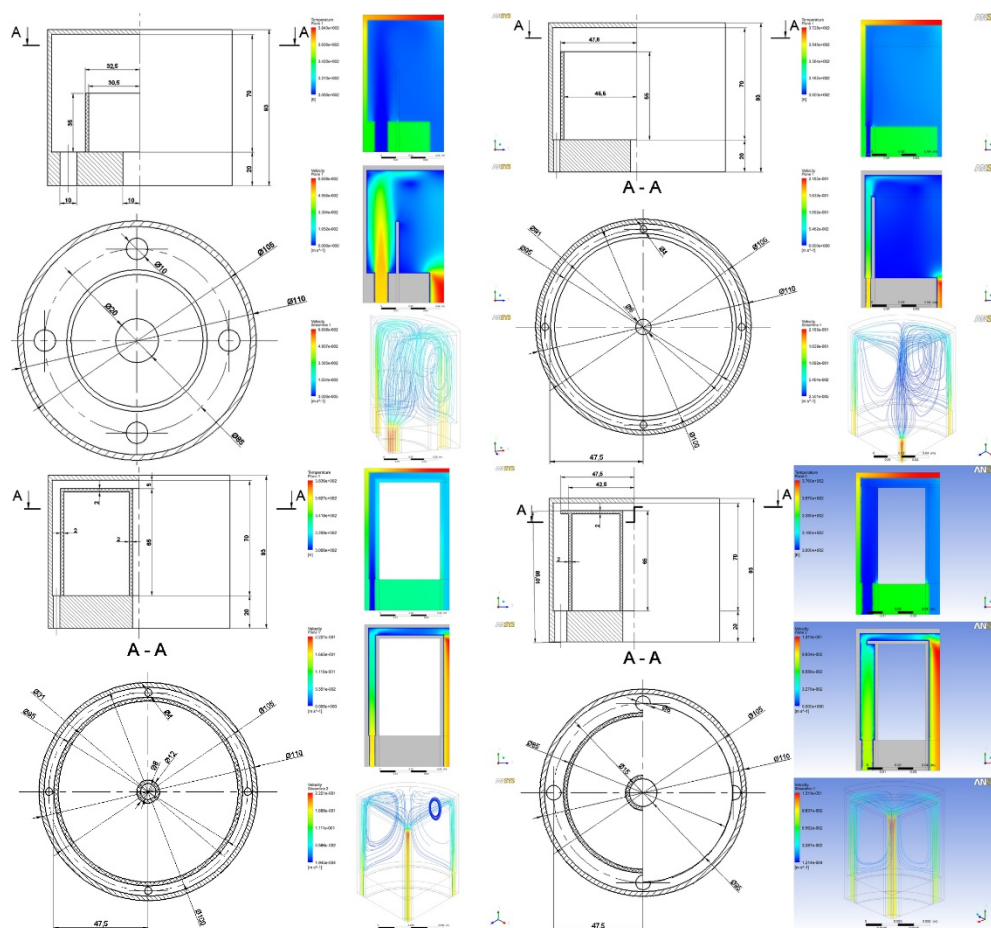


Рис.14. Конструкции радиаторов № 3, 7, 9 и 12, распределение температур внутри радиаторов, скорость воды внутри радиаторов и её линии тока

Fig. 14. Constructions of radiators No. 3, 7, 9 and 12, temperature distribution inside radiators, water velocity inside radiators and its current line

Такая конструкция радиатора позволила не перегревать фотоэлектрические элементы, а догревать и увеличивать выходную температуру теплоносителя с помощью другой части радиатора (верхней, без фотоэлектрических элементов). Визуализация тепловых полей и течений теплоносителя в такой комбинированной модели позволяет анализировать области с перегревом/недогревом, качество омывания охлаждаемой поверхности и участки с застоями теплоносителя, результатом чего является решение о необходимости дальнейших изменений с целью оптимизации конструкции радиатора или теплового режима его работы для обеспечения высокой общей эффективности солнечного модуля.

После проведённого анализа для выявления оптимальной конструкции с использованием разработанной методики рассмотрены двенадцать различных конструкций радиаторов с целью улучшения отбора теплоты водой и увеличения общей эффективности солнечного модуля (рис. 14). На рис. 14 представлены четыре варианта конструкции радиатора, обеспечивающие такие тепловые режимы работы, когда разница температуры фотоэлементов и воды на выходе минимальна, а температура боковой поверхности радиатора (фотоэлектрических элементов) не превышает 60 °С. Температуры воды на выходе 49 °С и температуры фотоэлектрических элементов 60 °С удалось добиться при расходах воды 0,5 – 1 л/мин.

ВЫВОДЫ

Трёхмерное моделирование солнечных теплофотоэлектрических модулей по разработанной методике, реализуемое в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, позволяет создавать модули различной конструкции для последующего определения их тепловых режимов работы. Подготовленные трёхмерные модели солнечных модулей позволяют подготовить конструкторскую документацию на экспериментальные образцы для последующего производства и отработки технологии изготовления.

Разработанные методики теплового расчёта теплофотоэлектрических солнечных модулей с использованием визуализации процессов в системе конечно-элементного анализа Ansys позволяют судить о целесообразности созданной конструкции радиатора и проводить оптимизацию его конструкции и тепловых режимов работы. Разработанная методика позволяет анализировать тепловой режим созданной трёхмерной модели, скорость теплоносителя и линии течений теплоносителя радиатора приёмника солнечного теплофотоэлектрического модуля.

Созданные трёхмерные модели планарного теплофотоэлектрического солнечного модуля в виде кровельной панели и концентраторного теплофотоэлектрического модуля позволяют

подготовить конструкторскую документацию на экспериментальные образцы модулей. Подготовленная конструкторская документация теплофотоэлектрических солнечных модулей позволяет отработать технологию изготовления и изготовить экспериментальные модули для стационарной энергогенерации. Разработанные трёхмерные модели позволяют варьировать различными параметрами модуля и его конструктивными элементами, что позволяет проводить различные эксперименты для отработки оптимизированной конструкции солнечного теплофотоэлектрического модуля.

Исследования и оптимизация конструкций солнечных теплофотоэлектрических модулей позволяют добиться максимальной эффективности солнечных модулей в виду суммирования электрической и тепловой энергии в одном модуле, чего не позволяют добиться фотоэлектрические модули и солнечные коллекторы по отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valeriy Kharchenko, Vladimir Panchenko, Pavel V. Tikhonov, Pandian Vasant. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development, 2018, pages 86 – 119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004
2. Гапеева Н.А., Жиленко О.Б. Автономное теплоснабжение высотных зданий // Строительство и техногенная безопасность № 10 (62) – 2018, с. 77-89
3. Соловьев А.К. Экономия энергии при эксплуатации зданий и пассивные системы использования солнечной энергии // Строительство и техногенная безопасность № 10 (62) – 2018, 179-191
4. Сокут Л.Д., Муровская А.С. Перспективы развития систем электроснабжения за счет подключения ветровых и солнечных электростанций с накопителями энергии в общую энергосистему // Строительство и техногенная безопасность № 7 (59) – 2017, с. 113-123
5. Бекиров Э.А., Каркач Д.В. Двумерная модель тепловых процессов в солнечном коллекторе и ее экспериментальная проверка // Строительство и техногенная безопасность № 10 (62) – 2018, 191-201
6. Митрофанова С.А. Влияние вида отражающих элементов плоских солнечных коллекторов на облученность приемника // Строительство и техногенная безопасность № 4 (56) – 2016, с. 25-28
7. Бекиров Э.А., Асанов М.М. Анализ систем водяного охлаждения фотоэлектрических панелей // Строительство и техногенная безопасность № 6 (58) – 2017, с. 55-59
8. Асанов М.М., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н. Снижение влияния нагрева поверхности фотоэлемента на эффективность его работы //

Строительство и техногенная безопасность № 51 – 2014, с. 92-97

9. Zharkov, S.V. (2014). Assessment and enhancement of the energy supply system efficiency with emphasis on the cogeneration and renewable as main direction for fuel saving. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 3(4), 1-20.

10. Камилов А.Г., Муминов Р.А., Турсунов М.Н. Оценка эффективности системы солнечного элемента и коллектора в условиях жаркого климата // *Гелиотехника*. 2008. № 2. С. 32-35.

11. Hosseini, R., Hosseini, N., & Khorasanizadeh, H. (2011). An Experimental study of combining a Photovoltaic System with a heating System. *World Renewable Energy Congress*, Linkoping, Sweden.

12. Rawat, P., & Debbarma, M. (2014). Saurabh Mehrotra at all. Design, development and experimental investigation of solar photovoltaic/thermal (PV/T) water collector system. *International Journal of Science, Environmental Technology*, 3(3), 1173–1183.

13. Buonomano, A., Calise, F., & Vicidimini, M. (2016). Design, Simulation and Experimental Investigation of a Solar System Based on PV Panels and PVT Collectors. *Energies*, 9, 497. Retrieved from www.mdpi.com/journal/energies

14. Ibrahim A, Jin GL, Daghigh R, Salleh MHM, Othman MY, Ruslan MH, et al. Hybrid photovoltaic thermal (PV/T) air and water based solar collectors suitable for building integrated applications. *American Journal of Environmental Sciences*, 2009, p. 618 - 624.

15. Othman MYH, Ruslan H, Sopian K, Jin GL. Performance study of photovoltaic thermal (PV/T) solar collector with V-grooved absorber plate. *Sains Malaysiana*, 2009, p. 537 - 541.

16. Pavel Sevela, Bjarne W. Olesen. Development and Benefits of Using PVT Compared to PV. *Sustainable Building Technologies*, 2013, p. 90 - 97.

17. Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman, Mohd Hafidz Ruslan, Sohif Mat, Kamaruzzaman Sopian. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2011, p. 352 - 365.

18. Swapnil Dubey and Andrew A. O. Tay. Experimental Study of the Performance of Two Different Types of Photovoltaic Thermal (PVT) Modules under Singapore Climatic Conditions. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, Vol. 2 2012, Article ID R120313, 6 pages.

19. Solimpeks. Volther Hybrid PV-T Panels. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.solimpeks.com> (дата обращения 04.02.2019).

20. Sunsystems. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.sunsystem.bg/en/fotovoltaika/PV-T/> (дата обращения 04.02.2019).

21. Kharchenko, V. V. (2014). PVThermal modules. *Proceedings of XI International Annual Conference “Renewable and small energy”*, 248-257.

22. КОМПАС-3D v17. Инструмент создателя – официальный сайт САПР КОМПАС

[Электронный ресурс] // URL: <http://kompas.ru/> (дата обращения: 04.02.2019).

23. Engineering Simulation & 3D Design Software – ANSYS [Электронный ресурс] URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 04.02.2019).

24. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В // *Альтернативная энергетика и экология*, 2015, № 19 (183), С. 76 – 81.

25. V. Poulek, D.S. Strebkov, I.S. Persic, M. Libra. Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology // *Solar Energy*, 2012, 86, pp. 3103-3108.

26. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы // *Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. Инновации в возобновляемой энергетике*. № 3(8)/2014, С. 154 – 158.

27. Стребков Д.С., Панченко В.А., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И. Разработка кровельной солнечной панели // *Вестник ВИЭСХ*. 2015. № 4 (21). – с. 107 – 111.

28. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А. Солнечный тепло-фотоэлектрический модуль с параболическим концентратором // *Альтернативная энергетика и экология*, 2013, № 1/2, С. 35-39.

29. Патент РФ на изобретение № 2505755. Майоров В.А., Панченко В.А., Стребков Д.С.. Солнечный фотоэлектрический модуль с параболическим концентратором. Заявка: 2011153585/28, 28.12.2011. Опубликовано: 27.01.2014. Бюл. № 3.

REFERENCES

1. Valeriy Kharchenko, Vladimir Panchenko, Pavel V. Tikhonov & Pandian Vasant (2018). Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply. *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*, 86-119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004

2. Gapeeva, N.A., Zhilenko, O.B. (2018). Avtonomnoe teplosnabzhenie vysotnyh zdaniy (Autonomous heat supply of high-rise buildings). *Construction and Technogenic Safety*, 10 (62), 77-89

3. Solovyov, A.K. (2018). EHkonomiya ehnergii pri ehkspluatatsii zdaniy i passivnye sistemy ispol'zovaniya solnechnoj ehnergii (Energy savings in the operation of buildings and passive systems of solar energy use). *Construction and Technogenic Safety*, 10 (62), 179-191

4. Sokut, L.D, Murovskaya, A.S. (2017). Perspektivy razvitiya sistem ehlektrosnabzheniya za schet podklyucheniya vetrovyh i solnechnyh ehlektrostantsij s nakopitelyami ehnergii v obschchuyu ehnergosistemu (Prospects for the development of power supply systems due to the connection of wind and solar power plants with energy storage in a

- common power system). *Construction and Technogenic Safety*, 7 (59), 113-123
5. Bekirov, E.A., Karkach, D.V. (2018). Dvumernaya model' teplovyyh processov v solnechnom kollektore i ee eksperimental'naya proverka (Two-dimensional model of thermal processes in a solar collector and its experimental verification). *Construction and Technogenic Safety*, 10 (62), 191-201
6. Mitrofanova, S.A. (2016). Vliyaniye vida otrazhayushchih ehlementov ploskih solnechnykh kollektorov na obluchennost' priemnika (The influence of the type of reflecting elements of flat solar collectors on the irradiation of the receiver). *Construction and Technogenic Safety*, № 4 (56), 25-28
7. Bekirov, E.A., Asanov, M.M. (2017). Analiz sistem vodyanogo ohlazhdeniya fotoelektricheskikh panelej (Analysis of water cooling systems for photovoltaic panels). *Construction and Technogenic Safety*, 6 (58), 55-59
8. Asanov, M.M., Bekirov, E.A., Voskresenskaya, S.N. (2014). Snizhenie vliyaniya nagreva poverhnosti fotoehlementa na ehffektivnost' ego raboty (Reducing the influence of the heating of the photocell surface on the efficiency of its work). *Construction and Technogenic Safety*, 51, 92-97
9. Zharkov, S.V. (2014). Assessment and enhancement of the energy supply system efficiency with emphasis on the cogeneration and renewable as main direction for fuel saving. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 3(4), 1-20.
10. Kamilov, A.G., Muminov, R.A. & Tursunov, M.N. (2008). Ocenka jeffektivnosti sistemy solnechnogo jelementa i kollektora v usloviy zharkogo klimata (Evaluation of system effectiveness solar cell and collector in a hot climate). *Geliotehnika*, 2, 32-35.
11. Hosseini, R., Hosseini, N. & Khorasanizadeh, H. (2011). An Experimental study of combining a Photovoltaic System with a heating System. *World Renewable Energy Congress*, Linkoping, Sweden, 2993-3000.
12. Rawat, P., Debbarma, M., Saurabh Mehrotra et al. (2014). Design, development and experimental investigation of solar photovoltaic/thermal (PV/T) water collector system. *International Journal of Science, Environmental Technology*, 3(3), 1173-1183.
13. Buonomano, A., Calise, F. & Vicidimini, M. (2016). Design, Simulation and Experimental Investigation of a Solar System Based on PV Panels and PVT Collectors. *Energies*, 9, 497.
14. Ibrahim, A, Jin, G.L, Daghig, R, Salleh, M.H.M., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., et al. (2009). Hybrid photovoltaic thermal (PV/T) air and water based solar collectors suitable for building integrated applications. *American Journal of Environmental Sciences*, 618-624.
15. Othman, M.Y.H, Ruslan, H., Sopian, K. & Jin, G.L. (2009). Performance study of photovoltaicthermal (PV/T) solar collector with V-grooved absorber plate. *Sains Malaysiana*, 537-541.
16. Pavel Sevela & Bjarne W. Olesen (2013). Development and Benefits of Using PVT Compared to PV. *Sustainable Building Technologies*, 90-97.
17. Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman, Mohd Hafidz Ruslan, Sohif Mat & Kamaruzzaman Sopian (2011). Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 352-365.
18. Swapnil Dubey & Andrew A. O. Tay (2012). Experimental Study of the Performance of Two Different Types of Photovoltaic Thermal (PVT) Modules under Singapore Climatic Conditions. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 2, 1-6.
19. Solimpeks. Volther Hybrid PV-T Panels. [Electronic resource] URL: <http://www.solimpeks.com> (reference date: February 4, 2019).
20. Sunsystems. [Electronic resource] URL: <http://www.sunsystem.bg/en/fotovoltaika/PV-T/> (reference date: February 4, 2019).
21. Kharchenko, V.V. (2014). PVThermal modules. *Proceedings of XI International Annual Conference "Renewable and small energy"*, 248-257.
22. KOMPAS-3D v17. The tool of the author - the official site of CAD KOMPAS [Electronic resource] URL: <http://kompas.ru/> (reference date: February 4, 2019).
23. Engineering Simulation & 3D Design Software - ANSYS [Electronic resource] URL: <http://www.ansys.com/> (reference date: February 4, 2019).
24. Panchenko, V.A., Strebkov, D.S., Polyakov, V.I. & Arbuzov, Yu.D. (2015). Vysokovol'tnyye solnechnye moduli s naprjazheniem 1000 V (High-voltage solar modules with a voltage of 1000 V). *Alternative energy and ecology*, 19 (183), 76-81.
25. V. Poulek, D.S. Strebkov, I.S. Persic & M. Libra (2012). Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology. *Solar Energy*, 86, 3103-3108.
26. Strebkov, D.S., Persits, I.S. & Panchenko, V.A. (2014). Solnechnye moduli s uvelichennym srokom sluzhby (Solar modules with extended service life). *Innovations in agriculture. Theoretical and scientific and practical journal. Innovations in renewable energy*, 3(8), 154-158.
27. Strebkov, D.S., Panchenko, V.A., Irodionov, A.E. & Kirsanov, A.I. (2015). Razrabotka krovel'noj solnechnoj paneli (Development of a roofing solar panel). *Vestnik VIESH*, 4(21), 107-111.
28. Strebkov, D.S., Mayorov, V.A. & Panchenko, V.A. (2013). (Solnechnyj teplofotoelektricheskij modul' s parabolotoricheskim koncentratorom) Solar photovoltaic thermal module with a parabolic concentrator. *Alternative energy and ecology*, 1/2, 35-39.
29. Patent of the Russian Federation for invention № 2505755. Mayorov, V.A., Panchenko, V.A. & Strebkov, D.S. Solnechnyj fotoelektricheskij modul' s parabolotoricheskim koncentratorom (Solar photovoltaic thermal module with a parabolic

concentrator). Application: 2011153585/28,
28.12.2011. Published: 01.27.2014. Bul. No. 3.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULES IN THE SYSTEMS OF COMPUTER-AIDED DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

V.A. Panchenko^{1,2}, S.P. Chirsky³

¹ Russian university of transport (MIIT), 127994, Moscow, Obraztsova str., tu@miit.ru

² Federal scientific agroengineering center VIM, 109428, Moscow, 1-st Institutsky proezd, 5, vim@vim.ru

³ Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, bauman@bmstu.ru

Summary: The article discusses the simulation of solar photovoltaic thermal modules of planar and concentrator structures in the computer-aided design systems COMPAS 3D and Ansys finite element analysis. In order to create a design and simulation method for this kind of solar modules, their various design features were analyzed. To create the basic four models of solar photovoltaic thermal modules with various illuminated sides and sides of heat removal, a method of designing their three-dimensional models in the computer-aided design system has been developed. Created three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules assemblies can later undergo various tests in systems of finite element analysis in order to optimize the design and refine various operating parameters. To study the thermal regimes of the created three-dimensional models, a technique has been developed for visualizing thermal processes, coolant velocity, and flow lines of a cooling agent in a finite element analysis system. The developed method allows to take into account the layered structure of solar photovoltaic thermal modules (components included in the composition), where each element has its own physical and geometric properties and affects the thermal processes occurring in the module itself. As a result of calculations in the software package of the finite element analysis using the developed method, it is possible to draw conclusions about the feasibility of the created structure with its further editing (changing the thickness of the components, coolant flow rate, etc.), visualize the thermal fields and current lines of the radiator cooling agent. To illustrate the results of the design according to the developed method, a three-dimensional model and an assembly drawing of a photovoltaic thermal planar roofing panel are presented, the thermal state of which was modeled in the finite element analysis system according to the developed method. Along with the method that takes into account the layer-by-layer structure of the module, a technique has been developed for the rapid assessment of the thermal state of cooling radiators, which takes into account the physical and geometric properties of an exclusive radiator with heat carrier. As an implementation of the method of rapid assessment of the thermal state, an optimized radiator of the concentrator solar photovoltaic thermal module is presented.

Object: the thermal state of solar photovoltaic thermal modules of planar and concentrator constructions, visualized with the help of a system of finite element analysis.

Subject: the design of solar photovoltaic thermal modules, which is developed and modeled using computer-aided design and finite element analysis systems.

Materials and methods: when creating methods, modeling and optimizing the structures of solar photovoltaic thermal modules, the KOMPAS 3D computer-aided design system and the ANSYS system of finite element analysis were used.

Results: the results of the research are the created methods with the help of which the thermal processes of three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules of planar and concentrator structures are projected and investigated.

Conclusions: when using the developed methods of modeling and research of three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules, it is possible to thin layer-by-layer optimize the designs of such modules with obtaining an optimized design of a solar photovoltaic thermal module, which will allow, along with electricity, to receive thermal energy at the output due to its selection from solar cells, thus increasing their efficiency, and the overall efficiency of the module, which includes electrical and thermal components.

Key words: computer-aided design system, finite element analysis system, solar energy, three-dimensional model, solar photovoltaic thermal module, COMPAS 3D, ANSYS, water radiator.

УДК 691.5

ЭВОЛЮЦИЯ БЕСЦЕМЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВЯЖУЩИХ РАЗЛИЧНОЙ ТОПОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В., Кобзев В.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,
549041@mail.ru

Аннотация. Сравнительный анализ технологий, принципов модифицирования и их положительного воздействия на минеральные системы наноструктурированных вяжущих, полученных на основе различных видов сырья: кварцевого песка, перлита и гранита, позволил представить эволюционное развитие ряда бесклинкерных вяжущих. Приведены особенности применения наноструктурированного вяжущего различного состава в качестве основного связующего и модифицирующего компонента для материалов различных типов твердения. Обоснована эффективность технологических принципов получения данных вяжущих, методы и агенты его модификации для формирования оптимальных реотехнологических свойств самого связующего и композитов на его основе или с его применением. Представлена высокая экологичность технологических этапов получения вяжущего вне зависимости от генетической принадлежности применяемого сырья, безопасность и благоприятность условий для человека при эксплуатации конструкций и зданий, возводимых из материалов на основе вяжущих малоклинкерного или бесклинкерного состава. В статье приведены исследования по изучению процессов и этапов твердения бесцементного вяжущего на основе гранодиорита, на основании чего предложена модель его твердения.

Предмет исследования: публикационный анализ работ по изучению наноструктурированных вяжущих, полученных на основе различных типов сырья, механизм твердения высококонцентрированной алюмосиликатной вяжущей суспензии на основе гранодиорита.

Материалы и методы: В работе использовалась высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия (ВАВС) на основе гранодиорита. Изучение фазо- и структурообразования, процессов твердения вяжущей суспензии осуществлялось с помощью качественного и полнопрофильного количественного рентгенофазового анализа.

Результаты: схема модифицирования наноструктурированных вяжущих, которые были получены на основе следующих пород: кварцевого песка, перлита и гранита. Предложена модель твердения бесцементного вяжущего на основе гранодиорита, проходящая по схеме: I – механохимическое растворение минералов гранодиорита; II – выход в раствор ионов и поликонденсация кислот; III – избирательная эпитаксиальная кристаллизация.

Выводы: Полученные данные и их анализ позволили аргументировать перспективность применения и расширения номенклатуры наноструктурированных и высококонцентрированных вяжущих различных типов. Предложенная модель твердения вяжущего на основе гранодиорита соответствует поликонденсационно-кристаллизационному механизму.

Ключевые слова: наноструктурированное вяжущее, кварцевый песок, перлит, гранит, гранодиорит, механизм твердения.

ВВЕДЕНИЕ

Цемент на сегодняшний день является широко распространенным и популярным строительным материалом, что подкрепляется ежегодно растущими темпами его производства. По данным Росстата за два месяца 2019 года производство цемента в России выросло на 9,3 % по сравнению с показателем за аналогичный период прошлого года. Широкое распространение цемента небезосновательно, так как он является многофункциональным материалом, позволяющим осуществлять широкий спектр архитектурных и строительных работ. При этом получаемые изделия характеризуются высокой прочностью и длительным сроком использования, а технологический процесс их производства строго

регламентирован, обоснован нормативными документами и детально изучен в ходе многочисленных исследований. Однако при вышеперечисленных достоинствах, производство цемента обладает определенными недостатками. В первую очередь, это высокая энерго- и ресурсопотребляемость технологии его получения, включающая в себя тонкое измельчение и высокотемпературный обжиг, что требует больших расходов топлива [1]. При этом во время этих процессов происходят сложные физико-химические взаимодействия с сопутствующим выбросом технологической пыли, углекислого газа и других вредных элементов, которые в совокупности с массой производства, наносят негативное влияние на экологию, а, следовательно, и здоровье людей.

В связи с этим, актуальным является разработка и применение вяжущих веществ со сниженной долей клинкерной составляющей или альтернативных бесцементных систем, в том числе с атермальной технологической историей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В 70-е годы прошлого столетия учеными, во главе с проф. Ю.Е. Пивинским, было развито направление по получению эффективных безклинкерных материалов на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС) [2]. Основными технологическими этапами их производства являются: мокрый помол сырьевых материалов в условиях предельной концентрации, максимального разжижения при температуре 70 ± 10 °С и строго контроля значений pH суспензии; стабилизация вяжущего гравитационным перемешиванием для снижения вязкости системы и повышения плотности и прочности отливок на её основе. Сырьевая смесь для приготовления такого вяжущего включает в себя в основном кремнезёмсодержащие и алюмосиликатные материалы различного происхождения. Твердение вяжущих такого типа происходит за счёт удаления части дисперсионной среды (жидкости) суспензии. Свое применение ВКВС нашли в безобжиговой керамике и огнеупорных бетонах. Со временем высококонцентрированные вяжущие суспензии прошли определенные стадии развития в целях расширения номенклатуры и разработки общих принципов для более дешевых и распространенных силикатных материалов. Таким образом, были разработаны целый ряд бесцементных вяжущих на основе кремнезёмсодержащего и алюмосиликатного сырья: ВКВС, смешанные ВКВС, пластифицированные ВКВС, модифицированные ВКВС, наноструктурированные вяжущие (НВ), высококонцентрированные алюмосиликатные вяжущие суспензии (ВАВС) [3, 4, 5].

Наиболее эффективным вяжущим является НВ, характеризующееся низкой себестоимостью, по причине отсутствия технологических переделов с высокотемпературной обработкой и возможности адаптации технологии его производства под широкий спектр сырьевых материалов, что снижает расходы на его транспортировку и позволяет воспроизводить технологию в различных регионах России, учитывая специфику местной сырьевой базы. К достоинствам данного вяжущего можно также отнести улучшенные реотехнологические показатели при низком водосодержании системы и неограниченный срок хранения при условии герметичности упаковки.

К настоящему времени проведен комплекс научных исследований в области применения НВ не только в качестве активной модифицирующей добавки, но и основного вяжущего компонента, при получении материалов различного назначения:

материалов автоклавного твердения [6–8], композиционных вяжущих на основе цемента [9, 10], композиционных гипсовых вяжущих [11], ячеистых материалов неавтоклавного твердения [12–14]. Сегодня учеными БГТУ им. В.Г. Шухова разработаны и успешно апробированы технологии получения НВ на основе кварцевого песка, перлита, гранита и разработаны составы строительных композитов на их основе [3, 15–19].

Наиболее изученными являются НВ, полученные на кварцевом песке – продукте выветривания кислых магматогенно-интрузивных пород кластической (обломочной) структуры. Технологический цикл получения НВ заключается в постадийном помоле сырья по мокрому способу в шаровой мельнице, облицованной уралитовой футеровкой. Помол в зависимости от параметров оборудования характеризуется длительностью от 10 до 20 часов и сопровождается выделением тепла. На начальной стадии помола для обеспечения необходимого уровня щелочной среды для запуска процессов растворения применяется добавка в виде жидкого натриевого стекла. На заключительной стадии необходима комплексная модификация суспензии. В качестве пластифицирующей добавки применялась глина Латненского месторождения марки ЛТ-1. Дозировка глины влажностью не более 33 % составляла 1,5–5 % от массы НВ по сухому веществу. Модификация системы обеспечена введением комплексного дефлокулянта, способствующего оптимизации структуры матричной системы за счет реализации трех механизмов воздействия: структурно-механического, электростатического, адсорбционно-сольватного. Модификатор состоит из триполифосфата натрия и суперпластификатора СБ-5, его общая концентрация в смеси составляет 0,02–0,1 % [3, 20].

В применяемом сырье для получения кварцевого НВ содержание SiO_2 должно быть не менее 60 %, содержание Fe_2O_3 не должно превышать – 3 %, содержание глинистых составляющих – не более 2 % [3]. Однако, как отмечалось ранее, сырьем для получения высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий, в том числе и НВ, могут являться алюмосиликатные породы с заниженным содержанием кварца, но не менее 40 %. Наиболее распространенным из них является перлит – эффузивная порода со скрытокристаллической (стекловатой) структурой и гранит – интрузивная полнокристаллическая порода [15, 16].

В работе [17] на основе перлита было получено НВ двумя способами – мокрым измельчением и суспендированием. При первом способе получения система характеризуется улучшенными реотехнологическими характеристиками, позволяющими исключить модифицирование специализированными добавками. Второй способ, заключающийся в измельчении сырья фракцией менее 0,315 мм,

характеризуется более высокой вязкостью системы, для снижения которой автором произведён подбор необходимых модификаторов: жидкого стекла (с концентрацией 0,001 %), комплексной добавки (с концентрацией 0,001 %), триполифосфата натрия (ТПФН) (с концентрацией 0,01 %) и лимонной кислоты (с концентрациями 0,0025; 0,005 и 0,01 %). Комплексная добавка представляет собой оксифурфурольный олигомер, состоящий из соединения фурфурола и флюороглуцина, и относится к типу суперпластификаторов.

Автором проведена оценка реологических особенностей НВ на основе перлита. Определено, что наилучший эффект от модификации системы наблюдается при использовании лимонной кислоты. В данном случае, полученная суспензия имеет тиксотропный характер течения с переходом в ньютоновскую область, что реализуется за счет гидрофилизации поверхности частиц. Пептизация частиц объясняется снижением ζ -потенциала за счёт присутствующих в системе полярных групп. Положительное влияние добавки вызвано адсорбцией молекул лимонной кислоты на твердых частицах вяжущего, в результате чего формируется молекулярный монослой. В вяжущей системе осуществляется комплексное сочетание адсорбционно-сольватного и электростатического факторов, которое приводит к повышению

агрегативной устойчивости и регулированию реологического поведения суспензии. Помимо этого наблюдается увеличение предела прочности при сжатии образцов на 56 %.

В работах [18, 19] рассмотрена возможность получения НВ на основе отсева гранита с подбором необходимых модификаторов. В качестве инициатора твердения использовали кремнефтористый натрий и жидкое стекло, второе при этом выступает регулятором щелочной среды. Взаимодействие данных компонентов способствует увеличению количества открытых связей в вяжущей системе, тем самым иницируя ее твердение, а также предотвращает процесс выщелачивания жидкого стекла. Отмечено, что процесс твердения данных минеральных систем проходит по механизму поликонденсации, который сопровождается выделением кристаллизующегося геля ортокремниевой кислоты [20]. Область применения гранитного НВ за счет кислотоустойчивости распространяется на кислотостойкие бетоны.

Сравнительный анализ свойств наноструктурированных вяжущих, полученных на основе сырья различных генетических типов, и технологий их получения позволил выявить определенные особенности каждого из видов (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики наноструктурированных вяжущих различной топогенетической принадлежности

Table 1. Characteristics of nanostructured binders of various topogenetic belonging

Параметры		Сырье	Кварцевый песок	Перлит ¹	Гранит
Генетический тип			осадочный	эффузивный	интрузивный
Структура			кластическая	стекловатая	полнокристаллическая
Технология	стадийность		многостадийный	многостадийный	одностадийный
	процесс модифицирования		требуется	не требуется ²	требуется
Свойства НВ в естественном состоянии (суспензия)	Температура ³ , °С		46	68	45
	pH среды		7,7–8,0	5,8–7,0	9,0
	остаток на сите, %		менее 1	менее 1	менее 1
	влажность, %		14–20	18–20	20,5
	концентрация твердой фазы		0,75	0,68	0,79
	тип течения ⁴		T	T→H	T
	удельная поверхность, м ² /кг		7600	7300	7300
Свойства затвердевшего НВ (камень)	плотность, кг/м ³		2150	1880	2080
	пористость, %		14–16	16–18	13–15
	предел прочности при сжатии, МПа		6,8–9,0	5,0–7,0	10,8–11,2
	предел прочности при изгибе, МПа		5,5–6,0	3,5–4,5	6,5–7,0

¹ В данном случае рассматривается НВ на основе перлита, полученного по методу мокрого измельчения, который является наиболее рациональным.

² При разработке НВ на основе перлита по методу суспендирования требуется модифицирование.

³ Время помола и температура находятся в зависимости от размеров и мощности мельницы. Значения представлены для помолов НВ, проведенных в лабораторных шаровых мельницах с уралитовой футеровкой объемом 200 л.

⁴ Тип течения: T – тиксотропный, H – ньютоновский.

Показатели НВ в естественном состоянии, т.е. в виде суспензии, на основе всех типов сырья находятся в близком диапазоне значений, что определяет перечень общих требований для данных материалов. При анализе характеристик затвердевших отливок НВ, наиболее высокими показателями характеризуется гранитное НВ. Данный факт имеет теоретическое обоснование, связанное с генетическими особенностями исходного сырья и его первоначальными природными параметрами. Гранит представляет собой плотную и массивную породу, позволяющую заведомо получать строительные материалы с более высокими прочностными показателями. Также стоит обратить внимание на одностадийность технологического процесса получения вяжущего, снижающую трудоёмкость и длительность всего цикла производства НВ.

Принадлежность к одной группе интрузивных кислых пород нормальной щелочности и сходный состав обуславливают интерес к такой породе, как гранодиорит. Это средне- и крупнозернистые, иногда порфириовидные породы, отличающиеся от гранитов являются меланократовость (большое содержание темноцветных минералов) и меньшее

количество кварца. В связи с этим гранодиорит можно рассматривать как перспективное сырьё для получения бесцементных вяжущих и материалов на их основе. Расширение спектра применяемого сырья для материалов строительной отрасли играет важную роль и позволяет повысить ресурс- и энергоэффективность производства, увеличить номенклатуру выпускаемой продукции, их качество и технико-экономические показатели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе применялась высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия (ВАВС) на основе гранодиорита (таблица 2). Основные свойства суспензии представлены в таблице 3. Технология её получения заключается в одностадийном мокром помоле крупной фракции отсева гранодиорита (размер частиц более 1,25 мм) в присутствии модификатора – жидкого стекла натриевого.

Таблица 2. Химический состав гранодиорита

Table 2. The chemical composition of granodiorite

Оксиды,	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	ппп
Содержание, %	68,3	15,1	3,75	4,33	0,83	0,1	1,98	3,96	1,65

Таблица 3. Основные характеристики ВАВС

Table 3. Main characteristics of HCABS

Наименование свойств вяжущего (суспензия)	Значение	Наименование свойств вяжущего (камень)	Значение
Остаток на сите № 0063, %	менее 1	Предел прочности при сжатии, МПа	5,05
Вязкость, Па·с	17–20	Предел прочности при изгибе, МПа	2,10
pH среды	8,0–9,0	Плотность, кг/м ³	2100
Влажность, %	20–22	Удельная эффективность естественных радионуклидов, Бк/кг	60,8

Определение фазового состава вяжущей суспензии на основе гранодиорита производилось с помощью рентгенофазового анализа (РФА). Качественный рентгенофазовый анализ проводился с использованием базы данных PDF-2. Для проведения полнопрофильного количественного XRD анализа было применено программное обеспечение DDM v.1.95e в варианте ритвельдовского алгоритма. Кристаллические структуры, используемые для полнопрофильного РФА, взяты из Базы Данных Неорганических Кристаллических Структур (ICSD).

Дифракционный экспериментальный материал получен в лаборатории Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова на рентгеновском дифрактометре ARL 9900 WorkStation с использованием Co-излучения и следующих параметров: интервал углов дифракции 2 θ =8–80 °, шаг 0,02 °.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На основании проведенного литературного обзора способов модификации наноструктурированных вяжущих на основе сырья

различного происхождения можно выявить основные принципы их модифицирования, указать наиболее эффективные добавки и раскрыть

механизм их воздействия на минеральные вяжущие системы (рис. 1).

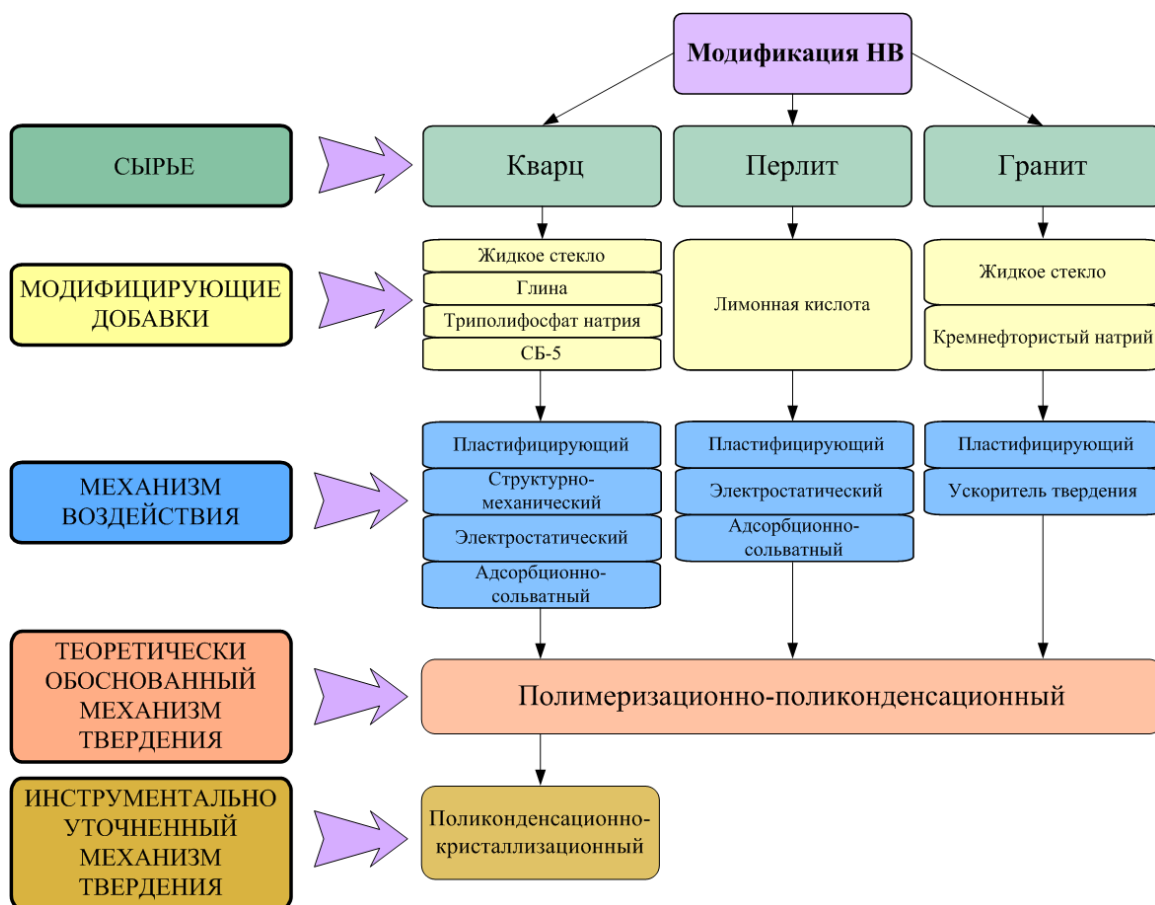


Рис. 1. Схема модифицирования НВ различного состава

Fig. 1. Scheme of NB modification of different composition

Согласно ранним работам основоположника данного направления исследований,

Таблица 4. Минеральный состав гранодиорита, вес. %

Table 4. Mineral composition of granodiorite, wt. %

Минералы	Количество, %
α-Кварц	22,2±1,20
Плагиоклаз	67,5±1,05
Биотит	4,6±0,67
Роговая обманка	5,7±0,39
Σ	100

наноструктурированное вяжущее относится к полимеризационно-поликонденсационному типу твердения, вызванному поликонденсационной сшивкой и переходом силанольной связи в силансеновую [2, 3]. В последующем был уточнен механизм твердения кварцевого НВ, который заключается в поочередном прохождении этапов полимеризации, поликонденсации и

кристаллизации [21]. Последний процесс сопровождается переходом коллоидной составляющей (кремниевой кислоты) по механизму автоэпитаксиального роста в кварц второй генерации. Согласно результатам проведенных исследований установлено, что системы НВ, полученные на основе кристаллического кварцевого сырья, характеризуются поликонденсационно-кристаллизационным твердением. Для минеральных вяжущих систем на основе алюмосиликатных пород аморфизованной (перлит) и полнокристаллической структур (гранит и гранодиорит) данный вопрос в настоящее время не рассматривался.

В связи с чем в данной работе изучен механизм твердения высококонцентрированной алюмосиликатной вяжущей суспензии на основе гранодиорита.

Информация о фазообразовании гранодиоритовой ВАВС является необходимой для определения особенностей фазообразующих процессов в системах алюмосиликатных суспензий при твердении камня с теми или иными прочностными свойствами. Известно, что катализатором процессов твердения в данных

системах являются сингенетичные наносистемы, которые образуются в процессе синтеза вяжущего.

Для более полного изучения процессов фазообразования, протекающих при твердении методом количественного полнопрофильного РФА был определен фазовый состав образцов ВАВС, возраст которых составил 3–7 суток.

Согласно качественному РФА исходное сырье (гранодиорит) характеризуется наличием

следующих минералов: α -кварца, плагиоклаза, биотита и роговой обманки (таблица 4). Для количественного полнопрофильного РФА были использованы структурные модели этих компонентов: α -кварц (74529-ICSD), плагиоклаз (34916-ICSD), биотит (95359-ICSD) и роговая обманка (9661-ICSD). В итоге результат анализа визуализирован и представлен в виде ритвельдовской диаграммы (рис. 2).

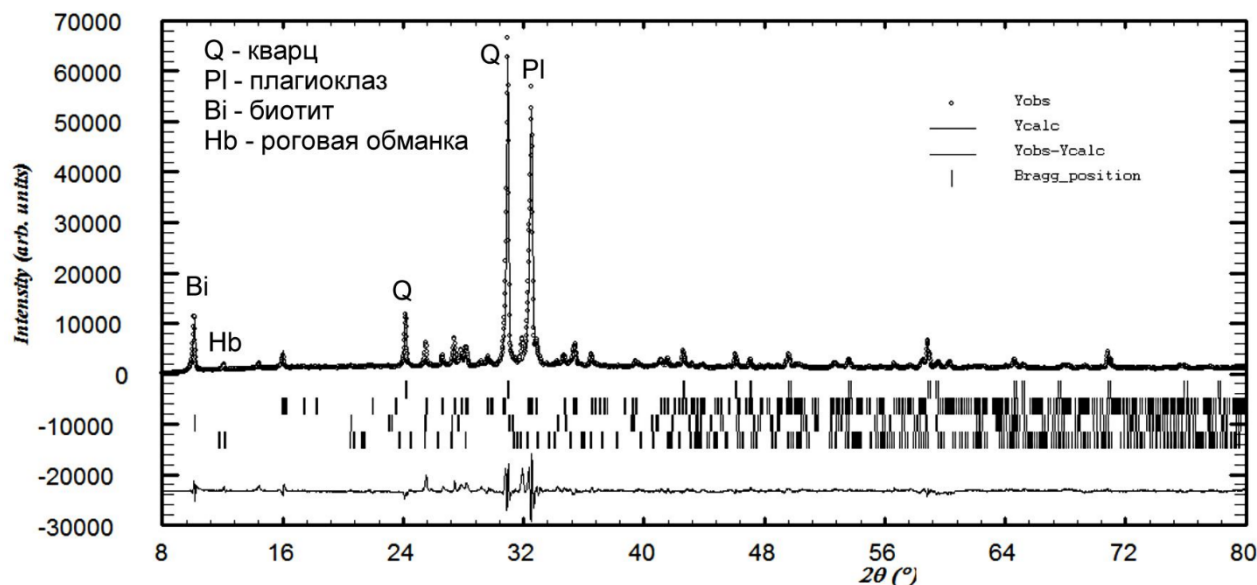


Рис. 2. Полнопрофильный расчет рентгенограммы гранодиорита

Fig. 2. Full-profile calculation of granodiorite X-ray pattern

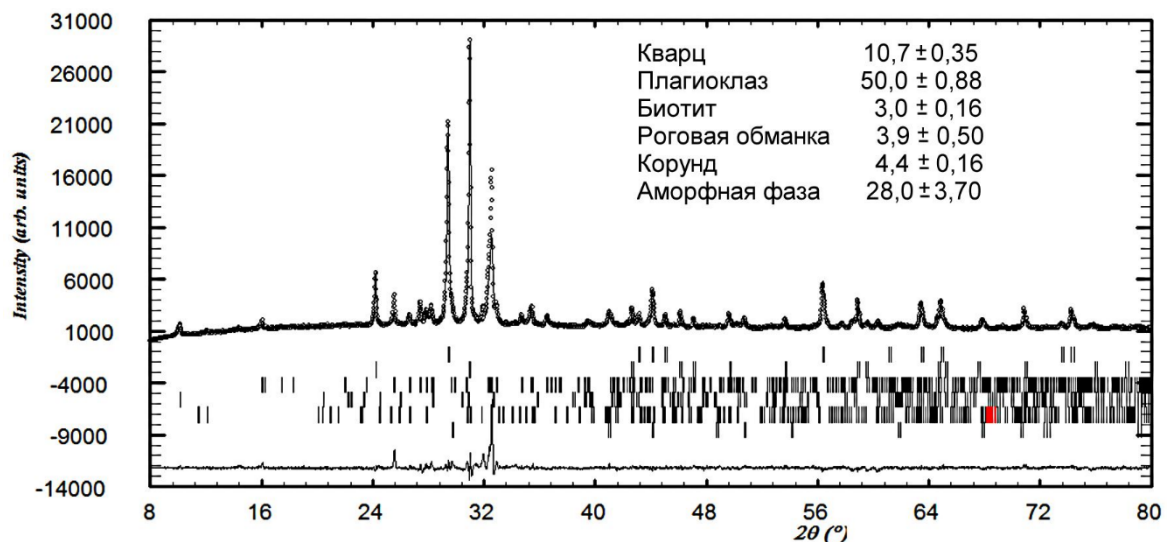
Основываясь на том, что гранодиорит – порода полнокристаллической структуры, и количество аморфного вещества в нем будет приближаться к нулю, полный фазовый анализ не проводился.

Количественный полнопрофильный РФА осуществлялся путем изучения образцов ВАВС на различных сутках твердения. Для определения количества аморфного вещества предварительно образцы прошли этап пробоподготовки, который заключался в истирании образцов и введении в полученный порошок полнокристаллического диоксида титана (анатаза), выступающего в качестве внутреннего эталона с концентрацией 20 вес. %. Далее при помощи программного

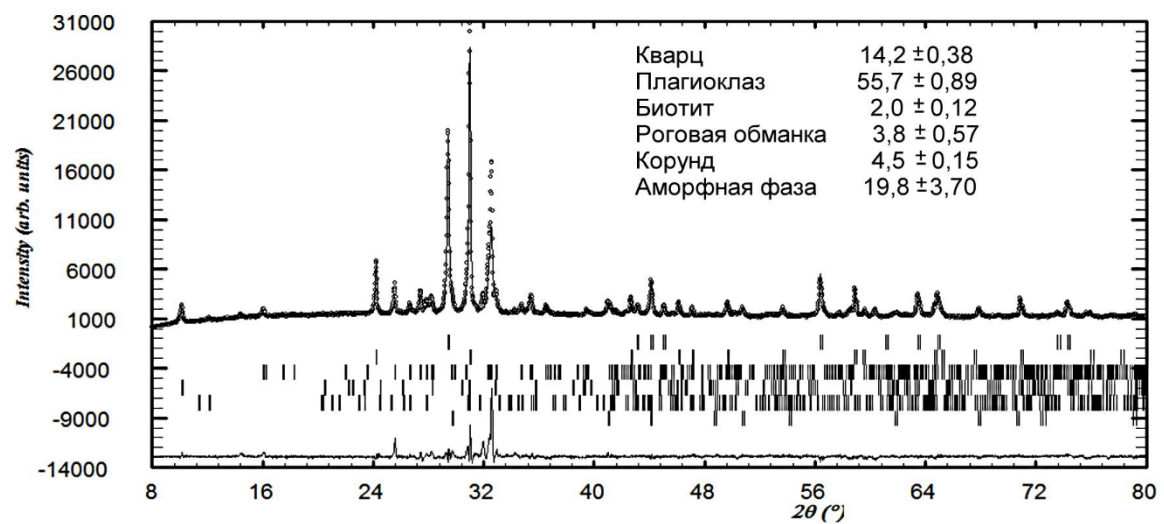
обеспечения был проведён расчёт количества аморфной фазы.

Стоит подчеркнуть, что в составе ВАВС, помимо минеральных компонентов, был идентифицирован корунд, попавший в систему в результате намолта мелющих тел. В связи с этим в расчетный порядок количественного РФА были введены структурные модели корунда (9770-ICSD) и анатаза (9853-ICSD).

Для визуализации результатов представлены графические иллюстрации количественного полнопрофильного РФА вяжущей суспензии на раннем (3 суток) и позднем (7 суток) сроках твердения (рис. 3).



а



б

Рис.3. Полнопрофильный расчет рентгенограммы камня BABC на основе гранодиорита при разных сроках твердения: а – 3 суток; б – 7 суток

Fig. 3. Full-profile calculation of X-ray patterns of a stone HCABS on the basis of granodiorite at different periods of hardening: a – 3 days; b – 7 days

При получении BABC происходит механохимическое растворение сырьевых компонентов, и в реакционную среду выносятся продукты растворения кварца и плагиоклаза – основных минералов, формирующих породу гранодиорита. Так, кремнезем, возникающий при растворении кварца, представлен в среде в виде коллоидного раствора ортокремниевой кислоты – H_4SiO_4 , а Na- и Ca-компоненты плагиоклаза – альбитом и анортитом. Механохимическое растворение осуществляется следующим образом:

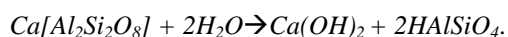
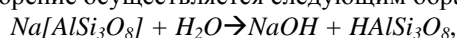
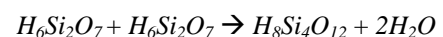
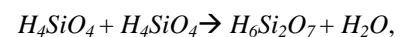
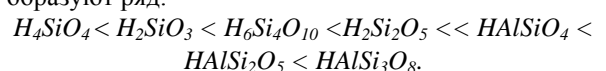


Схема поликонденсации коллоидного кремнезема:



и т.д., с формированием силикатных полимеров с высокой степенью полимеризации. В виду того что кислотность кремниевых кислот несколько меньшей, чем алюмокремниевых, то протекание процессов взаимодействия NaOH и CaOH с H_4SiO_4 и продуктами поликонденсации ортокремниевой кислоты маловероятно. Согласно источнику [22], кремниевые и алюмокремниевые кислоты в порядке повышения их кислотности образуют ряд:



В итоге проведенного анализа установлено, что концентрация аморфной фазы в системе ВАВС постепенно уменьшается, а кристаллических порообразующих компонентов (кварца и полевого шпата) возрастает (рис. 4).

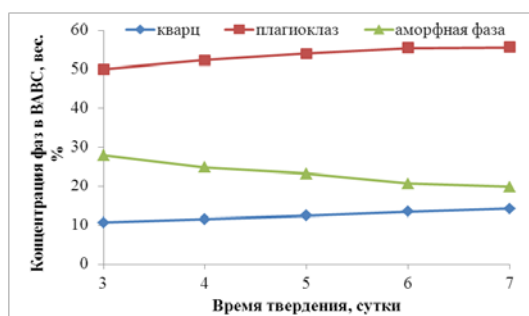


Рис. 4. Зависимость концентраций фаз ВАВС от времени твердения

Fig. 4. The dependence of concentrations of the HCABS phases from time of hardening

Следует отметить, что аморфное вещество в системе состоит из коллоидных растворов

кремниевой и алюмокремниевой кислот. Тогда, можно выдвинуть предположение, что эпитаксиальная кристаллизация кремниевой кислоты происходит на поверхности, наиболее близкой по ее структуре, т.е. на частицах кварца, а алюмокремниевой кислоты с захватом из раствора ионов Na^+ и Ca^{2+} – на частицах плаггиоклаза.

Таким образом, твердение ВАВС можно представить в виде последовательности этапов: I – механохимическое растворение порообразующих минералов гранодиорита (кварца и плаггиоклаза) с образованием коллоидных растворов ортокремниевой и алюмокремниевых кислот; II – протекание поликонденсационных процессов ортокремниевой кислоты; III – избирательная эпитаксиальная кристаллизация кремниевой кислоты на частицах кварца, а алюмокремниевых кислот с захватом из раствора ионов Na^+ и Ca^{2+} – на частицах плаггиоклаза (рис. 5). Стоит предполагать, что в виду образования прочных кристаллических связей между частицами суспензии формируется монолитный каркас консолидированного вяжущего.

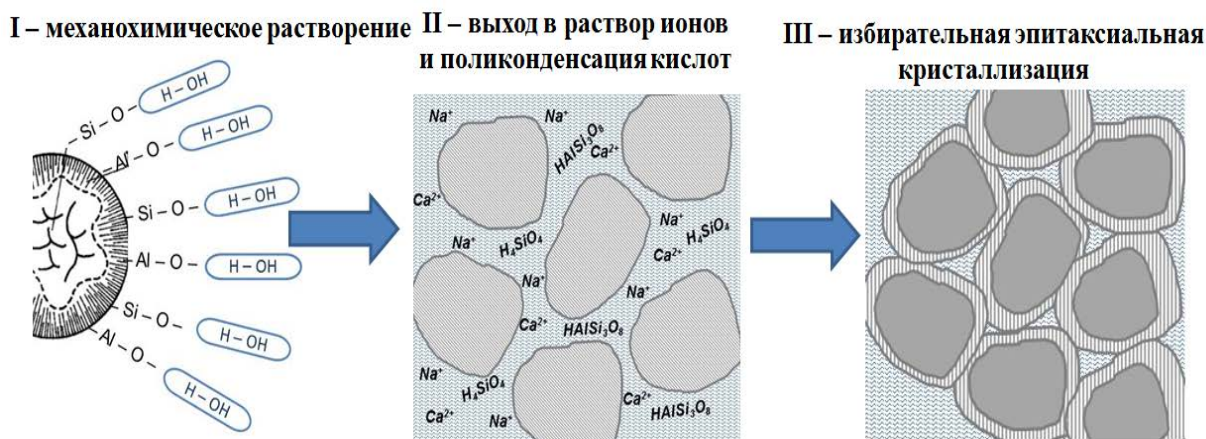


Рис. 5. Модельная схема твердения ВАВС на основе гранодиорита

Fig. 5. Model scheme for curing HCABS on the basis of granodiorite

Представленная модель твердения полиминеральной алюмосиликатной суспензии на основе гранодиорита соответствует поликонденсационно-кристаллизационному механизму твердения мономинерального НВ на основе кварца [21]. Предположительно, данная модельная схема может быть общей для моно- и полиминеральных систем наноструктурированных и высококонцентрированных вяжущих, процесс твердения которых проходит при нормальных условиях.

ВЫВОДЫ

Таким образом, бесцементные наноструктурированные вяжущие на основе сырья различной генетической принадлежности, используемые как в качестве основного связующего, так и модификатора, зарекомендовали себя эффективным компонентом строительных

материалов различного функционального назначения, обеспечивающих заданные строительно-технические свойства готовых изделий. При этом следует выделить высокую экологичность технологических этапов получения вяжущего вне зависимости от типа применяемого сырья, безопасность и благоприятность условий для человека при эксплуатации конструкций и зданий, возводимых из материалов на основе вяжущих малоклинкерного или бесклинкерного состава.

Изучены процессы и этапы твердения ВАВС на основе гранодиорита, состоящие из следующих стадий: I – механохимическое растворение минералов гранодиорита; II – выход в раствор ионов и поликонденсация кислот; III – избирательная эпитаксиальная кристаллизация. В процессе этого формируется монолитный каркас вяжущего за счет образования кристаллизационных контактов между частицами. Предложенная модель

соответствует поликонденсационно-кристаллизационному механизму твердения вяжущего.

Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента СП-2116.2018.1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А.М. Проблемы и инструменты управления предприятиями цементной промышленности России // Вестник Академии. 2015. № 3. С. 51–55.

2. Пивинский Ю.Е. Высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии. Исходные материалы, свойства и классификация // Огнеупоры. 1987. № 4. С. 8–20.

3. Череватова А.В., Строкова В.В., Жерновский И.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения: монография. Белгород: изд-во БГТУ, 2010. 161 с.

4. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Павленко Н.В., Жерновский И.В. Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 11–15.

5. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В. Высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 12–18.

6. Строкова В.В., Череватова А.В., Нелюбова В.В. Силикатные автоклавные материалы на основе высококонцентрированной вяжущей суспензии // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 10–16.

7. Нелюбова В.В., Подгорный И.И., Строкова В.В., Пальшина Ю.В. Автоклавный газобетон с наноструктурированным модификатором алюмосиликатного состава // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 72–75.

8. Нелюбова В.В., Гончарова Т.Ю., Шанчук Ю.С. О возможности получения наноструктурированного окрашенного силикатного автоклавного материала на основе высококонцентрированной вяжущей системы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 41–43.

9. Сумин А.В., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Еременко С.А. Пеногазобетон с наноструктурированным модификатором // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 70–75.

10. Строкова В.В., Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Серенков И.В. Свойства композиционного вяжущего на основе наноструктурированной суспензии // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 50–54.

11. Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Гипсокремнеземные строительные композиты с повышенной жаростойкостью // Вестник

Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 74–80.

12. Павленко Н.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Капуста М.Н. Эффективность применения наноструктурированного вяжущего при получении ячеистых композитов // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 10–12.

13. Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В., Шаповалов Н.А. Оценка эффективности применения наноструктурированного вяжущего при получении легковесных ячеистых композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 48–51.

14. Череватова М.С., Мирошников Е.В., Павленко Н.В. Эффективные теплоизоляционные материалы на основе наноструктурированного вяжущего // Сухие строительные смеси. 2014. № 2. С. 41–42.

15. Нелюбова В.В., Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Подгорный И.И., Пальшина Ю.В. Особенности наноструктурированного вяжущего в зависимости от генезиса сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 25–28.

16. Kapusta M.N., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Kinetics of mechanical activation during the manufacturing process of nanostructured binders // Applied Mechanics and Materials. 2014. T. 670. P. 412–416.

17. Мирошников Е.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 105–106.

18. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 38–41.

19. Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновский И.В. Особенности реотехнологических свойств наноструктурированного алюмосиликатного вяжущего в присутствии комплексных модификаторов различной природы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 36–39.

20. Шаповалов Н.А., Череватова А.В., Слюсарь А.А. и др. Комплексная модифицирующая органоминеральная добавка для алюмосиликатных огнеупорных систем на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий // Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. Вып. 5. С. 137–140.

21. Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Жерновский И.В., Кобзев В.А., Нелюбова В.В. Особенности механизма твердения наноструктурированного вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 62–69.

22. Westphal T. Quantitative Rietveld-Analyse von amorphen Materialien: Dissertationsschrift zur Erlangung des Doktorgrades. Westphal Torsten. Halle (Deutschland). 2007. 145 p.

REFERENCES

1. Kovalev A.M. Problems and tools of management of enterprises of the cement industry of Russia // *Bulletin of the Academy*. 2015. № 3. P. 51–55.

2. Pivinsky Yu.E. Highly concentrated ceramic binding suspensions. Initial materials, properties and classification // *Refractories*. 1987. № 4. P. 8–20.

3. Cherevatova A.V., Strokova V.V., Zhernovskiy I.V. Mineral nanostructured binders. Nature, technology and application prospects: monograph. Belgorod: BSTU publishing house, 2010. 161 p.

4. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Pavlenko N.V., Zhernovskiy I.V. Construction composites using nanostructured binder based on raw materials of various genetic types // *Building materials*. 2013. № 2. P. 11–15.

5. Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Nelyubova V.V. Highly concentrated aluminosilicate binder suspension based on granodiorite // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018. № 1. P. 12–18.

6. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Nelyubova V.V. Silicate autoclave materials based on highly concentrated binding suspension // *Building materials*. 2007. № 10. P. 10–16.

7. Nelyubova V.V., Podgorny I.I., Strokova V.V., Palshina Yu.V. Autoclave Gas Concrete with Nanostructured Aluminosilicate Modifier // *Building materials*. 2016. № 4. P. 72–75.

8. Nelyubova V.V., Goncharova T.Yu., Shanchuk Yu.C. On the possibility of obtaining nanostructured colored silicate autoclaved material based on a highly concentrated binding system // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2008. № 1. P. 41–43.

9. Sumin A.V., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Eremenko S.A. Foam-gas concrete with a nanostructured modifier // *Building materials*. 2016. № 1–2. Pp. 70–75.

10. Strokova V.V., Netsvet D.D., Nelyubova V.V., Serenkov I.V. Properties of composite binder based on nanostructured suspension // *Building materials*. 2017. № 1–2. Pp. 50–54.

11. Voitovich E.V., Cherevatova A.V., Zhernovskiy I.V., Alekhin D.A. Gypsum-silicate building composites with high heat resistance // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014. № 6. P. 74–80.

12. Pavlenko N.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovskiy I.V., Nelyubova V.V., Kapusta

M.N. Efficiency of application of nanostructured binder in the production of cellular composites // *Building materials*. 2012. № 6. P. 10–12.

13. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Miroshnikov E.V., Shapovalov N.A. Evaluation of the effectiveness of nanostructured binder in the preparation of lightweight cellular composites // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2011. № 4. P. 48–51.

14. Cherevatova M.S., Miroshnikov E.V., Pavlenko N.V. Effective thermal insulation materials based on nanostructured binder // *Dry mixes*. 2014. № 2. P. 41–42.

15. Nelyubova V.V., Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Podgorny I.I., Palshina Yu.V. Features nanostructured binder depending on the genesis of raw materials // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2015. № 2. P. 25–28.

16. Kapusta M.N., Kobzev V.A., Nelyubova V.V. Kinetics of mechanical activation during the manufacturing process of nanostructured binders // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 670. P. 412–416.

17. Miroshnikov E.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Nanostructured perlite binder and foam concrete based on it // *Building materials*. 2010. № 9. P. 105–106.

18. Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Aluminosilicate nanostructured binder based on granite raw materials // *Building materials*. 2014. № 1–2. P. 38–41.

19. Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Zhernovskiy I.V. Features reotechnological properties of nanostructured aluminosilicate binder in the presence of complex modifiers of different nature // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. № 9. P. 36–39.

20. Shapovalov N.A., Cherevatova A.V., Slyusar A.A. et al. Complex modifying organomineral additive for aluminosilicate refractory systems based on highly concentrated ceramic binding suspensions // *Chemistry and Chemical Technology*. 2003. Vol. 46. Issue 5. pp. 137–140.

21. Strokova V.V., Sivalneva M.N., Zhernovskiy I.V., Kobzev V.A., Nelyubova V.V. Features of the mechanism of hardening of nanostructured binder // *Building materials*. 2016. № 1–2. Pp. 62–69.

22. Westphal T. Quantitative Rietveld-Analyse von amorphen Materialien: Dissertationsschrift zur Erlangung des Doktorgrades. Westphal Torsten. Halle (Deutschland). 2007. 145 p.

EVOLUTION OF ZERO-CEMENT NANOSTRUCTURED BINDERS OF DIFFERENT TOPOGENETIC BELONGING

Sivalneva M.N., Nelubova V.V., Kobzev V.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 308012, Belgorod, Kostyukov St., 46
549041@mail.ru

Summary A comparative analysis of technologies, principles of modification and their positive impact on the mineral systems of nanostructured binders obtained on the basis of various types of raw materials: quartz sand, perlite and granite, made it possible to depict the evolutionary development of a number of clinkerless binders. The features of the application of nanostructured binder of different composition as the main binder and modifying component for materials of different types of hardening are given. The effectiveness of the technological principles of obtaining presented binders, the methods and agents of its modification for the formation of optimal rheo-technological properties of the binder itself and composites based on it or with its application is substantiated. A high environmental friendliness of the technological stages of obtaining a binder, regardless of the genetic origin of the raw materials used, the safety and favorable conditions for a person during the operation of structures and buildings constructed from materials based on low-clinker and clinkerless binders is presented. The article presents studies on the processes and stages of hardening of cementless binder on the basis of granodiorite, on the basis of which a model of its hardening has been proposed.

Research subject: publication analysis of researches on the study of nanostructured binders obtained on the basis of various types of raw materials, the mechanism of hardening of a highly concentrated aluminosilicate binding suspension based on granodiorite.

Materials and methods: A highly concentrated aluminosilicate binder suspension (HCABS) based on granodiorite was used in the work. The study of phase and structure formation, the processes of hardening of the binding suspension was carried out using qualitative and full-profile quantitative X-ray phase analysis.

Results: a scheme for modifying nanostructured binders, which were obtained on the basis of the following rocks: quartz sand, perlite and granite. A model for the hardening of zero-cement granodiorite-based binder is proposed, which follows the scheme: I - mechanochemical dissolution of granodiorite minerals; II - ions outgoing into the solution and polycondensation of acids; III - selective epitaxial crystallization.

Conclusions: The obtained data and their analysis allowed to rationalize the perspective for the application and expansion of the range of nanostructured and highly concentrated binders of various types. The proposed model of hardening of the binder on the basis of granodiorite corresponds to the polycondensation-crystallization mechanism.

Key words: nanostructured binder, quartz sand, perlite, granite, granodiorite, hardening mechanism.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 620.19:622.691.4(470.53)

ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Т. Н. Романова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

г.Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: vvstf@pstu.ru

Аннотация. Показано место газовых видов топлива в топливно-энергетическом балансе России. Рассмотрены особенности эксплуатации трубопроводов при транспортировке природного газа. Установлено, что надежность функционирования трубопроводного транспорта - одна из наиболее важных задач, от которой зависит количество выбросов вредных веществ; опасное влияние на обслуживающий персонал, близлежащее население и окружающую среду. Обозначены основные причины отказов на трубопроводном транспорте и рассмотрена коррозия, как одна из причин нарушения экологического равновесия окружающей среды. Основные методы защиты трубопроводов от коррозии - это пассивная и активная защита. На примере реконструкции газопровода в Пермском крае рассмотрены возможные средства защиты.

Предмет исследования: Средства ЭХЗ при прокладке газопровода высокого давления для газоснабжения населенных пунктов правобережной части р.Чусовая в Пермском крае.

Результаты: проанализирована работа установки ЭХЗ за последние два года на газопровode высокого давления. Выбран вариант реконструкции средств ЭХЗ для повышения надежности работы газопровода.

Выводы: При реконструкции газопроводов необходимо уделять пристальное внимание защите конструкций от коррозии; использовать современные материалы анодных узлов и автоматизированные катодные станции, оборудованные системами телеметрии. Эти мероприятия позволят продлить срок эксплуатации газопроводов, защитить от опасных воздействий обслуживающий ГВД персонал, население и окружающую среду.

Ключевые слова: Природный газ, газопровод, магистральные газопроводы, газораспределительная сеть, стальные трубы, электрохимическая коррозия.

ВВЕДЕНИЕ

Россия по данным ОПЕК занимает первое место в мире по доказанным запасам природного газа (49,541 трлн.м³) и второе место по его добыче (642,242 млрд.м³/год). В топливно-энергетическом балансе России природный газ занимает долю более 50 %.

Согласно ФЗ-№116 от 21.07.1997г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», газоснабжение формирует энергетическую основу экономики и является важным индикатором промышленного развития страны.

К основным преимуществам газового топлива в сравнении с традиционным нефтяным относят: отсутствие твердых частиц (сажи) в дымовых газах, уменьшение содержания в отработавших газах оксида углерода в 8-10 раз, оксидов азота в 2 раза, углеводородов в 3 раза. Энергетической стратегией России предусмотрено, что к 2020 г. газовые виды топлива должны заменять до 10-12 млн. тонн нефтепродуктов ежегодно.

Энергозатраты в себестоимости промышленной продукции России составляют в

среднем 8-12 %, а с учетом затрат на топливо этот показатель вдвое больше. Энергоемкость ВВП РФ в 2,3 раза превышает среднемировой уровень [1]. Одна из важнейших стратегических задач – сокращение к 2020 г. энергоёмкости отечественной экономики. Рост энергоэффективности повысит конкурентоспособность отечественной продукции и снизит нагрузку на окружающую среду [1].

Общий потенциал энергосбережения составляет 40 % от общего энергопотребления, а из них примерно 33 % относится к сфере топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Одним из направлений энергосбережения является повышение энергоэффективности передачи и распределения энергии.

В России наибольшую долю занимают грузоперевозки трубопроводным транспортом.

Газотранспортная система России отличается беспрецедентной в мировой практике концентрацией энергетических трубопроводных мощностей.

Трубопроводный транспорт – самый экологически чистый вид транспорта углеводородов, но лишь при условии соблюдения жесткой экологической дисциплины при

проектировании, строительстве и эксплуатации газопроводов [2].

Протяженность магистральных газопроводов (МГ) на территории России составляет 172,1 тыс. км; протяженность сетей газораспределения и газопотребления превышает 85 тыс. км. Такая протяженность линейных объектов затрагивает интересы многих субъектов РФ, влияя на их социально-экономические условия и окружающую среду [3].

Более половины общей длины магистральных газопроводов прокладывается по лесным массивам; около 25% пересекают пашни и другие сельскохозяйственные угодья. Следствием аварий на газопроводах являются лесные пожары; происходит выгорание посевов и спекание грунта на глубину нескольких сантиметров.

Аварии в газовой промышленности могут привести к частичному или полному разрушению сооружений и/или технических устройств, неконтролируемым выбросам (и/или взрывам) вредных веществ; к опасному воздействию на персонал, население и окружающую среду [4].

Газопроводы относятся к ответственным сооружениям, к надежности работы которых предъявляются повышенные требования. При формировании газораспределительной системы в 70–80-х гг. прошлого века в нее был заложен значительный запас прочности. Подземная прокладка газопроводов является приоритетной, в этом случае трубы защищены как от природного, так и антропогенного воздействия. Наземные и надземные газопроводы используются только в случае, если подземная прокладка является невозможной [5].

Одна из наиболее важных задач трубопроводного транспорта – сокращение риска возникновения аварий, что позволит снизить безвозвратные потери транспортируемого продукта, предотвратить разрушение инженерных сооружений и обеспечить надежное функционирование единой системы газоснабжения [6].

Согласно данным Госгортехнадзора РФ, основными причинами отказов на трубопроводном транспорте [7] являются:

- брак, допущенный при проектировании и монтаже – 31%;
- повреждения в результате внешних воздействий – 24%;
- наружная коррозия – 20%;
- брак, допущенный при производстве заводских труб – 17%;
- нарушение регламента эксплуатации – 8%.

Любой дефект трубопровода (дефект изготовления, строительный или эксплуатационный) снижает несущую способность трубопровода и может привести к разрыву трубы при превышении проектных нагрузок. Трубопровод только с одним единственным сквозным поражением уже непригоден для безопасной эксплуатации [8].

Городские территории насыщены различными инженерными коммуникациями, в т.ч. подземными трубопроводами. Суммарная масса стали, находящаяся в использовании под землей, составляет более 200 млн. тонн, а поверхность стальных конструкций составляет более чем 1,5 млрд.м². Грунт и почва представляют собой сложную природную среду, особенности которой определяют протекающие процессы коррозии подземных коммуникаций [9].

Не только окружающая среда влияет на скорость коррозионных процессов, но и сам процесс коррозии создает неравновесные условия в окружающей среде, которые по принципу обратной связи приводят к росту интенсивности коррозионных процессов.

Вследствие большой металлоемкости подземных коммуникаций весьма актуальны вопросы защиты от коррозии для различных отраслей промышленности и транспорта. Но централизованная самостоятельная служба защиты от коррозии в настоящее время сохранилась лишь в ОАО «Газпром».

Полное прекращение процессов коррозии невозможно, поэтому в задачи защиты подземных коммуникаций входит только замедление скорости коррозионного разрушения, к примеру, соизмеримого с нормативным сроком эксплуатации трубопровода 30–35 лет.

ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» требует принятие необходимых мер по предупреждению коррозионных аварий трубопроводного транспорта: своевременное диагностическое выявление и устранение опасных коррозионных дефектов и обеспечение трубопроводов надежными средствами электрохимической защиты (ЭХЗ) от коррозии.

Согласно положениям ГОСТ Р 51164–98 магистральные трубопроводы подлежат пассивной и активной защите.

Пассивная защита трубопроводов осуществляется применением различного рода изоляционных покрытий [8]. Защитные свойства этих покрытий основаны на изоляции металлов от окружающей среды. Достоинство этого способа защиты – простота технологии; недостаток – недолговечность покрытий, эти покрытия выполняют свою функцию пока сохраняется их целостность.

Несмотря на ограниченный срок службы битумных (8–12 лет) и пленочных (15–16 лет) изоляций, к пленочной гидроизоляции до настоящего времени проявляется большой интерес (несмотря на то, что в РФ было запрещено использовать битумное и пленочное изоляционное покрытие для газопроводов диаметром 1420 мм) [6].

Несмотря на все разнообразие представленных на рынке изоляционных материалов, для защиты магистральных нефтегазопроводов от коррозии мастичные

покрытия остаются наиболее конкурентоспособными по стоимости и технологии нанесения. На сегодняшний день используются трубы с заводской изоляцией из пенополиуретана (ППУ) [10].

Для активной защиты от коррозии металлической поверхности трубопроводов, проложенных подземно, применяются средства электрохимической защиты (ЭХЗ). Поскольку коррозия стальных материалов в грунте протекает по электрохимическому механизму, ее скорость зависит от электродного потенциала металла и удельного электрического сопротивления грунта [8].

Для подземных трубопроводов применяются два вида защиты – протекторная и катодная. Протекторная защита осуществляется с помощью тока гальванической пары, образованной двумя различными металлами (сплавами); протекторы (жертвенные аноды) обычно изготавливают из магниевых сплавов. При этом протекторная защита используется либо в качестве временной, либо для защиты объектов небольшой протяженности [8]. Протекторная защита не требует затрат на оборудование и электроэнергию, но она эффективна только в тех случаях, когда между протектором и окружающей средой небольшое переходное сопротивление.

В основном на практике применяется катодная защита, когда в качестве анода выступает электрод-заземлитель, заложённый в землю недалеко от трубопровода, а в системе ЭХЗ используют внешний источник постоянного тока. Электрический ток сдвигает потенциал трубопровода в отрицательную сторону [8].

Основное положение ЭХЗ заключается в необходимости поддерживать величину поляризационного потенциала трубопровода в диапазоне от -0,85 до -1,15 В в процессе эксплуатации на всех его участках [8]. С учетом нынешних стандартов нанесения изоляционных покрытий данное требование удовлетворяется установкой станций катодной защиты (СКЗ) на каждые 30 км газопровода. При протяженности защищаемого участка порядка 60 км созданная система ЭХЗ остается эффективной и при выходе из строя одной СКЗ за счет действия соседних станций [8].

Одним из недостатков катодной защиты часто считается опасность перезащиты, возникающей при большом смещении потенциала защищаемого объекта в отрицательную сторону; в результате которой возникает разрушение защитных покрытий, водородное охрупчивание металла, коррозионное растрескивание.

Но, как показали результаты исследований [11], количество водорода в металле трубы, находившейся длительное время в эксплуатации, незначительно, т.е. катодная защита не вызывает наводороживания металла труб и не является причиной потери металлом его пластических характеристик.

Однако наиболее опасными являются дефекты, связанные с процессом коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), в образование которых существенный вклад вносят и технология изготовления стали и трубы, и нарушения при строительстве трубопровода, и условия эксплуатации [12].

Характерная особенность КРН – это избирательное неоднородное распределение дефектов в масштабе всего газопровода и на отдельной трубе [13].

Считается, что зарождение трещины КРН происходит без участия электролита; КРН – это в первую очередь растрескивание под напряжением, и только после появления микротрещины ($\approx 50\text{--}70$ мкм), добавляется коррозионная составляющая, способствующая росту трещины.

Основной причиной разрушения подземных газопроводов является коррозия (общая, локальная) металла труб, причиной которой является нарушение защитных свойств изоляционного покрытия [11].

Защита от коррозии является одной из важнейших проблем, имеющей большое значение для народного хозяйства.

Сталь до сих пор применяется при катодной защите. В качестве заземлителей часто используют металлический лом, в том числе, рельсы от электрифицированной железной дороги. Это самый дешевый и доступный материал для анодных заземлителей. Заземлители из бывших в употреблении рельсов очень тяжёлые, имеют длительную работу по их монтажу.

Сталь – наихудший материал, так как не долговечный; через 10-15 лет эксплуатации такой анодный заземлитель заменяется. Кроме того, через пару лет эксплуатации стальной заземлитель, не растворившись полностью, уже может прекратить свою работу. Шероховатый слой образовавшейся ржавчины более чем в 3 раза превышает первоначальный объем растворившейся стали и вытянуть электрод из земли для ремонта не представляется возможным, при этом твердые продукты коррозии повышают электрическое сопротивление, которое вызывает постепенное уменьшение рабочего тока электрода до полного его прекращения.

В соответствии с законом Фарадея прохождение анодного тока в течение одного года силой в один ампер (А) вызывает растворение 10 кг железа.

Так, например, 108 катодных станций г. Чусового (Пермский край) со средним током 20 А каждой из них и суммарным 2000 А за один лишь только год разрушат 20 тонн железа.

Стальные заземлители для ЭХЗ в настоящее время устраивают с коксовой засыпкой. Благодаря углероду, кокс является проводником с электронной проводимостью. В точке соприкосновения кокса и стали нет электролитического растворения; растворение имеет место при контакте кокс-вода. А так как кокс

растворяется в 10 раз медленнее стали, срок службы анодного заземлителя увеличивается.

Но эра стальных анодных заземлителей все же заканчивается.

Основное требование, предъявляемое к анодному заземлителю – малая скорость анодного растворения. Эта проблема ЭХЗ может быть успешно решена с помощью ряда материалов, специально предназначенных для изготовления слаборастворимых анодов катодных станций.

Таблица 1. Технические характеристики заземлителя Менделеевец ММ

Table 1. Technical characteristics of the grounding conductor Mendeleevets MM

Наименование параметров	Значение
Снимаемая токовая нагрузка, А	2
Скорость анодного растворения, кг/(А·год)	0,3...0,5
Габаритные размеры, мм:	
длина	1500
диаметр	50
Масса, кг	22
Срок службы, лет, не менее	30

Таблица 2. Сравнительный анализ заземлителей

Table 2. Comparative analysis of grounding conductors

Наименование параметров	Менделеевец ММ	Рельс б/у
Номинальный рабочий ток, А	От 1,5 до 2,0 А	От 1,5 до 2,0 А
Максимальный анодный ток, А	Не более 4,0 А	Не более 4,0 А
Габаритные размеры, L, мм	1506,0± 7,0	6000
Масса, кг	22,5±1,0	330
Срок службы, лет	35	10
Скорость растворения, кг/(А·год)	Не более 0,3	10
Необходимо на СКЗ мощностью P=2 кВт, шт.		
Цена, руб.	12 56000	8 52800

В соответствии с законом Фарадея $G = qIT$, срок службы анода (T) прямо пропорционален его массе (G) и обратно пропорционален току (I). Отсюда следует формула для расчета количества электродов (n) по массе анодного заземлителя:

$$n = qIT / (G_{эл} \eta),$$

где: q – электрохимический эквивалент анодного материала, $G_{эл}$ – масса одного стержня заземлителя, кг/шт, $\eta = 0,4...0,6$ – коэффициент полезного действия или коэффициент неравномерности растворения заземлителя.

Если анодный заземлитель на ток $I = 10$ А выполнен из ферросилидовых электродов массой $G_{эл} = 22$ кг каждый на срок службы $T = 30$ лет при скорости растворения ферросилида в коксовой мелочи $q = 0,3$ кг/(А·год) и к.п.д. $\eta = 0,5$, требуемое число электродов будет равно $n = 0,3 \cdot 10 \cdot 25 / (22 \cdot 0,5) = 7$ шт.

Напряжение на анодном заземлителе, вычисляемое по закону Ома, если сопротивление растеканию одного электрода равно $R = 3,6$ Ом при $\rho = 10$ Ом·м и коэффициент взаимовлияния $F = 1,4$, составит:

Наиболее широкое распространение получили анодные заземлители из железокремнистых (ферросилидовых) электродов. Технические характеристики ферросилидовых заземлителей Менделеевец ММ приведены в таблице 1. Сравнительный анализ ферросилидовых и стальных заземлителей представлен в таблице 2.

$$U = IR_{зав} = I \cdot F \cdot R / n = 10 \cdot 1,4 \cdot 3,6 / 7 = 7 \text{ В}$$

Если удельное электрическое сопротивление грунта в четыре раза больше, т. е. $\rho = 40$ Ом·м, то R возрастет в 4 раза и, следовательно, напряжение на заземлитель должно быть равным $U = 28$ В.

Для этого заземлителя пригоден любой отечественный преобразователь, поскольку рабочее напряжение преобразователей обычно не менее $U_n = 48$ В.

В качестве источников постоянного тока для катодной защиты на СКЗ в основном используются преобразователи, которые питаются от сети 220 В промышленной частоты. Регулировка выходного напряжения преобразователя осуществляется вручную или автоматически. Если установки катодной защиты работают в условиях, изменяющихся во времени, которые могут обуславливаться воздействием блуждающих токов, изменением удельного сопротивления грунта или другими факторами, то целесообразно предусматривать преобразователи с автоматическим регулированием выходного напряжения. Автоматическое регулирование может

осуществляться по потенциалу защищаемого сооружения (преобразователи потенциостаты) или по току защиты (преобразователи гальваностаты).

Таким образом, энергозатраты являются составной частью общих затрат на эксплуатацию газопроводов. Однако при проектировании ЭХЗ условие минимизации энергетических затрат на катодную защиту в расчет не принимается [8].

РЕКОНСТРУКЦИЯ СРЕДСТВ ЭХЗ СТАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В ПЕРМСКОМ КРАЕ

Вопрос о газификации многих населенных пунктов в России до сих пор стоит очень остро. Так, планируется прокладка газопровода высокого давления (ГВД) для газоснабжения населенных пунктов правобережной части р.Чусовая (Пермский край). Для этих целей от существующего газопровода будет проложен ГВД протяженностью около 48 км с нагрузкой 8680 м³/час из полиэтиленовых и стальных труб подземной прокладкой, в том числе дюкер в две нитки через р.Чусовая.

ЭХЗ защищает данный участок газопровода от коррозии. Питание СКЗ осуществляется от шкафа-распределителя автоматизированной газораспределительной станции (АГРС).

Защите от электрохимической коррозии подлежат ГВД из стальных труб в подземном исполнении состоящий из участков, в том числе дюкер в две нитки через р.Чусовая:

-диаметром $D=426 \times 8,0$; $D=426 \times 10,0$
протяженностью 1119,5 м. от точки врезки.

-диаметром $D=530 \times 8,0$ протяженностью 70,36 м.

-диаметром $D=159 \times 4,5$ и $D=325 \times 7,0$
протяженностью 174,03 м.

В настоящее время для защиты от электрохимической коррозии существующих ГВД в районе АГРС установлена неавтоматизированная установка катодной защиты ОПС-1200.

Установка имеет параметры работы $I=10A$, $U=28B$ и максимальным значениям потенциала в точке дренажа минус 1 В. Сопротивление растеканию $R=11,56$ Ом. Согласно правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) не более $R=4$ Ом.

Реконструированный ГВД будет входить в радиус защиты данного преобразователя, а значит, требуется выполнить реконструкцию всей установки защиты.

Была проанализирована работа установки ЭХЗ за последние два года и установлено, что суммарная продолжительность перерывов в работе установок ЭХЗ превышает 14 суток в течение года; при технических осмотрах СКЗ были зафиксированы неоднократные повышения потенциала, которые не соответствовали нормам ГОСТ; требовалась постоянная регулировка установки.

Поэтому было принято решение о более частых обходах с целью проверки СКЗ, а это дополнительные затраты на обслуживание. Ремонт преобразователя приходилось выполнять не на месте эксплуатации установки, а для установки неисправности его приходилось демонтировать и перевозить в эксплуатационное управление, где преобразователь и подвергался ремонту.

При осмотрах обнаруживалось, что оборудование сильно изношено, срок эксплуатации превышает девятнадцать лет, такие установки защиты уже не выпускаются и подобрать запасные засти для ремонта не представляется возможным.

В связи с этим, решено выбрать один из двух вариантов катодных преобразователей от двух разных производителей (таблица 3), которые смогут решить проблему ЭХЗ на ГВД.

Таблица 3. Характеристики катодных преобразователей

Table 3. Characteristics of cathode converters

Наименование параметров	ОПС-50-24-У1	Тверца
Номинальный выходной ток, А	50	42
Номинальное выходное напряжение, В	24	48
Номинальное входное напряжение, В	220	170-260
Номинальная входная частота, Гц	50	50
Коэффициент полезного действия, % не менее	67	85
Коэффициент мощности, % не менее	0,8	0,95
Выходная мощность, кВт	1,2	2,0
Пульсация тока на выходе с фильтром, не менее, %	4,5	0,5
Диапазон установки защитного потенциала, В	0,8 – 3,5	0,5- 5,0
Отклонение разностного защитного потенциала или тока, не более % в нормальных условиях от установки	±3,0	±2,0
Диапазон установки разностного потенциала, В, в пределах	От -0,8 до -3,5	От -0,8 до -4,5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На основе анализа работы существующей установки ЭХЗ и с учетом современных материалов и средств ЭХЗ выбран вариант по повышению надежности работы газопровода и устойчивости работы ЭХЗ на ГВД.

Для осуществления предложенного варианта необходимо провести реконструкцию средств ЭХЗ, а именно:

- заменить существующий анодный узел из железнодорожных рельс на электроды из ферросилидных сплавов типа Менделеевец ММ;
- заменить существующую станцию катодной защиты ОПС трансформаторного типа на станцию «Тверца» импульсного типа;
- заменить дренажные и питающие линии;
- установить блоки совместной защиты, а также контактные устройства.

Автоматизированная катодная станция будет постоянно поддерживать заданный защитный потенциал и в зависимости от ситуации менять ток. Оборудование с системой телеметрии позволит вести контроль за работой СКЗ и менять параметры установок с диспетчерского пульта. Реконструкция средств ЭХЗ позволит увеличить срок службы защиты до 30 лет, снизить эксплуатационные издержки и негативное влияние на окружающую среду.

ВЫВОДЫ

Несмотря на лидирующие позиции по запасам и уровню добычи природного газа, во многих федеральных округах РФ уровень газификации является достаточно низким.

Темпы роста газификации в стране устойчивые, но недостаточные, поэтому вопрос о газификации многих населенных пунктов в России до сих пор стоит очень остро.

При новом строительстве, реконструкции и замене газопроводов, отслуживших свой срок, необходимо уделять пристальное внимание защите конструкций от коррозии; использовать современные материалы анодных узлов и автоматизированные катодные станции, оборудованные системами телеметрии.

Эти мероприятия позволят продлить срок эксплуатации газопроводов, защитить от опасных воздействий обслуживающий ГВД персонал, население и окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухсинова Л. Х., Ахметова З. А. Трубопроводные системы как геоэкономический фактор обеспечения стабильности современного мирового развития// Международный научный журнал «Интернаука». 2017. № 10. С. 118-125.
2. Ильина О. Ю., Волкова Е. В., Боброва Э. М. Соблюдение экологических требований при транспортировке газа// Актуальные

проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 2. С. 3-5.

3. Ляпина В. В., Бурмистрова А. Б., Денисенко Е. Н. Особенности проведения экспертизы промышленной безопасности проектной документации на объектах магистральных трубопроводов// Технические науки - от теории к практике. 2015. № 51. С. 127-130.

4. Ксензов М. В. Аналитический обзор отчетов в области сбора данных по нештатным ситуациям при эксплуатации газопроводов// Инженерный вестник Дона. 2015. № 3 (37). С. 113.

5. Алиев М. М., Батогов В. В., Лясковский С. А. Особенности эксплуатации межпоселковых сетей газоснабжения// Инновации в строительстве и промышленности. 2016. № 1 (3). С. 2.

6. Причины аварий на подземном трубопроводном транспорте и современные методы их устранения/ П. С. Орлов, В. С. Шкрабак, Л. А. Голдобина, Е. С. Попова// Аграрный научный журнал. 2015. № 6. С. 59-64.

7. Рыбин В. А., Иванов В. А. Проблемы повышения энерго и ресурсоэффективности при сооружении и реконструкции магистральных трубопроводов// Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 7 (32). С. 60-62.

8. Тарасов А. В. Система защиты магистральных трубопроводов и процесс их консервации и ликвидации// Промышленные и строительные технологии. 2016. № 10 (12). С. 6.

9. Влияние внешних факторов на долговечность инженерных подземных коммуникаций/ Н. Н. Губанов, В. А. Иванов, Е. Я. Крымская, В. Е. Есипов// Сервис в России и за рубежом. 2013. № 1 (39). С. 59-69.

10. Ахмедов А. М. Анализ антикоррозионной защиты при строительстве и капитальном ремонте линейно-протяженных сооружений// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 30 (49). С. 184-189.

11. Лубенский С. А., Ямников С. А. Влияние длительности эксплуатации на свойства металла труб магистральных газопроводов// Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10. № 1. С. 58-63.

12. Ангалев А. М., Бутусов Д. С., Топилин А. В. Комплексный подход к решению проблемы коррозионного растрескивания под напряжением на трубопроводах компрессорных станций ОАО «Газпром»// Территория Нефтегаз. 2015. № 4. С. 52-60.

13. Еремин Д. В., Иванов Ф. Ф. Анализ и классификация дефектов магистральных газопроводов// Вестник Сургутского государственного университета. 2013. № 2 (2). С. 13-19.

REFERENCES

1. Mukhsinova L. Kh., Akhmetova Z. A. Pipeline systems as a geo-economic factor of ensuring stability of the modern world development. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal "Internauka"*. 2017. No 10. S. 118-125.
2. Il'ina O. Yu., Volkova E. V., Bobrova Eh. M. Compliance with environmental requirements during gas transportation. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2017. T. 2. pp. 3-5. (In Russian).
3. Lyapina V. V., Burmistrova A. B., Denisenko E. N. Features of examination of industrial safety of project documentation at the facilities of trunk pipelines. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike*. 2015. No 51. pp. 127-130. (In Russian).
4. Ksenzov M. V. Analytical review of reports in the field of data collection on emergency situations in the operation of gas pipelines. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2015. No 3 (37). pp. 113. (In Russian).
5. Aliev M. M., Batogov V. V., Lyaskovskij S. A. Features of operation of inter-settlement networks of gas supply. *Innovatsii v stroitel'stve i promyshlennosti*. 2016. No 1 (3). pp. 2. (In Russian).
6. Orlov P. S., SHkrabak V. S., Goldobina L. A., Popova E. S. Causes of accidents on underground pipeline transport and modern methods of their elimination. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2015. No 6. pp. 59-64. (In Russian).
7. Rybin V. A., Ivanov V. A. Problems of increasing energy and resource efficiency in the 14.).
8. Tarasov A. V. System of protection of main pipelines and process of their conservation and liquidation. *Promyshlennye i stroitel'nye tekhnologii*. 2016. No 10 (12). pp. 6. (In Russian).
9. Gubanov N. N., Ivanov V. A., Krymskaya E. YA., Esipov V. E. Influence of external factors on the durability of underground utilities. *Servis v Rossii i za rubezhom*. 2013. No 1 (39). pp. 59-69. (In Russian).
10. Akhmedov A. M. Analysis of corrosion protection during construction and overhaul of linear-extended structures. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No 30 (49). pp. 184-189. (In Russian).
11. Lubenskij S. A., YAmnikov S. A. Influence of service duration on properties of metal of pipes of the main gas pipelines. *Problemy analiza riska*. 2013. T. 10. No 1. pp. 58-63. (In Russian).
12. Angalev A. M., Butusov D. S., Topilin A. V. Integrated approach to solving the problem of stress corrosion cracking in pipelines of Gazprom compressor stations. *Territoriya Neftegaz*. 2015. No 4. pp. 52-60. (In Russian).
13. Eremin D. V., Ivanov F. F. Analysis and classification of defects of main gas pipelines. *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. No 2 (2). pp. 13-19. (In Russian).

PROTECTION OF PIPELINES AGAINST CORROSION DUE TO RECONSTRUCTION OF GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

Romanova T.N.

Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky prospect, Perm

e-mail: vvstf@pstu.ru

Summary. The place of gas fuels in the fuel and energy balance of Russia is shown. The features of operation of pipelines during transportation of natural gas are considered. It is established that the reliability of the pipeline transport is one of the most important tasks, which determines the amount of emissions of harmful substances; dangerous impact on the staff, the surrounding population and the environment. The main causes of failures in pipeline transport are identified and corrosion is considered as one of the causes of environmental imbalance. The main methods of corrosion protection of pipelines are passive and active protection. On the example of the reconstruction of the gas pipeline in the Perm region, possible means of protection are considered. The option to improve the reliability of the gas pipeline and the stability of the electrochemical protection on the gas pipeline is selected.

Subject: Means Of protection against when laying a high-pressure gas pipeline for gas supply of settlements of the right-Bank part of the Chusovaya river in the Perm region.

Results: The work of the protective installation for the last two years on the high-pressure gas pipeline is analyzed. The option of reconstruction of protective equipment to improve the reliability of the pipeline is selected.

Conclusions: During the reconstruction of gas pipelines, it is necessary to pay close attention to the protection of structures from corrosion; to use modern materials of anode assemblies and automated cathode stations equipped with telemetry systems. These measures will extend the life of gas pipelines, protect the maintenance personnel, the population and the environment from dangerous impacts.

Key words: Natural gas, gas supply, pipeline, trunk gas pipelines, gas distribution network, metal pipes, galvanic corrosion.

УДК 621.311.161

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ВЕТРО- И СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Амерханов Р.А., Бекиров Э.А., Асанов М.М.

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Адрес: г. Краснодар ул. Калинина, 13

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

E-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Аннотация. Сохранение окружающей среды является актуальнейшей задачей современной энергетики. Традиционные энергоустановки используют ископаемое топливо выбросы, от сжигания которого, вредят экологии. Возобновляемые источники производят электрическую энергию, не загрязняя природу. Однако их работа и, соответственно, график вырабатываемой мощности напрямую зависит от погодных условий. Наличие таких энергоустановок в общей энергосистеме может привести к снижению ее надежности. В работе проанализирована совместная работа теплоэлектростанции с ветряной и солнечной электростанциями. Предложен ряд блок схем подключения рассматриваемых электростанций к общей энергосистеме.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, возобновляемые источники, совместная работа, схемы управления

ВВЕДЕНИЕ

Стремление снизить влияние деятельности человека на окружающую среду побуждает переходить на не загрязняющие природу нетрадиционные источники энергии. Среди преимуществ этих энергоустановок выделяют, в первую очередь, их безопасность для экологии и возможность получения энергии из возобновляемых источников [1].

К недостаткам, кроме всего прочего, можно отнести то, что увеличение доли электроэнергетики, вырабатываемой возобновляемыми источниками, в общей энергосистеме может привести к снижению ее надежности [2]. Это вызвано прямой зависимостью объемов выработки энергии такими электростанциями от переменчивых погодных условий [3, 4]. Изменение скорости и направления ветра для ветроэлектростанций, величины интенсивности падающего излучения для солнечных электростанций ведет к значительным колебаниям мощности на выходе энергоустановок и, соответственно, во всей энергосистеме в целом.

Таким образом, вопрос оптимизации режимов работы солнечных и ветряных электростанций стоит достаточно остро.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

С целью нахождения оптимального баланса количества энергии, вырабатываемой возобновляемыми и традиционными источниками, в общей энергосистеме в [2] проведена оценка распределения мощностей между генерирующими установками. Для проведения расчетов используется статистика за 2016 г. Определены критерии выбора доли возобновляемых источников в энергосистеме: минимизация совокупной

дисперсии или дополнительной вариативности нагрузки энергосистемы при внедрении ветровой и солнечной генерации. Оптимальным решением, в этом случае, будет определенная пропорция ветровой и солнечной составляющих, зависящая от среднегодовых или сезонных погодных условий.

Вопрос оптимального распределения нагрузки между электростанциями для повышения эффективности работы энергосистемы значительно усложнился в современных условиях энергорынка [5]. Отмечается, что ответ на этот вопрос заключается в решении двух задач: формирование обоснованных тарифов на электроэнергию и обеспечение оптимальных режимов работы энергосистемы. Распределение нагрузки предложено осуществлять согласно принципа наименьшего действия, описанного в [6]. Принцип заключается в том, что после отклонения режима работы системы от оптимального, в ней возникает встречная сила, которая пытается вернуть систему обратно в оптимальное состояние. Таким образом, в произвольный момент времени для любой системы нормой является качественный оптимум, глубина которого определяется степенью идеальности системы. Повысить степень идеальности энергосистемы можно путем оптимизации конструктивных параметров и за счет насыщения системы отрицательными обратными связями. Приведено распределение нагрузок между электростанциями по экономическим сопротивлениям, осуществлен анализ чувствительности взаимных и транзитных потерь мощности в энергосистеме [5].

Для управления работой фотоэлектрической станции, работающей на общую энергосеть, была разработана полная структурная схема преобразовательной системы [7]. Представлены принципиальные электрические схемы компонентов системы, в том числе,

преобразователя постоянного тока и трехфазного инвертора напряжения. Построены волновые диаграммы и коммутационные функции электрических величин системы для регулирования и управления процессами в ней.

Для увеличения эффективности работы ТЭС предложена солнечная энергоустановка, в которой происходит одновременный нагрев воды и воздуха [8]. В описанной системе нагретая вода используется для нужд электростанции, а также, при необходимости, для дополнительно подогрева воздуха, поступающего в теплообменник из солнечного коллектора.

Проведено моделирование работы двух солнечных электростанций и гидроэлектростанции, работающих совместно в общей энергосистеме [9]. Рассматривались два случая: при автономной работе этих электростанций и при наличии питания потребителей от общей энергосистемы. В качестве примера были взяты две солнечные электростанции по 2МВт и гидроэлектростанция мощностью 150 кВт. Результаты моделирования показали, что совместная работа указанных энергоустановок обеспечит питание потребителей в случае прекращения снабжения от общей энергосистемы.

Анализ совместной работы солнечной, ветровой и тепловой электростанций для питания отдельно взятого района города выполнен в [10, 11]. В [10] рассматривается туристический комплекс в г. Александрия, Египет. Выполнен расчет нагрузки потребителей электроэнергии, а также выбор компонентов системы электроснабжения и их параметров: солнечных панелей (1600 кВт), ветротурбин (1000 кВт), дизель-генераторов (200 кВт), преобразователей энергии (1000 кВт) и батарей (1178 кАч). Сообщается, что объем выбросов парниковых газов такой системой был сведен к 31,289 кг/год.

Для электроснабжения индустриального парка на территории провинции в северной части Китая планируется использовать энергоустановки солнечной, ветровой и тепловой электростанций [11]. Рассмотрено четыре сценария: питание потребителей только электроэнергией, вырабатываемой теплоэлектростанцией; тепло- и ветроэлектростанциями; тепло- и солнечной электростанциями; тремя электростанциями. Для оптимизации совместной работы генерирующих установок использовался вектор Шепли, в котором учитывались, так называемые, факторы стоимости, риска и вклада. Было определено, что вклад ветроэлектростанции должен составлять 17,66 %, теплоэлектростанции – 65,55 %, солнечной электростанции – 16,79 %. В данном случае, такая пропорция участия поставщиков электроэнергии будет оптимальна с точки зрения их вклада в энергоснабжения объекта и получения соответствующего дохода, а значит и наличие заинтересованности в проекте.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для оптимизации работы теплоэлектростанции (ТЭС) при совместной работе с генерирующими станциями на основе возобновляемой энергии, такими как ветро- (ВЭС) и солнечной (СЭС) электростанциями, увеличение генерирующих мощностей возобновляемых энергоустановок должно снижать мощность ТЭС, что естественно приводит к снижению объема используемого топлива.

Рассмотрим совместную работу ВЭС, СЭС и ТЭС и методы оптимизации работы генерирующих станций.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

$$P_G = \sum P_{нагр.} + \sum P_{с.н.} + \sum P_c = \sum P_n;$$

$$Q_G = \sum Q_{нагр.} + \sum Q_{с.н.} + \sum Q_c = \sum Q_n;$$

$$\sum P_n = f(U, I, \cos \varphi); \quad \sum Q_n = f(U, I, \sin \varphi),$$

где $\sum P_{нагр.}$, $\sum Q_{нагр.}$, $\sum P_{с.н.}$, $\sum Q_{с.н.}$, $\sum P_c$, $\sum Q_c$, $\sum P_n$, $\sum Q_n$ – суммы активных и реактивных мощностей, соответственно, нагрузки, собственных нужд, потерь и потребителя.

С целью оценки характера изменений напряжения, тока и коэффициента мощности воспользуемся разложением функций $\sum P_n = f(U, I, \cos \varphi)$, $\sum Q_n = f(U, I, \sin \varphi)$ в ряд Тейлора и, пренебрегая членами с производными высших порядков, имеем:

$$\begin{aligned} \sum P_n = & \left(\sum P_n \right)_0 + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial I} \right) \Delta I + \\ & + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial \cos \varphi} \right) \Delta \cos \varphi; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum Q_n = & \left(\sum Q_n \right)_0 + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial I} \right) \Delta I + \\ & + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial \sin \varphi} \right) \Delta \sin \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

При изменении величины генерируемой мощности, уравнения баланса мощности для нового установившегося режима с учетом (1) и (2) могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} P_{G0} + \Delta P_G = & \left(\sum P_n \right)_0 + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial U} \right) \Delta U + \\ & + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial I} \right) \Delta I + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial \cos \varphi} \right) \Delta \cos \varphi; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Q_{\Gamma 0} + \Delta Q_{\Gamma} = & \left(\sum Q_n \right)_0 + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial U} \right) \Delta U + \\ & + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial I} \right) \Delta I + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial \sin \varphi} \right) \Delta \sin \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как $P_{\Gamma 0} = \left(\sum P_n \right)_0$ и $Q_{\Gamma 0} = \left(\sum Q_n \right)_0$, уравнения (3) и (4) примут вид:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Gamma} = & \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial I} \right) \Delta I + \\ & + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial \cos \varphi} \right) \Delta \cos \varphi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\Gamma} = & \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial I} \right) \Delta I + \\ & + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial \sin \varphi} \right) \Delta \sin \varphi. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{\Gamma} = & \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial I} \right) \Delta I + \\ & + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial U} \right) \Delta U + \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial I} \right) \Delta I. \end{aligned}$$

Коэффициент изменения реактивной мощности может быть найден из уравнения:

$$\Delta tg \beta = \frac{\frac{\partial \sum Q_n}{\partial U} \Delta U - \left(\frac{\partial \sum Q_n}{\partial \sin \varphi} \right) \Delta \sin \varphi}{\frac{\partial \sum P_n}{\partial U} \Delta U - \left(\frac{\partial \sum P_n}{\partial \cos \varphi} \right) \Delta \cos \varphi}.$$

На величину реактивной мощности оказывают влияние локальные генерирующее системы, а также потребители, имеющие нелинейные и несимметричные нагрузки. Они приводят к изменению значений $\Delta \sin \varphi$ и $\Delta \cos \varphi$, нивелировать которые можно за счет включения компенсирующих устройств непосредственно в узлах системы электроснабжения, где наблюдаются наибольшие отклонения указанных значений.

Определить изменения $\Delta \sin \varphi$ и $\Delta \cos \varphi$ можно по показаниям приборов учета активной и реактивной мощности, с помощью амперметра за короткий промежуток времени, либо по показаниям цифровых измерительных комплексов учета качества электрической энергии. Автоматическое переключение нагрузки между несколькими источниками питания без оператора можно осуществлять благодаря «автоматическим переключателям» (ATS – Automatic transferswitches) [12]. Однако существующие коммутаторы и переключатели не позволяют производить выборочное включение той или иной генерирующей станции.

Авторами разработана система автоматического управления генерацией

электрической энергии ВЭС, СЭС, ТЭС для бесперебойного электроснабжения потребителей, причем приоритетным является использование энергии, генерируемой ВЭС и СЭС. Коммутация возобновляемых источников энергии в единую электрическую цепь низкого напряжения осуществляется автоматически.

Для оперативного управления работой генерирующих станций необходимо иметь данные электроэнергетических параметров работающих станций: напряжения, токи, частоту и мощности. Важными являются также энергетические параметры сети.

На рис. 1 приведена блок-схема генерирующих станций – ВЭС, СЭС, ТЭС и микроконтроллер – МК.

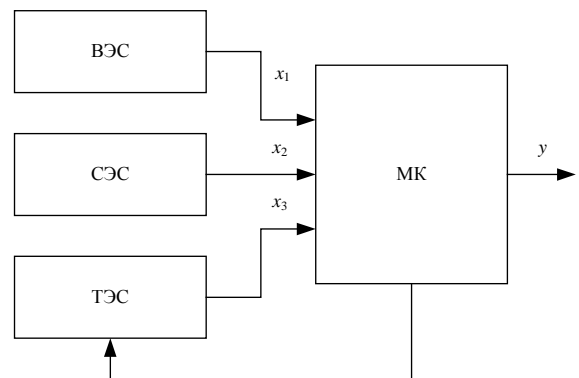


Рис. 1. Блок-схема генерирующих станций ВЭС, СЭС, ТЭС и коммутирующего устройства МК

Fig. 1. Block diagram of generating stations of wind power stations, sanitary power stations, thermal power plants and switching devices МК

Рассмотрим работу блок-схемы разработанного автоматического коммутирующего устройства.

Введем обозначения:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= P_{ВЭС} + jQ_{ВЭС} = S_{ВЭС}; \\ x_2 &= P_{СЭС} + jQ_{СЭС} = S_{СЭС}; \\ x_3 &= P_{ТЭС} + jQ_{ТЭС} = S_{ТЭС}; \\ y &= P_{сум} + jQ_{сум} = S_{сум}, \end{aligned} \right\}$$

где x_1, x_2, x_3, y – значение полной выходной мощности, соответственно, ВЭС, СЭС, ТЭС и энергосистемы.

Для стабильной работы энергосистемы необходимо соблюдение равенства:

$$x_1 + x_2 + x_3 = y \text{ или}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 - y = 0. \quad (5)$$

Формула (5) соответствует идеальному случаю работы системы, но так как в реальности мощности генерирующих станций не всегда соответствуют мощностям энергопотребителей, выражение (5) представим в виде:

$$x_1 + x_2 + x_3 - y \rightarrow \min.$$

Величины мощностей x_1, x_2, x_3 должны соответствовать следующим требованиям:

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0 \text{ и } x_3 = y - (x_1 + x_2).$$

Следует отметить, что x_1 и x_2 – величины переменные, так как выходные мощности возобновляемых источников напрямую зависят от погодных условий.

Если принять условное допущение, что $y=1$, то есть равно номинальной мощности сети, а $x_1 + x_2 \leq kx_3$, то имеем:

$$x_1 + x_2 = 1 - x_3; 1 - x_3 - kx_3 \leq 0; x_3(1+k) \geq 1,$$

где k – коэффициент, определяющий величину суммарной мощности, генерируемой ВЭС и СЭС.

Тогда:

$$x_3 \geq \frac{1}{1+k}.$$

Согласно балансу мощностей:

$$\sum P_{уст} = \sum P_{ВЭС} + \sum P_{СЭС} + \sum P_{ТЭС};$$

$$\sum Q_{уст} = \sum Q_{ВЭС} + \sum Q_{СЭС} + \sum Q_{ТЭС},$$

где $\sum P_{уст}$, $\sum Q_{уст}$ – активная и реактивная мощности источников электрической энергии.

В свою очередь:

$$\sum P_{уст} = \sum P_n; \sum Q_{уст} = \sum Q_n.$$

Тогда:

$$U_{ВЭС} I_{ВЭС} \cos \varphi_1 + U_{СЭС} I_{СЭС} \cos \varphi_2 + U_{ТЭС} I_{ТЭС} \cos \varphi_3 = UI \cos \varphi;$$

$$U_{ВЭС} I_{ВЭС} \sin \varphi_1 + U_{СЭС} I_{СЭС} \sin \varphi_2 + U_{ТЭС} I_{ТЭС} \sin \varphi_3 = UI \sin \varphi.$$

При этом следует учесть, что напряжения генерирующих станций и энергосистемы должны быть равны друг другу.

На рис. 2 приведена принципиальная схема подключения трехфазных источников энергии – генерирующих электростанций ВЭС, СЭС и ТЭС на трехфазную линию энергосистемы с включением измерительных трансформаторов тока, используемых в качестве датчиков тока, необходимых для управления работой генерирующих станций.

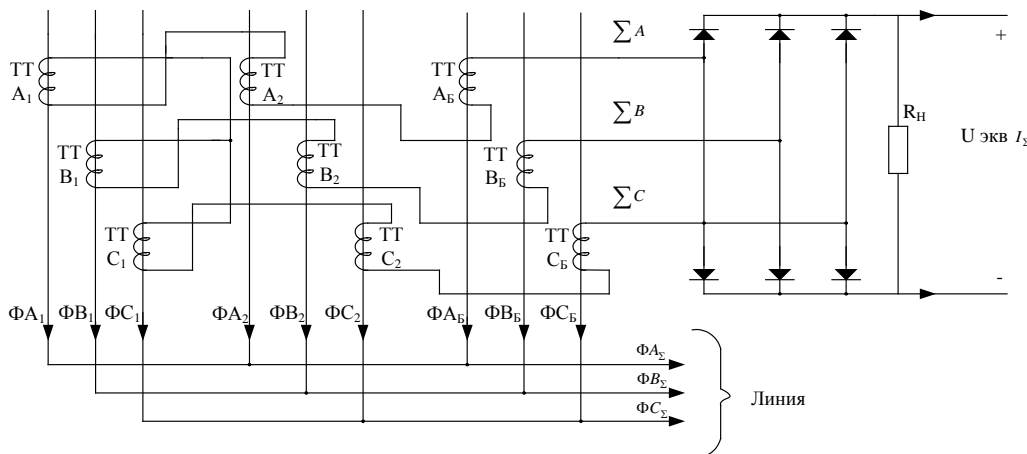


Рис. 2. Принципиальная схема подключения трехфазных напряжений станции к общей линии

Fig. 2. Schematic diagram of the connection of three-phase voltages of the station to a common line

На рис. 2 показаны:

- $\Phi_{A1}, \Phi_{B1}, \Phi_{C1}$ – фазовые напряжения ВЭС (вспомогательного источника 1);
- $\Phi_{A2}, \Phi_{B2}, \Phi_{C2}$ – фазовые напряжения СЭС (вспомогательного источника 2);
- $\Phi_{AБ}, \Phi_{BБ}, \Phi_{CБ}$ – фазовые напряжения ТЭС (базового источника, в данном случае рассмотрим газотурбинный генератор (ГТГ));
- $\Phi_{A\Sigma}, \Phi_{B\Sigma}, \Phi_{C\Sigma}$ – фазовые напряжения линии;
- $U_{Экв} I_{\Sigma}$ – эквивалентное напряжение, соответствующее алгебраической сумме токов вспомогательных и базового источников.

Датчик тока определяет ток, а соответственно и мощность, учитывая, что напряжение всех источников при их параллельной работе одинаково. Он состоит из девяти однотипных трансформаторов тока (ТТ), включенных по предложенной на рис. 2 электрической схеме. ТТ

второстепенных источников включены между собой согласно (синфазно), а базового источника (генератора) – встречно ТТ второстепенных источников. В результате чего пофазно получаем разность токов второстепенных источников и тока базового источника. После трехфазного выпрямления получаем постоянное эквивалентное напряжение, соответствующее разности токов второстепенных источников и тока базового источника $U_{Экв}, I_{\Sigma}$. Оно является управляющим напряжением для системы автоматического управления газотурбинным генератором базового источника.

На функциональных схемах (рис. 3 – 5) показаны возможные схемы управления мощностью базового генератора.

На функциональной блок-схеме (рис. 3) показано:

- $U_{Экв} I_{\Sigma}$ – эквивалентное напряжение,

соответствующее алгебраической сумме токов второстепенных и базового источника;

- УРМ – устройство регулировки мощности;
- ГТУ – газотурбинная установка;
- Г – генератор;
- ЭРЧВ – электронный регулятор частоты вращения ГТУ;

- БТА – блок топливной аппаратуры;
- СУВ и РН – система управления возбуждением и регулятор напряжения.

Управляющий сигнал, в этом случае, поступает в схему УРМ, как показано на этой функциональной схеме.

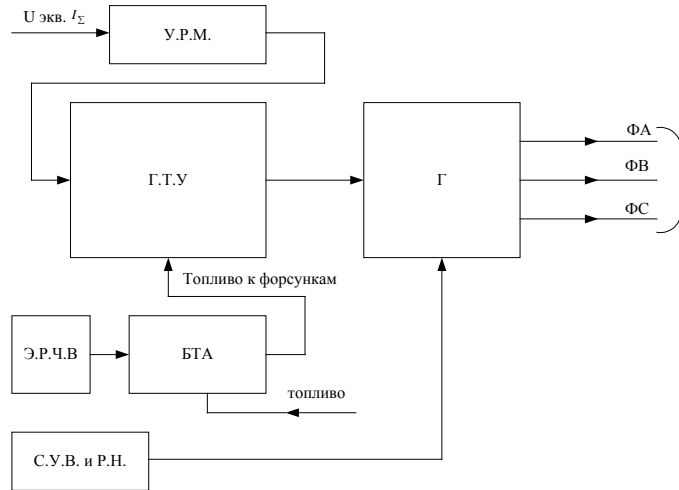


Рис. 3. Вероятная функциональная блок-схема управления ГТГ

Fig. 3. Probable functional block diagram of the control GTG

На рис. 4 показана ещё одна блок-схема управления базового источника при использовании жидкого топлива. Она отличается от схемы на рис. 3

наличием сумматора-усилителя, а также дренажного клапана ДК.

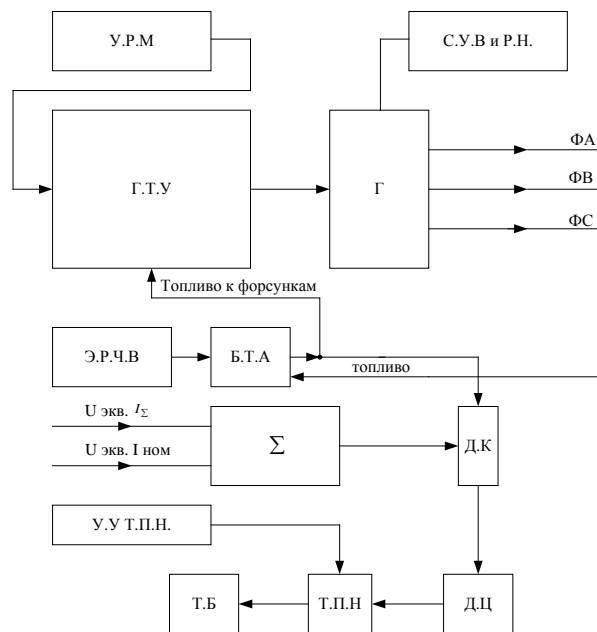


Рис. 4. Вероятная функциональная блок – схема генератора на жидком топливе

Fig. 4. Probable functional block diagram of the generator on liquid fuel

На рис. 4 введены следующие обозначения блоков:

- Σ – сумматор, для выработки угла рассогласования и усилитель для управления дренажным клапаном;
- $U_{ЭКВ}I_{\Sigma}$ – эквивалентное напряжение, соответствующее алгебраической сумме токов второстепенных и базового источника;

- $U_{ЭКВ}I_{НОМ}$ – эквивалентное напряжение, соответствующее номинальному току;
- ДК – дренажный клапан (пропорциональный клапан);
- ДЦ – дренажная цистерна;
- ТПН – топливоперекачивающий насос;
- УУ ТПН – устройство управления топливоперекачивающим насосом;

- ТБ – топливный бак;
- ТК – топливный клапан.

Для работы данной функциональной схемы необходим ещё один источник постоянного тока, напряжение которого эквивалентно номинальному току базового источника питания. Разница этих сигналов (алгебраическая сумма) является сигналом управления для дренажного клапана. Так как давление топлива перед форсунками выше

атмосферного, лишнее (в данном случае) топливо сливается в дренажную цистерну, откуда, при достижении верхнего уровня с помощью устройства управления топливперекачивающим насосом перекачиваются в топливный бак.

На рисунке 5 приведена функциональная блок-схема другого варианта управления генерирующей установкой.

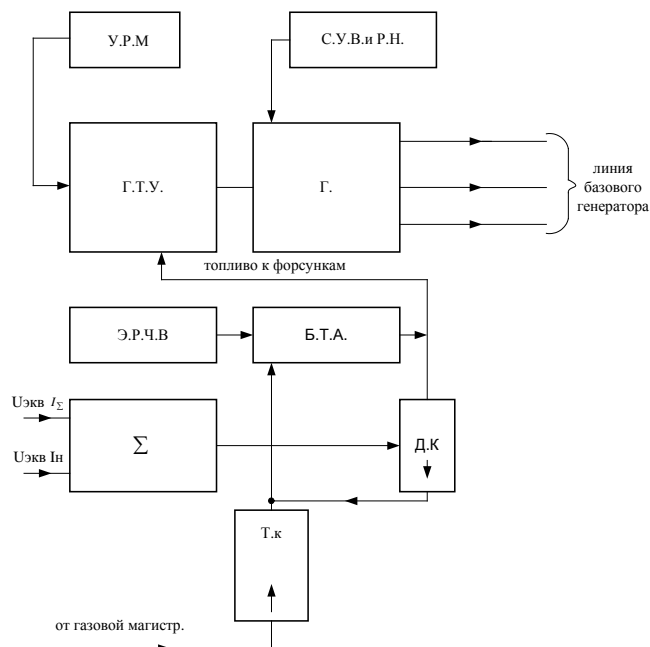


Рис. 5. Функциональная блок-схема генерирующей установки

Fig. 5. Functional block diagram of the generating installation

Функциональная блок-схема (рис. 5) отличается от предыдущей (рис. 4) тем, что она предназначена для питания ГТГ природным газом. Возврат топлива в этом случае осуществляется через дренажный клапан при наличии топливного клапана. Топливный клапан открыт только тогда, когда давление в газовой магистрали выше давления, требуемого для работы турбины в номинальном режиме и когда генерируемая мощность базового генератора соответствует номинальной мощности, и, следовательно, дренажный клапан закрыт.

Так как давление перед форсунками выше давления в газовой магистрали при открытии дренажного клапана топливный кран прикрывается из-за разности давлений и излишки с топливного клапана поступают через дренажный клапан в топливный бак. Это определяет уменьшение топлива, поступающего в газотурбинную установку и, соответственно, экономический эффект.

ВЫВОДЫ

Уменьшить объем выбросов вредных веществ в атмосферу при производстве электрической энергии возможно в случае использования возобновляемых источников. Полная зависимость

работы таких источников от погодных условий негативно сказывается на надежности общей энергосистемы. Решением этого вопроса может являться система управления совместной генерацией в сеть возобновляемых и традиционных источников энергии. Непрерывный мониторинг параметров электроэнергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками, позволит контролировать и оптимизировать работу энергоустановок, использующих ископаемое топливо. Предложенные блок-схемы управления генерирующей установкой теплоэлектростанции дадут возможность уменьшить затрачиваемые ей ресурсы без снижения качества электрической энергии и надежности ее поставки потребителям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекиров Э.А. Возобновляемая энергетика. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016.
2. Кузнецов Н.П., Смертюк В.Н., Лысенко О.В., Нестерчук Д.Н., Адамова С.В. Оптимизация соотношения мощностей ветровых и солнечных электростанций // Problemele Energeticii Regionale. – 2018. – № 3 (38). – С. 127 – 140.
3. Суслов К.В., Шушпанов И.Н., Воронцов Д.В. Использование возобновляемых источников энергии для питания собственных нужд нефтепровода // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –

2018. – Т. 20. – № 1-2. – С. 70–79.

4. Четошникова Л.М., Смоленцев Н.И., Четошников С.А., Гусаров Г.В. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20. – № 5-6. – С. 3–12.

5. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Бурыкин А. Б., Тептя В. В. Оптимальное распределение нагрузки между электрическими станциями в условиях энергорынка // Научные труды ВНТУ. – 2008. – № 3. – С. 1 – 11.

6. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Нетребский В.В. Принцип наименьшего действия в задачах оптимизации электроэнергетических систем // Техническая электродинамика. – 2006. – № 3. – С. 35 – 41.

7. Кохреидзе Г.К., Лаошвили Д.П., Пхакадзе Ш.А. Управление системой при совместной работе солнечных фотоэлектрических станций и сети переменного тока // Электротехнические и компьютерные системы. – 2011. – № 3. – С. 371 - 374.

8. Батухтин С.Г., Сафронов П.Г., Бальжуров Ц.Б. Альтернативные энергосберегающие технологии для повышения эффективности ТЭС // Nauka-rastudent.ru. – 2016. – No. 03(027). – [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka-rastudent.ru/27/3337/> (дата обращения: 06.04.2019).

9. Lezhnyuk P., Hunko I., Malogulko Ju., Kotylo I., Krot L. Modeling of Compatible Work of Distributed Power Sources of Electric Power and Centralized Power Supply // Technical Sciences and Technologies. – 2018. – № 2 (12). – P. 189 – 195.

10. Diab F., Lan H., Zhang L. and Ali S. An Environmentally-Friendly Tourist Village in Egypt Based on a Hybrid Renewable Energy System—Part Two: A Net Zero Energy Tourist Village // Energies. – 2015. – No 8(7). – P. 6945-6961. doi:10.3390/en8076945.

11. Yang S., Tan Z., Ju L., Lin H., De G., Tan Q. and Feng'ao Z. An Income Distributing Optimization Model for Cooperative Operation among Different Types of Power Sellers Considering Different Scenarios // Energies. – 2018. – No 11. – P. 2895. doi:10.3390/en11112895.

12. Switches. Automatic Transfer Switches [Электронный ресурс]. URL: <https://library.e.abb.com/public/01498fe021f05df6c1257662003ead73/1SCC303001B0201.pdf> (дата обращения: 06.04.2019).

REFERENCES

1. [1] Bekirov E.A. Renewable energy. - Simferopol: IT "ARIAL", 2016.

2. [2] Kuznetsov N.P., Smertyuk V.N., Lysenko O.V., Nesterchuk D.N., Adamova S.V. Optimization of the ratio of power wind and solar power // Problemele Energeticii Regionale. - 2018. - № 3 (38). - p. 127 - 140.

3. [3] Suslov K.V., Shushpanov I.N., Vorontsov D.V. The use of renewable energy sources to power the pipeline's own needs // News of higher educational institutions. Energy problems. - 2018. - Т. 20. - № 1-2. - p. 70–79.

4. [4] Chetoshnikova L.M., Smolentsev N.I., Chetoshnikov S.A., Gusarov G.V. Autonomous power supply systems with renewable energy sources and smart grid // News of higher educational institutions. Energy problems. - 2018. - Т. 20. - № 5-6. - p. 3–12.

5. [5] Lezhnyuk P.D., Kulik V.V., Burikin A.B., Teptya V.V. Optimal load distribution between electric power stations in the conditions of the energy market // Scientific works of VNTU. - 2008. - № 3. - p. 1 - 11.

6. [6] Lezhnyuk P.D., Kulik V.V., Netrebky V.V. The principle of least action in problems of optimization of electric power systems // Technical Electrodynamics. - 2006. - № 3. - p. 35 - 41.

7. [7] GK Kohreidze, D.P. Laoshvili, Sh.A. Pkhakadze System management in the joint operation of solar photovoltaic stations and AC networks // Electrotechnical and computer systems. - 2011. - № 3. - p. 371 - 374.

8. [8] SG Batukhtin, PG Safronov, TS.B. Balzhurov Alternative energy-saving technologies to improve the efficiency of thermal power plants // Nauka-rastudent.ru. - 2016. - No. 03 (027). - [Electronic resource]. URL: <http://nauka-rastudent.ru/27/3337/> (appeal date: 04/06/2019).

9. [9] Lezhnyuk, P., Hunko, I., Malogulko, Ju., Kotylo, I., Kotl. - 2018. - № 2 (12). - P. 189 - 195.

10. [10] Diab F., Lan H., Zhang L. and Ali S. An Environmentally Friendly Tourist Village — Part Two: A Zero Energy Tourist Village. // Energies. - 2015. - No 8 (7). - P. 6945-6961. doi: 10.3390 / en8076945.

11. [11] Yang S., Tan Z., Ju L., Lin H., De G., Tan Q. and Feng'ao Z. An Income Distinos. / Energies. - 2018. - No 11. - P. 2895. doi: 10.3390 / en11112895.

12. [12] Switches. Automatic Transfer Switches [Electronic Resource]. URL: <https://library.e.abb.com/public/01498fe021f05df6c1257662003ead73/1SCC303001B0201.pdf> (access date: 04/06/2019).

OPTIMIZATION METHODS OF WORK OF HEAT AND ELECTRIC POWER PLANTS UNDER
JOINT GENERATION WITH WIND AND SOLAR POWER PLANTS

Amerkhanov R.A., Bekirov E.A., Asanov M.M.

Summary Preserving the environment is the most urgent task of modern energy. Traditional power plants use fossil fuels emissions from the combustion of which harm the environment. Renewable sources produce electrical energy without polluting nature. However, their work and, accordingly, the schedule of generated power depends on weather conditions. The presence of such power plants in the overall power system may lead to a decrease in its reliability. The paper analyzes the joint operation of a thermal power plant with wind and solar power plants. A series of block diagrams for connecting the power plants in question to the general power system has been proposed. Key words: thermal power plant, renewable sources, collaboration, control schemes

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Николенко И.В.

Академия строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
e-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ проблем повышения энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения. Проведен анализ энергетической эффективности частотного регулирования по относительным параметрам агрегатов и водопроводных сетей. Представлена расчетная схема и аналитические зависимости для интегрального способа частотного регулирования. Выполнен анализ полученных результатов. Новый способ позволяет существенно упростить процесс оценки энергетической эффективности на стадии проектирования насосных станций систем водоснабжения.

Ключевые слова: система водоснабжения, водопроводная сеть, насосный агрегат, частотное регулирование, энергетическая эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения энергетической эффективности и надежности технологического процесса подачи и распределения воды, является одной из основных для систем водоснабжения (СВ). Современные СВ представляют собой сложный комплекс технологических процессов, инженерных сооружений, машин и аппаратов, которые содержат механическое, гидравлическое, энергетическое оборудование, трубопроводы, арматуру, контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации. Этот комплекс предназначен для получения воды из природных источников, улучшения ее качества, хранения, транспортирования, подачи и распределения ее между потребителями под требуемым напором в соответствии с их нуждами. Силовые агрегаты насосных станций (НС) являются одними из основных структурных элементов СВ, так как во многом задают их эксплуатационные возможности и технический уровень в целом, а также существенно влияют на энергетические и технико-экономические показатели работы. На всех этапах жизненного цикла СВ, наряду с обеспечением требуемых напором и подачи воды для нормальных и аварийных условий, необходимо при наименьших затратах на их сооружение и эксплуатацию обеспечивать: требуемую степень надежности, долговечности, экономичности и выполнение ряда других требований. В СВ энергопотребление насосного оборудования является одним из основных составляющих эксплуатационных затрат предприятий коммунального хозяйства. Поэтому повышение энергетической эффективности насосного

оборудования является главным резервом снижения затрат на энергопотребление СВ.

Решение технических задач, связанных с разработкой новых конструкций и технологических процессов для повышения энергетической эффективности гидравлического оборудования СВ имеет как экономические, так и социальные последствия, а именно улучшение условий жизни людей, повышения экономического потенциала государства, уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду.

ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Функционирование СВ в процессе подачи и распределения воды потребителям характеризуется изменениями параметров ее состояния во времени. Эти изменения зависят от многочисленных внутренних и внешних факторов, контроль над большинством из которых затруднителен. Временные изменения параметров функционирования СВ рассматриваются как случайные процессы. Корректность использования тех или иных методов анализа случайного процесса в значительной степени зависят от его свойств. На основе параметров работы силовых агрегатов на действующих НС выполняется анализ стационарности, наличия периодических составляющих и нормальности процесса. Для систем подачи и распределения воды центробежные насосы (ЦН) совместно с приводными электродвигателями являются основными силовыми агрегатами, которые имеют значительный потенциал энергосбережения.

Низкая энергетическая эффективность СВ при транспортировке и распределении питьевой воды приводит к следующим негативным последствиям:

- завышению расходов и напоров насосного оборудования, установленного на НС, что вызывает нерациональное потребление электроэнергии, увеличение потерь воды в сетях, повышение риска гидроударов и ухудшение качества воды;

- неэффективному реагированию агрегатов НС и систем регулирования на изменение условий эксплуатации;

- возникновению аварийных ситуаций за счет порывов трубопроводов, поломок трубопроводной арматуры и насосных агрегатов;

- повышению удельных расходов электроэнергии на перекачивание 1 м^3 воды.

Разработке новых конструкций, режимов регулирования и технологических процессов для повышения энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций СВ в технической литературе посвящено значительное количество исследований последних десятилетий [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Возрастающие требования к современным технологическим системам и энергетическому оборудованию в СВ привели к существенным изменениям в их оснащении. Основными направлениями совершенствования таких систем является все большее применение современных видов высокоэффективного насосного оборудования, а также систем энергосберегающих приводов оснащенных электроникой, которая позволяет сочетать преимущества механических, электрических и гидравлических приводов, обеспечивает легкость в управлении, простоту в эксплуатации, обслуживании и ремонте, комфортабельность при работе [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Применение регулируемых электроприводов насосных агрегатов с ЦН на базе преобразователей частоты электрического тока дает возможность реализации различных способов изменения режимов работы путем плавного изменения частоты вращения рабочего колеса [3, 9, 10, 14, 15, 16]. Одним из главных преимуществ использования регулируемого электропривода насосных агрегатов является возможность адаптации его характеристик к характеристикам гидравлической сети СВ посредством выбора рациональной номинальной скорости вращения рабочего колеса, отвечающей требуемому режиму работы насосных агрегатов. При этом технико-экономическая эффективность внедрения регулируемого электропривода центробежных насосов зависит от многих факторов [2, 3, 5, 6, 17, 18, 19]. Например, в работе [17] была разработана и формализована методика анализа регулирования работы ЦН, путем изменения частоты вращения его рабочего колеса, при условии обеспечения постоянного давления в сети, а также исследованы

влияние разных факторов на повышение энергетической эффективности СВ.

Анализ результатов применения в СВ регулируемого электропривода ЦН показывает, что в одних случаях его установка приводит к ощутимой экономии энергии, в других – она незначительна, в-третьих, установка такого привода не обеспечивает получение экономии энергии [3]. Исследование методов и форм применения регулируемого привода свидетельствует о том, что на практике чаще всего используются технически наиболее простые, а экономически наименее эффективные способы управления насосными установками, такие, как стабилизация давления на максимальном допустимом уровне на выходе из ЦН. Степень использования потенциала энергосбережения, при этом, остается невысокой. Одной из основных причин такого положения является недостаточная изученность влияния условий эксплуатации на работу СВ с регулируемым электроприводом насосных агрегатов. Максимальная энергоэффективность насосных агрегатов СВ в том случае, если напор в диктующей точке гидравлической сети на всем диапазоне изменения подачи будет минимально допустимым, а отклонения КПД от своего максимального значения равны нулю либо не превышают заданного уровня падения. Для реализации этих условий в большинстве работ предлагаются различные математические модели, в которых в качестве исходных данных принимаются параметры работы насосных агрегатов действующих НС [17, 18, 19].

Таким образом, к основным направлениям повышения энергетической эффективности СВ относятся: создание и внедрение новых энергетически эффективных технологий; разработка насосного оборудования, обладающего минимально возможным энергопотреблением; корректный подбор силового оборудования НС с учетом реальных условий эксплуатации; качественный монтаж, наладка и квалифицированная эксплуатация; оптимизация работы систем насос - водопроводная сеть с применением современных устройств регулирования и управления. Для принятия тех или иных решений по повышению энергетической эффективности СВ необходимо проанализировать реальное энергопотребление насосных агрегатов при различных способах регулирования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При проектировании насосной установки для СВ необходимо подобрать насосные агрегаты и способы регулирования их параметров, которые обеспечат необходимые величины напора для требуемой подачи в заданной сети при максимально возможном КПД при различных условиях эксплуатации. Наибольшую сложность при проектировании СВ представляет выбор

насосных агрегатов для подкачивающих (повысительных) НС, так как необходимо обеспечить требуемые напоры у потребителей при переменной величине подачи, которая должна быть не меньше водопотребления. На режимы водопотребления влияют различные факторы, точно учесть, которые практически невозможно, а контроль над большинством из которых затруднителен. Выделяют неравномерности подачи суточные, недельные сезонные, на которые могут накладываться общие тенденции по снижению подач либо повышению подач НС, вызванные изменениями состояния и надежности ВС, ценовой политикой, внедрением новых систем регулирования, учета и др.

При установившемся режиме работы системы НС водопроводная сеть обеспечивается их материальный и энергетический баланс. Условие материального баланса создается равенством подачи насосного агрегата с расходом в сети, а условие энергетического баланса определяется равенством напоров, создаваемых насосом и потребных для сети. Поэтому для выбора параметров насосных агрегатов необходимо совместное рассмотрение их напорных характеристики и характеристики трубопровода.

Характеристика водопроводной сети как зависимость между расходом в трубопроводе и напором, который необходим для его представляется известной зависимостью:

$$H_c = H_{ст} + S_c \cdot Q_c^2, \quad (1)$$

где $H_{ст}$ - статический напор, обусловленный разницей геодезических отметок диктующей точки у потребителя и оси ЦН; S_c - гидравлического сопротивления сети, величина которого, в существенной степени зависит от времени, определяется стратегией поведения большого количества потребителей и для математического описания необходимо использовать методы стохастического анализа;

Аналитические зависимостей напорной характеристики ЦН составлены на основе анализа уравнений неразрывности потока, лопастных гидромашин Л. Эйлера и баланса энергии К. Пфлейдерера. В результате получена аналитическая зависимость между напором создаваемым ЦН и его подачей при постоянных оборотах вала [3, 4, 5, 21]:

$$H_H = A_H + B_H \cdot Q_H + C_H \cdot Q_H^2, \quad (2)$$

где A_H, B_H, C_H - коэффициенты аппроксимации напорной характеристики, которые зависят от

конструктивного исполнения ЦН и вычисляются различными методами.

Для реального насоса коэффициенты параболы приближенно определяются по паспортной характеристике путем аппроксимации либо экспериментально в результате статистической обработки параметров работы насосного агрегата.

Зависимость КПД ЦН от его подачи описывается также параболической функцией:

$$\eta = E_H \cdot Q_H + D_H \cdot Q_H^2, \quad (3)$$

где E_H, D_H - коэффициенты аппроксимации характеристики КПД насоса.

При совместной работе системы ЦН-сеть равенство между потребным расходом в сети и подачей насоса обеспечивается условием $Q_c = Q_H$ а равенство между напором, создаваемым насосом и потребным для сети условием $H_c = H_H$, что соответствует параметрам рабочей точки этой системы. При выборе типа насоса целесообразно, чтобы рабочая точка находилась в области максимальных значений КПД. Для достижения максимального КПД насоса необходимо чтобы также выполнялось условие $Q_H = \frac{E_H}{2 \cdot D_H}$. Рабочий диапазон параметров ЦН по их напорной характеристике определяется диапазоном подач $Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}$ из условия предельно допустимого снижения КПД до значения $\eta_{min} = (0,85 \dots 0,9) \cdot \eta_{max}$. Для каждого типоразмера ЦН рабочему диапазону по подаче $Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}$ соответствуют диапазоны по напору $H_{max} \geq H \geq H_{min}$. Количество серийно выпускаемых типоразмеров ЦН ограничено, а каждый типоразмер имеет определенный рабочий диапазон напорных характеристик [21]. Поэтому число диапазонов в которых обеспечивается предельно допустимого снижения КПД тоже является ограниченным.

Рабочие параметры водопроводной сети (1) зависят от многих факторов, величина которых формируются по времени суток случайным образом, и образуют совокупность характеристик, которые ограничены двумя предельными кривыми. Нижняя предельная кривая соответствует характеристике состояния сети с наименьшим гидравлическим сопротивлением - при этом устанавливается режим максимального водопотребления, а верхняя - с наибольшим гидравлическим сопротивлением, при этом устанавливается режим минимального водопотребления. Случайные изменения подачи вызывают соответствующие изменения напора. Учитывая ограниченность рабочих диапазонов характеристик ЦН, то для обеспечения

необходимого количества воды под требуемым напором в соответствии с нуждами потребителей требуется изменения режима работы системы ЦН – водопроводная сеть. Для этого необходимо изменить напорную характеристику насоса, насосной установки или напорную характеристику сети. В существующих НСП применяется три основных способа регулирования подачи количественное, качественное и комбинированное [3, 5, 6, 19, 21].

В настоящее время является одним из наиболее распространенных методов качественного регулирования является изменение частоты вращения рабочего колеса ЦН. В данной работе рассматриваются возможности оценки эффективности качественного регулирования системы ЦН водопроводная сеть при таком способе качественного регулирования.

Цель работы – определить влияние на энергетическую эффективность и параметры частотного регулирования ЦН относительных параметров водопроводной сети и напорной характеристики насоса.

При изменении частоты вращения рабочего колеса от начальной n_H до измененной частоты n_u сохраняется гидродинамическое подобие ЦН, поэтому при пересчете характеристик используются формулы пропорциональности

$$a = \frac{Q_u}{Q_H} = \frac{n_u}{n_H} = i,$$

$$\overline{H} = \frac{H_u}{H_H} = i^2 \quad \text{и} \quad \overline{N} = \frac{N_o}{N_m} = i^3, \quad (4)$$

где $i = \frac{n_u}{n_H}$ – коэффициент относительного

изменения частоты вращения, n_u, n_H – измененная и номинальная частота вращения.

При изменении частоты вращения рабочего колеса ЦН его напорная характеристика смещаются параллельно вниз и влево вдоль парабол подобных режимов. Уравнение параболы подобных режимов представляется в виде [3, 17, 21].

$$H_n = \alpha \cdot Q_n^2, \quad (5)$$

где α – коэффициент параболы подобных режимов, который определяется по значениям расхода и напора, которые необходимо обеспечить.

При этом способе регулирования с помощью плавного изменения частоты оборотов электродвигателя можно достичь плавного

изменения подачи в рабочем диапазоне $Q_{\min} \leq Q_o \leq Q_{\max}$, который ограничивается допустимым падением значения КПД насоса $\eta \geq \eta_{\min}$.

Для напорной характеристики ЦН при изменении частоты вращения его рабочего колеса в работах Николаева В.Г. [6, 9, 10, 11] получено следующее выражение для напорной характеристики:

$$H_H = i^2 \cdot A_{H_i} + i \cdot B_{H_i} \cdot Q + C_{H_i} \cdot Q^2, \quad (6)$$

Формула позволяет, располагая графической или табличной напорной характеристикой ЦН при номинальной частоте получить ее аналитическую зависимость, а также выполнять перерасчет напорных характеристик ЦН в зависимости от измененной частоты вращения рабочего колеса, что необходимо для математического моделирования и управления насосными установками.

Величина КПД насоса в меньшей степени зависит от относительного изменения частоты вращения, которая представляется в виде [17, 21].

$$\eta_u = 1 - \frac{1 - \eta_n}{i^a}, \quad (7)$$

где η_n, η_u – КПД насоса при номинальной и измененной частоте вращения; $a = 0,2 \dots 0,25$ – параметр изменения КПД.

Математическое моделирование процессов регулирования режимов работы ЦН в водопроводной сети выполняется с целью оценки энергетической эффективности СВ в целом. В этой связи необходимо сравнение рабочих параметров ЦН, которые описываются математическими моделями при работе в одинаковых условиях водопроводных сетей. Параметры характеристики водопроводной сети для подкачивающих НС может изменяться случайным образом в широких пределах, что существенно усложняет разработку математической модели. Для разработки оптимизационной модели процессов регулирования режимов работы насосных агрегатов, действующих НС необходимо выполнить следующие этапы:

- провести натурный эксперимента по изучению закономерностей процесса суточного водопотребления по подаче и напорам;
- определить, по данным натурного эксперимента, осредненной кривой случайного процесса водопотребления и сопротивления сети статистическими методами анализа нестационарных случайных процессов;

- разработка нелинейной многокритериальной оптимизационной модели минимизации потерь потребляемой электроэнергии для обеспечения процесса водоснабжения при максимально возможном КПД.

Такие этапы можно выполнить только на действующей НС, а также требуют больших затрат времени, так как для получения статистически значимых результатов необходимо собрать значения напоров и расходов, подаваемых НС в течение трех месяцев с дискретностью времени $\Delta t = 1$ час.

На стадии проектных расчетов либо для сокращения времени разработки рекомендаций по снижению затрат на электроэнергию необходима разработка оперативных методов оценки. Для уменьшения числа параметров напорной характеристики насосных агрегатов и характеристики водопроводной сети необходимо рассматривать зависимости (1), (2) и (4) в относительных параметрах относительно параметров рабочей точки, то есть относительно напора $H_c = H_H$ и подачи $Q_c = Q_H$, как показано на рис. 1. С учетом этого, характеристике сети в относительных параметрах представим в виде

$$\overline{H_c} = k + a^2 \cdot (1 - k), \quad (8)$$

где $\overline{H_c} = \frac{H}{H_H}$ – относительный напор в сети ($0 < \overline{H} \leq 1$), $k = \frac{H_{cm}}{H_H}$ – относительная величина статического напора сети, $a = \frac{Q}{Q_H}$ – относительный расход в сети ($0 \leq a \leq 1$).

Характеристика параболы подобных режимов (4) в относительных параметрах

$$\overline{H_n} = \alpha \cdot a^2. \quad (9)$$

Напорная характеристика ЦН представим в относительных параметрах в линеанизированном виде

$$\overline{H_{Ha}} = \gamma + a \cdot (1 - \gamma), \quad (10)$$

где $\gamma = \frac{H_0}{H_H}$ – относительный напор при нулевой подаче, то есть при $Q = 0$.

Параметр γ косвенно характеризует крутизну напорной характеристики ЦН.

Принятая модель описания напорной характеристики ЦН занижает полученные результаты, но с достаточной для инженерных расчетов точностью отражает основные характеристики реальных гидромашин, и может служить основой для моделирования процессов регулирования. По представленным моделям характеристик определим влияние на энергетическую эффективность и параметры частотного регулирования ЦН относительных параметров водопроводной сети и напорной характеристики насоса.

Известны различные варианты частотного регулирования расчетные, которые зависят от источника и способа подачи управляющего сигнала [2, 3, 22]. Наибольшее применение на практике, благодаря своей относительной простоте, получил способ регулирования с ограничением максимально допустимого напора в сети. Для этого способом источником подачи управляющего сигнала является датчик давления, на котором установлен предельный уровень давления. В данном способе при автоматизированном поддержании постоянного максимально допустимого напора в водопроводной сети, не учитываются потери, заложенные в динамическом напоре, который изменяется в зависимости от расхода в сети. При гидравлическом расчете водопроводной сети требуемый напор в сети рассчитывается при максимальном водопотреблении, с учетом перспектив последующего развития расчетной зоны обслуживания НС. Поэтому такой способ частотного регулирования ЦН содержит в себе большой потенциал повышения энергетической эффективности на подачах, которые существенно меньше максимальных. Более энергетически эффективным способом является интегральное частотное регулирование подачи насосов, схема которого показана на рис. 1 [2, 22]. При этом способе частотного регулирования каждому значению подачи соответствует определенное значение напора. Недостатком этого способа регулирования, является то, что за основу применяется некоторая расчетная характеристика водопроводной сети, которая может существенно отличаться от эксплуатационных параметров, в виду причин, описанных выше.

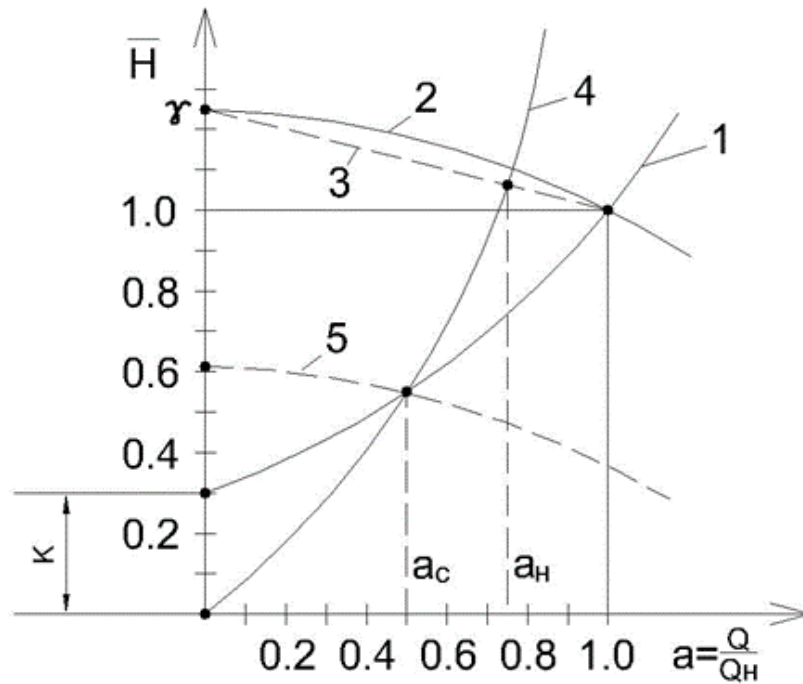


Рис. 1. Расчетные схемы частотного регулирования по относительным параметрам для интегрального способа

Fig. 1. Frequency control design schemes for relative parameters for the integral method

По полученной характеристике сети (7) и уравнению подобных режимов (8) определим коэффициент параболы подобных режимов α , который определяется по значениям относительного расхода a_c и напора в сети, которые необходимо обеспечить в точке пересечения характеристики сети и параболы подобных режимов.

$$\alpha = \frac{k}{a^2} + 1 - k. \quad (11)$$

По известному уравнению параболы подобных режимов (8) и напорной характеристике ЦН (9) составим уравнение для определения их точки пересечения с координатой a_H по относительным расходам, которая соответствует относительной подаче при начальной частоте вращения рабочего колеса

$$\alpha \cdot a_H^2 + a_H \cdot (\gamma - 1) - \gamma = 0. \quad (12)$$

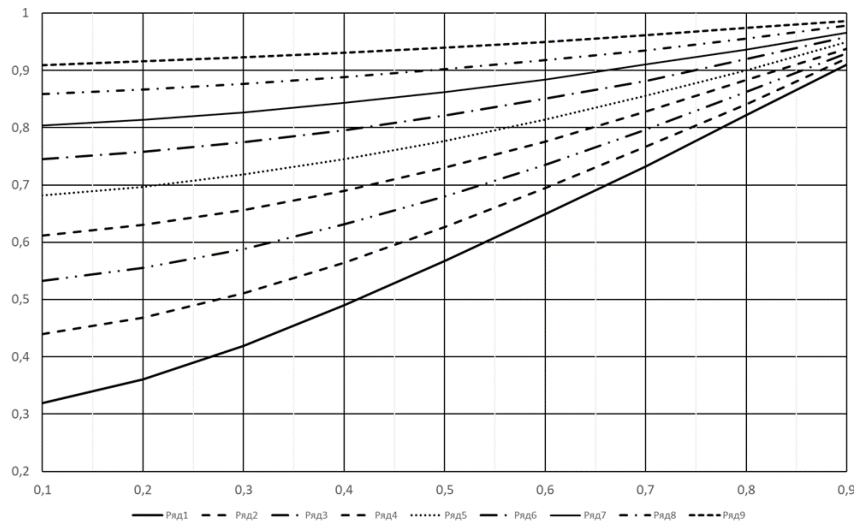
Положительное решение уравнения (11) получим в виде

$$a_H = \frac{1 - \gamma + \sqrt{(\gamma - 1)^2 + 4 \cdot \alpha \cdot \gamma}}{2 \cdot \alpha} \quad (13)$$

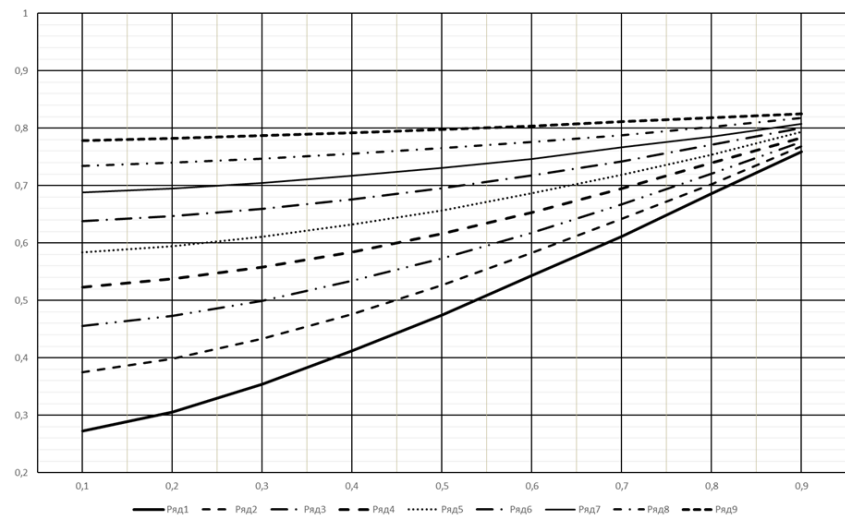
Для обеспечения относительной подачи a_c начальную частоту необходимо уменьшить на коэффициент относительного изменения частоты вращения, который в соответствии с формулой пропорциональности (4) определяется в виде

$$i = \frac{a_c}{a_H}. \quad (14)$$

Для принятой расчетной схемы интегрального частотного регулирования выполнены расчеты значений коэффициентов относительного изменения частоты вращения i , а также коэффициентов относительного снижения мощности \bar{N} , для значений относительного расхода сети в диапазоне $a_c = 0,1 \dots 0,9$; при значениях относительного напора ЦН при нулевой подаче $\gamma = 1,1 \dots 1,5$ и при значениях относительной величины статического напора сети $k = 0,1 \dots 0,9$. Результаты расчета коэффициентов изменения частоты вращения i представлены на рис. 2, где по оси абсцисс показаны значения относительного расхода сети a_c , по оси ординат значения i .



а



б

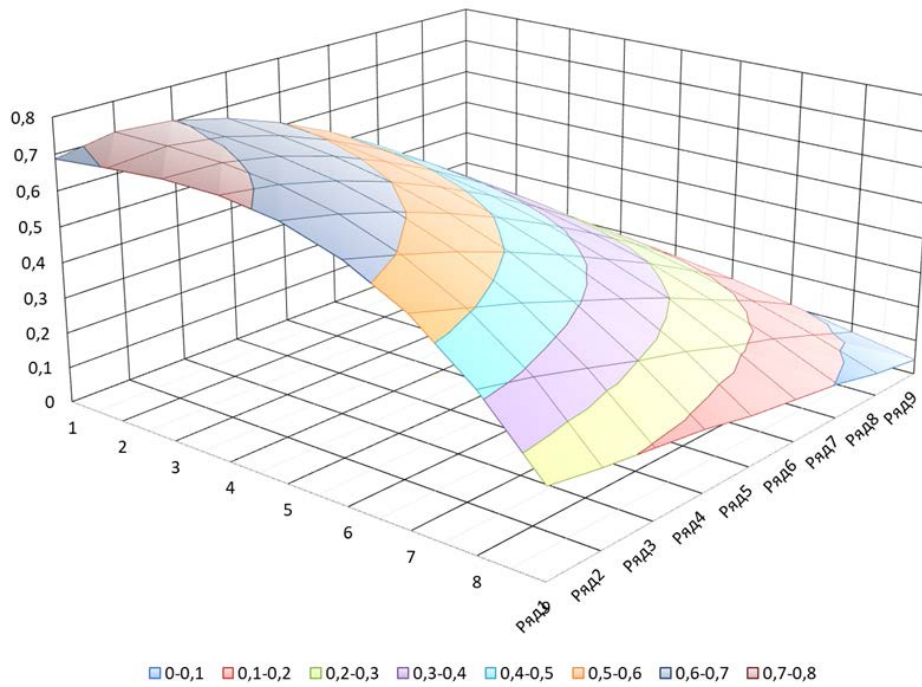
Рис. 2. Зависимость коэффициентов относительного изменения частоты вращения i от относительной подачи a_C при значениях относительного напора ЦН при нулевой подаче: а - $\gamma = 1,1$; б - $\gamma = 1,5$; для различных значений относительной величины статического напора в сети k : ряд 1 - $k = 0,1$; ряд 2 - $k = 0,2$; ряд 3 - $k = 0,3$; ряд 4 - $k = 0,4$; ряд 5 - $k = 0,5$; ряд 6 - $k = 0,6$; ряд 7 - $k = 0,7$; ряд 8 - $k = 0,8$; ряд 9 - $k = 0,9$.

Fig. 2. Dependence of the coefficients of the relative change in the rotational speed i on the relative feed a_C with the values of the relative head of the pump head at zero flow: а - $\gamma = 1.1$; б - $\gamma = 1.5$; for different values of the relative value of the static head in the network k : Row 1 - $k = 0.1$; row 2 - $k = 0.2$; row 3 - $k = 0.3$; row 4 - $k = 0.4$; row 5 - $k = 0.5$; row 6 - $k = 0.6$; row 7 - $k = 0.7$; row 8 - $k = 0.8$; row 9 - $k = 0.9$.

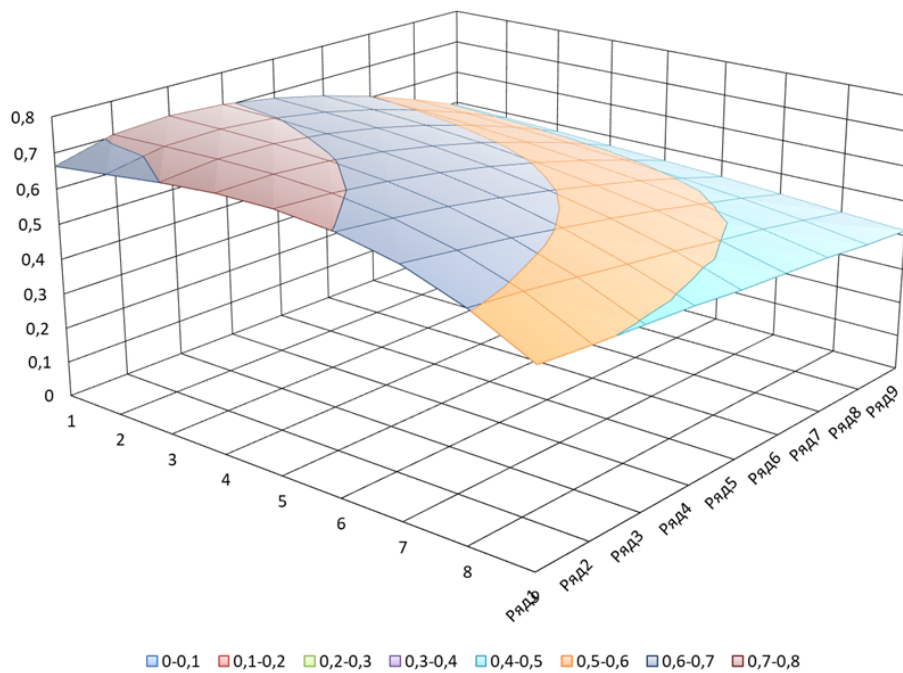
Из анализа представленных зависимостей следует, что с уменьшением относительной величины статического напора в сети k и относительной подачи сети a_C увеличиваются коэффициенты относительного изменения частоты вращения i . Увеличение крутизны напорной характеристики γ уменьшает коэффициенты относительного изменения частоты вращения i . При увеличении относительной подачи сети a_C степень влияния относительной величины статического напора в сети k и крутизны напорной

характеристики γ на коэффициентов относительного изменения частоты вращения i снижается.

На рис.3 представлены результаты расчета относительного снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N} = 1 - \overline{N}$, где по горизонтальным осям показаны значения относительного расхода сети a_C , и значения относительной величины статического напора в сети k . Расчеты выполнены с учетом снижения КПД насоса, согласно зависимости (7).



а



б

Рис. 3. Зависимость коэффициентов относительного снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N}$ от относительной подачи a_C и относительной величины статического напора в сети k при значениях относительного напора ЦН при нулевой подаче: а - $\gamma = 1,1$; б - $\gamma = 1,5$; для значений: ряд 1 - $k = 0,1$; ряд 2 - $k = 0,2$; ряд 3 - $k = 0,3$; ряд 4 - $k = 0,4$; ряд 5 - $k = 0,5$; ряд 6 - $k = 0,6$; ряд 7 - $k = 0,7$; ряд 8 - $k = 0,8$; ряд 9 - $k = 0,9$.

Fig. 3. Dependence of the coefficients of the relative reduction of power consumption (ΔN) on the relative supply a_C and the relative value of the static pressure in the network k at the values of the relative pressure of the central pump at zero flow: а - $\gamma = 1.1$; б - $\gamma = 1.5$; for values: series 1 - $k = 0.1$; row 2 - $k = 0.2$; row 3 - $k = 0.3$; row 4 - $k = 0.4$; row 5 - $k = 0.5$; row 6 - $k = 0.6$; row 7 - $k = 0.7$; row 8 - $k = 0.8$; row 9 - $k = 0.9$.

Из анализа представленных зависимостей следует, что с увеличением относительной величины статического напора в сети k и относительной подачи сети a_C снижаются коэффициенты относительного снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N}$. Увеличение крутизны

напорной характеристики γ уменьшает диапазон изменения коэффициентов относительного снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N}$. Для рассмотренных диапазонов относительной подачи сети a_c и относительной величины статического напора в сети k установлены диапазоны относительного снижения потребляемой мощности при различных значениях относительного напора ЦН при нулевой подаче: при $\gamma = 1,1$ $-\overline{\Delta N} = 0,04 \dots 0,71$; при $\gamma = 1,2$ $-\overline{\Delta N} = 0,17 \dots 0,71$; при $\gamma = 1,3$ $-\overline{\Delta N} = 0,27 \dots 0,71$; при $\gamma = 1,4$ $-\overline{\Delta N} = 0,35 \dots 0,71$; при $\gamma = 1,5$ $-\overline{\Delta N} = 0,41 \dots 0,71$. Где минимальные значения $-\overline{\Delta N}$ соответствуют максимальным значениям относительной подачи $a_c = 0,9$ и относительной величины статического напора в сети $k = 0,9$. Увеличению относительной подачи сети a_c оказывает большее влияние на степень снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N}$, чем влияние относительной величины статического напора в сети k и крутизны напорной характеристики γ .

Для принятой модели описания характеристик ЦН величина КПД принимается равной КПД для параметров: напора $H_c = H_H$ и подачи $Q_c = Q_H$. Зависимость КПД от подачи описывается параболической функцией (3). Поэтому для определения фактической величины относительного снижения потребляемой мощности $\overline{\Delta N}$ необходимо определить относительную величину снижения КПД

$$i_{\eta a} = \frac{\eta_a}{\eta_H}, \quad (15)$$

где η_a и η_H – КПД насоса при относительной подаче a и подаче Q_H .

С учетом этого фактическая степень снижения потребляемой мощности

$$\overline{N}_\phi = i_{\eta a} \cdot \overline{\Delta N}. \quad (16)$$

Разработанная методика оценки энергетической эффективности частотного регулирования по относительным параметрам с достаточной для инженерных расчетов точностью отражает основные характеристики реальных ЦН и может служить основой для моделирования процессов регулирования, а также основой для расчета стоимости жизненного цикла для сравнительном анализе СВ с различными системами регулирования.

ВЫВОДЫ

На основе выполненного анализа результатов применения в СВ регулируемого электропривода ЦН установлено, что в одних случаях его установка приводит к ощутимой экономии энергии, в других – она незначительна, в-третьих, установка такого

привода не обеспечивает получение экономии энергии. Это показало необходимость разработки методики оценки энергетической эффективности применения частотного регулирования ЦН на ранних стадиях проектирования СВ.

Предложена методика оценки энергетической эффективности применения частотного регулирования ЦН по относительным параметрам напорной характеристики ЦН и водопроводной сети. В качестве объекта исследований принята система интегрального частотного регулирования системы ЦН – водопроводная сеть.

Определены коэффициенты изменения частоты вращения i ЦН для рассмотренных диапазонов относительной подачи и относительной величины статического напора в сети. Также для этих диапазонов установлены величины относительного снижения потребляемой мощности при различных значениях относительного напора ЦН при нулевой подаче.

Применение данной методика оценки энергетической эффективности частотного регулирования по относительным параметрам позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью выполнить оценку степени снижения потребляемой мощности при использовании интегрального частотного регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирсанов А.А. Исследование работы внутриквартальных подкачивающих насосных станций/ А.А. Кирсанов, В.Н. Колчев, В.В. Шмиголь, М.Д. Черносвитов// Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. - № 9, ч.2. – С. 30 – 33.
2. Черносвитов М.Д. Энергетическая эффективность интегрального регулирования работы повысительных насосов// Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. - № 4 (13). – С. 96 – 99.
3. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
4. Николенко И., Пастушенко А., Котовская Е. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры насосных агрегатов// MOTROL: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2010. – Vol. 12D. - p. 33 - 44 .
5. Хованський С.О. Підвищення ефективності експлуатації відцентрових насосів у системі водопостачання житлово-комунального господарства: дис. ...канд. техн. наук. – Суми, 2010. – 162 с.
6. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы выбора параметров и оптимизации управления группой лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах: дис. ...докт. техн. наук. – М., 2010. – 372 с.
7. Лободовский К.К. Управление эффективностью работы двигателя// MotorManager, 1996. - 66 с.

8. Николаев В.Г. Анализ энергоэффективности различных способов управления насосными установками с регулируемым приводом// Водоснабжение и санитарная техника. - 2006, № 11, ч. 2, С. 6 - 17.

9. Николаев В.Г. Управление режимами работы группы лопастных насосов// Водоснабжение и санитарная техника. - 2008, № 5. - С. 9 - 16.

10. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке// Сантехника. - 2006, № 4. - С.22 - 28.

11. Николаев В. Г., Тихоненко Ю.Ф. Способ оценки эффективности применения частотно-регулируемого привода при работе групп лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах// Энергонадзор и энергоэффективность. - 2003, №3. - С. 65 - 68.

12. Гришко Н. К., Усачев А. П. Применение преобразователей частоты в системе автоматизации водопроводных насосных станций// Водоснабжение и санитарная техника. -2007, №6. - С. 49 - 52.

13. Леонов Г. В., Рахлин В. П. Усачев Л. П. Опыт внедрения и совершенствования частотно-регулируемого электропривода для насосных станций // Водоснабжение и санитарная техника. - 2005, №2. ч. 2. - С. 21 - 24.

14. Николаев В. Г. Управление группой насосов с регулируемым приводом при переменной нагрузке// Мелиорация и водное хозяйство. - 2008, № 2. - С. 10 - 14.

15. Шкердин Д. Г. Преобразователи частоты в энергосберегающем приводе насосов// Водоснабжение и санитарная техника. - 2004, №7. - С. 29 - 32.

16. Николенко И.В., Салиев Э.И., Валкина Е.М. Методика оценки технико-экономической эффективности гидромашин насосных станций систем водоснабжения и водоотведения// Ученые записки Крымского инженерно-педагогического ун-та. – Вып.№ 16. Техн. науки. – Симферополь.: НИЦ КИПУ, 2008. – С. 22 – 25.

17. Бойко В.С. Аналіз частотного регулювання відцентрових насосів водопостачання з метою енергозбереження/ В. С. Бойко, В. Г. Неня, М. І. Сотник, С. О. Хованський// Вісник КДПУ ім. М. Остроградського.– Кременчук: КДПУ. - Вип. 4, 2009 (57), ч. 1. – С. 147 – 151.

18. Усачев А.П. Методика оценки эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов (в порядке обсуждения)// Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. - № 7. – С. 57 – 63.

19. Николенко И.В., Рыжаков А.Н., Умаров Р.С. Повышение энергетической эффективности регулирования силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения// Строительство и техногенная безопасность. Сб. научных трудов

АСИА. – Симферополь, 2016. – вып. 55. – С. 75 – 82.

20. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения// Водоснабжение и санитарная техника. -2018, №6. - С. 52 - 56.

21. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов.— М.: Стройиздат, 1986.— 320 с.

22. Шмиголь В.В., Черносвитов М.Д., Атанов Н.А. Интегральное регулирование работы повысительных насосов// Водоснабжение и санитарная техника. - 2013, № 8. – С. 23 – 27.

REFERENCES

1. Kirsanov A.A. Study of the work of intra-pumping pump stations / A.A. Kirsanov, V.N. Kolchev, V.V. Shmigol, M.D. Chernosvitov // Water supply and sanitary engineering. - 2011. - № 9, part 2. - P. 30 - 33.

2. Chernosvitov MD Energy efficiency of the integrated regulation of the booster pumps operation. // Vestnik SGASU. Urban planning and architecture. - 2013. - № 4 (13). - pp. 96 - 99.

3. B. Leznov Variable frequency electric pumping units. - М.: Mashinostroenie, 2013. - 176 p.

4. Nikolenko I., Pastushenko A., Kotovskaya E. Analysis of the influence of the operating conditions of a pumping station on the parameters of pumping units // MOTROL: Polish Academy of sciences. - Lublin, 2010. - Vol. 12D. - R. 33 - 44.

5. Khovansky S.O. Piddischennya effektivnosti ekspluatatsii ididtsentrovih pumpiv at the system watering of housing and communal state gifts: dis. ... Cand. tech. sciences. - Sumi, 2010. - 162 p.

6. Nikolaev V.G. Energy-saving methods for selecting parameters and optimizing the management of a group of blade-type superchargers in non-stationary technological processes: dis. ... Dr. tech. sciences. - М., 2010. - 372 p.

7. Lobodovsky KK Engine Performance Management // MotorManager, 1996. - 66 p.

8. Nikolaev V.G. Analysis of the energy efficiency of various ways to control pumping units with adjustable drive // Water supply and sanitary equipment. - 2006, No. 11, Part 2, pp. 6 - 17.

9. Nikolaev V.G. Management of operation modes of a paddle pump group // Water supply and sanitary engineering. - 2008, № 5. - p. 9 - 16.

10. Nikolaev V.G. Energy-saving ways to control vane pumping units in water supply systems with non-stationary load // Sanitary Engineering. - 2006, No. 4. - P.22 - 28.

11. Nikolaev V.G., Tikhonenko Yu.F. A method for evaluating the effectiveness of the use of a frequency-controlled drive during the operation of groups of blade-type superchargers in non-stationary technological processes. Energonadzor and energy efficiency. - 2003, №3. - p. 65 - 68.

12. Grishko N. K., Usachev A. P. The use of frequency converters in the automation system of water

pumping stations // Water supply and sanitary engineering. -2007, №6. - p. 49 - 52.

13. Leonov G.V., Rakhlin V.P. Usachev L.P. Experience of implementation and improvement of the variable frequency drive for pumping stations // Water supply and sanitary engineering. - 2005, №2. Part 2. - P. 21 - 24.

14. Nikolaev VG. Management of a group of pumps with adjustable drive at variable load // Melioration and Water Economy. - 2008, № 2. - p. 10 - 14.

15. Shkerdin D. G. Frequency converters in an energy-saving pump drive // Water supply and sanitary engineering. - 2004, №7. - pp. 29 - 32.

16. Nikolenko I.V., Saliev E.I., Valkina E.M. Methods of assessing the technical and economic efficiency of hydraulic machines of pumping stations of water supply and drainage systems // Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. - Issue number 16. Techn. science. - Simferopol: SIC KIPU, 2008. - p. 22 - 25.

17. Boyko V.S. An analysis of the frequency regulation of the centrifugal pumps in the water supply with the method of energy saving / V.S. Boyko, V.G.

Nenya, M.I. Sotnik, S. O. Khovanskiy // Bulletin of the KDPU, im. M. Ostrogradsky. - Kremenchuk: KDPU. - Vip. 4, 2009 (57), part 1. - p. 147 - 151.

18. Usachev A.P. Methodology for assessing the effectiveness of frequency control performance of pumping units (in order of discussion) // Water supply and sanitary engineering. - 2018. - № 7. - p. 57 - 63.

19. Nikolenko I.V., Ryzhakov A.N., Umarov R.S. Improving the energy efficiency of regulation of power units of pumping stations of water supply systems // Construction and technological safety. Sat scientific papers ASA. - Simferopol, 2016. - vol. 55. - p. 75 - 82.

20. Fisenko V.N. Energy efficiency of pumps in water supply and drainage systems // Water supply and sanitary engineering. -2018, №6. - p. 52 - 56.

21. Karelin V. Ya., Minaev A. V. Pumps and pumping stations: Proc. for universities. - M.: Stroyizdat, 1986.— 320 p.

22. Shmigol V.V., Chernosvitov MD, Atanov N.A. Integrated regulation of the booster pumps // Water supply and sanitary engineering. - 2013, № 8. - p. 23 - 27.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF FREQUENCY REGULATION ON THE RELATIVE PARAMETERS OF POWER UNITS AND PUMPING STATIONS AND WATER SUPPLY NETWORKS WATER SUPPLY SYSTEMS

Nikolenko I.V.

Summary. The analysis of the problems of increasing the energy efficiency of power units of pumping stations of water supply systems. The analysis of energy efficiency of frequency regulation on relative parameters of units and water supply networks is carried out. The calculation scheme and analytical dependences for the integral method of frequency control are presented. The analysis of the obtained results was performed. The new method makes it possible to significantly simplify the process of energy efficiency assessment at the design stage of pumping stations of water supply systems.

Key words: water supply system, water supply network, pumping unit, frequency control, energy efficiency.

УДК 54.058

РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫВОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА

Сердюк А.И., Ялалова М, Солдатов С.

¹Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”, профессор кафедры “Техносферная безопасность”, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, ecoalserdiuk@ Rambler.ru

²Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”, ассистент кафедры “Техносферная безопасность”, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, yalalova-rita@mail.ru

³Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”, магистрант I курса кафедры “Техносферная безопасность”, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, petrukhin.vasya@list.ru

Аннотация. Исследовано влияние состава промывочных вод на предельно допустимую плотность тока и выделение свинца на катоде. Определено, что с разбавлением электролита, снижается допустимая плотность тока, необходимая для равномерного осаждения свинца на катоде. Установлена зависимость допустимой плотности тока от концентрации соли свинца в промывочной воде. Показано, что с уменьшением концентрации свинца в растворе в геометрической прогрессии снижается допустимая плотность тока и выход по току. Исходя из этого, целесообразно использовать электролиз при минимальной концентрации соли свинца в растворе равной 2,5 г/л. При меньшей концентрации резко уменьшается скорость процесса выделения, выход по току и резко увеличивается удельный расход электроэнергии. Для дальнейшего выделения свинца из раствора использовали осаждение его в виде гидроксида натрия при pH=9. Рассчитан избыток реагента, который нужно вводить в раствор для полного осаждения соли свинца в зависимости от концентрации соли свинца в растворе. Показано, что избыток реагента в зависимости от концентрации соли свинца изменяется от 1,7 до 9,6.

Предмет исследования: очистка промывочных вод от соединений свинца, образующихся в процессе переработки отслуживших свинцово-кислотных автомобильных аккумуляторов.

Материалы и методы: экспериментальные исследования, основанные на определении допустимой плотности тока, выхода по току, титрование промывочных вод гидроксидом натрия, систематизация полученных данных, обработка полученных результатов методом наименьших квадратов.

Результаты: изучено влияние концентрации борфтористоводородного свинца в растворе на допустимую катодную плотность тока. Выведена зависимость допустимой плотности тока от концентрации соли свинца в растворе. Показано, что с уменьшением концентрации свинца в растворе снижается допустимая плотность тока и выход по току. Построен график зависимости скорости выделения свинца от продолжительности процесса его извлечения из раствора. Исходя из того, видно, что по мере выработки свинца из раствора методом электролиза уменьшается скорость его выделения, что необходимо учитывать при проведении процесса извлечения свинца из раствора. Изучена зависимость избытка щелочи для титрования от концентрации кислоты и свинцовой соли в электролите. Рассчитано превышение раствора гидроксида натрия, расходуемого на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли при разных концентрациях соли свинца.

Выводы: при концентрации соли свинца выше 2,5 г/л для электролитического выделения свинца целесообразно использовать электролиз, а при более низкой концентрации применять химическое осаждение.

Ключевые слова: очистка, свинец, промывочные воды, свинцово-кислотные аккумуляторы.

ВВЕДЕНИЕ

Очистка сточных вод гальванического производства и сокращение поступления гальванических отходов в окружающую среду является важной задачей промышленных предприятий.

Гальваническое производство является одним из самых опасных производств. Подтверждением большой экологической опасности гальванического производства являются директивы Европейской комиссии Seveso II, касающиеся электролитов, содержащих хром (+6), и запрета ЕС на использование свинца при производстве электрического или электронного оборудования [1].

При работе гальванических цехов в сточные воды поступают соли тяжелых металлов в количествах, значительно превышающих ПДК. В результате этого окружающей среде наносится значительный ущерб, так как соли тяжелых металлов ядовиты.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известно большое количество методов извлечения тяжелых металлов из сточных вод гальванопроизводства, это: электрохимические, реагентные, биохимические, мембранные, сорбционные, комбинированные [2].

Во многих работах описано выделение свинца электролизом из водных растворов электролитов, в том числе сточных вод. Процесс, описанный в

работе [3], был запатентован во многих странах (США, Канаде, Мексике, Бельгии, Франции, Великобритании, Италии и др.).

В работе [4] приводится описание разработанной лабораторной установки для электролиза сточных вод для удаления из них тяжелых металлов, и в настоящее время проводятся исследования этого перспективного метода очистки сточных вод коксохимического производства, позволяющего решить ряд важных проблем, связанных с энергосбережением и защитой окружающей среды.

Известен способ очистки сточных вод от ионов свинца, который позволяет повысить степень очистки и скорость процесса очистки от ионов свинца, сократить продолжительность процесса, а также снизить удельные энергозатраты [5].

В статье [6] было показано, что ионы Pb в основном удаляли микроэлектролизом Fe/C, и последующая микробная адсорбция-флоккуляция превосходит при обработке свинцовых сточных вод низкой концентрации.

Для извлечения из сточных вод металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, ртути, кадмия, ванадия, марганца), а также соединений мышьяка, фосфора, цианидов используется ионообменная очистка, позволяющая не только освобождать воду от загрязнения токсичными элементами, но и улавливать для повторного использования ряд ценных химических соединений [7].

В настоящее время электрохимические методы выделения тяжелых цветных металлов из сточных вод гальванопроизводства находят все более широкое применение. К ним относятся процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлоккуляции и электродиализа [8]. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через раствор постоянного электрического тока.

В США разработана конструкция электролизера для извлечения тяжелых металлов, в котором однородный поток мельчайших пузырьков воздуха, направленный перпендикулярно поверхности катода, разрушает примыкающий к катоду диффузный слой электролита. Это резко улучшает массообмен в электролите и повышает выход по току [9]. Также в США широко используется электролизер, оборудованный биполярными электродами из углеродистой стали. Расход электроэнергии составляет 10 кВт на 1 кг тяжелых металлов. При содержании тяжелых металлов более 50 мг/л электрохимическая обработка осуществляется в несколько стадий. Концентрация вредных примесей тяжелых металлов после очистки не превышает по каждому из них 0,05 мг/л [10].

Большие успехи достигнуты в результате работ по электрохимическому регулированию pH с выделением гидроксидов металлов в совокупности с электрофлотацией и электролизом [11]. Это

направление успешно развивается в Москве, а также на Украине.

Несмотря на успехи применения электролиза для очистки сточных вод от тяжелых металлов (в том числе и свинца) не ясны граничные условия, при которых возможно использование этого метода.

Для удаления тяжелых металлов из сточных вод, в том числе и свинца, в настоящее время наиболее распространены реагентные методы очистки, сущность которых заключается в переводе растворимых в воде веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов (гидроксидов металлов, их карбонатов и сульфидов) с последующим отделением их от воды в виде осадков [12].

Сообщается [13], что осажденные сульфиды тяжелых металлов легко отделяются от воды. Из полученных осадков известными способами получают металлы, которые повторно используют в производстве. Однако не ясно, какое избыточное количество реагентов необходимо вводить в сточную воду для полного осаждения солей свинца из раствора.

Цель работы: очистить промывочные воды от свинца процесса переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов на основе борфтористоводородного электролита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе определяли допустимую плотность тока на стандартной ячейке Хулла объемом 250 мл с использованием свинцовых анода и катода. Расчеты допустимой плотности тока проводили по уравнениям, описанным в работе [14]. Выход по току рассчитывали исходя из определенных в прямоугольной ячейке количества отложенного свинца на катоде при определенных силе тока, напряжении и времени электролиза при температуре 25 °C [15].

Кислотно-основное титрование электролита осуществляли 0,05 - 0,3 н раствором NaOH [16]. Измеряли концентрацию свинца в растворе после осаждения гидроксида свинца гидроксидом натрия и фильтрования раствора. Измерения проводили фотоколориметрическим методом, основанном на взаимодействии иона свинца с сульффарсазеном с образованием комплексного соединения, окрашенного в желто-оранжевый цвет [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В процессе промывки катодов на катоде откладывается 2 г/м² электролита. Наиболее распространенными электролитами для свинцевания и переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) являются борфтористоводородные, состоящие из свинцовой соли борфтористоводородной кислоты, борфтористоводородной кислоты и поверхностно-

активных веществ (ПАВ) [18]. Водные растворы, полученные после промывки катодов с выделенным на них свинцом, содержат разную концентрацию компонентов электролита. Для электрохимического извлечения свинца из промывочного раствора основной характеристикой является допустимая катодная плотность тока [19]. Это такая плотность тока, при которой и ниже которой на катоде выделяется свинец и не выделяется водород, что приводит к отложению на

катоде качественного покрытия. Как правило, для работы берут значения плотности тока равные 0,8 от допустимой. Скорость выделения свинца на катоде прямо пропорциональна величине допустимой катодной плотности тока. В связи с этим изучено влияние концентрации борфтористоводородного свинца в растворе на допустимую катодную плотность тока, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Влияние концентрации соли свинца в растворе (С, г/л) на допустимую катодную плотность тока (Дк, А/м²)

Table 1 - Effect of lead salt concentration in solution (C, g/l) on the permissible cathodic current density (P_c, A/m²)

С, г/л	lgC	Дк, А/м ²	lgДк	Выход по току, %
80,7	+ 1,91	356	+ 0,55	97,5
40,4	+ 1,61	249	+ 0,40	97,0
20,2	+ 1,31	31	- 0,51	93,6
2,5	+ 0,40	3,3	- 1,48	88,3
0,16	- 0,80	0,50	- 2,30	64,7

Из результатов полученных на рисунке 1 видно, что зависимость Дк от С выравнивается в двойных логарифмических координатах. Прямая была обработана по методу наименьших квадратов и полученное уравнение 1, позволяет описать зависимость Дк от С с

удовлетворительным коэффициентом корреляции равным 0,95, имеющая следующий вид, приведенный на рисунке 1. Исходя из этого уравнения, допустимая плотность тока будет равна

$$D_k = 10^{(1,083 \times \lg C - 1,628)} \quad (1)$$

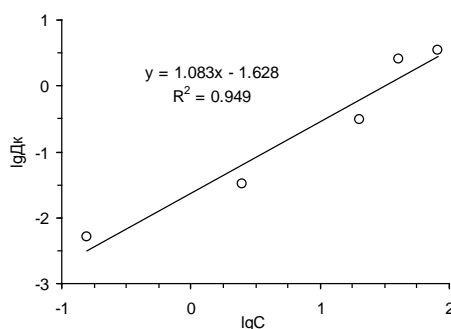


Рис. 1. Зависимость допустимой плотности тока от концентрации соли свинца в растворе

Fig. 1. The dependence of the permissible current density on the concentration of lead in solution

При этом на катоде происходит следующая реакция:



Эта реакция имеет второй порядок и, соответственно, при разбавлении электролита равновесие будет сдвигаться в левую сторону, т.е. этим объясняется наблюдаемое уменьшение Дк по мере разбавления электролита (табл.1, рис.1).

Уравнение 1 позволяет рассчитать значение Дк при разных концентрациях соли свинца в растворе (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние концентрации соли свинца в электролите на рассчитанную катодную допустимую и рабочую плотности тока

Table 2 - Effect of lead salt concentration in the electrolyte on the calculated cathode allowable and operating current density

$C_{Pb^{2+}}$, г/л	lgДк	Дк, А/м ²	Др, мА/м ²
10 ⁻²	- 3,79	0,00016	12800·10 ⁻⁵
10 ⁻³	- 4,88	0,000013	1040·10 ⁻⁵
10 ⁻⁴	- 5,9	0,0000012	96·10 ⁻⁵
10 ⁻⁵	- 7,043	10 ⁻⁸ ·9,05	8·10 ⁻⁵

Результаты, приведенные в таблицах 1 и 2, показывают, что относительно низкие значения Дк наблюдаются при концентрации соли свинца в промывочном растворе при концентрации 160 мг/л и ниже. При этом, при концентрации соли свинца в растворе понижается выход по току, по-видимому, за счет затрат тока на преодоление электрического сопротивления разбавленного дистиллированной водой электролита. Также увеличиваются расходы электрической энергии на выделение единицы массы свинца при исходной концентрации соли свинца равной 160 мг/л по сравнению с концентрацией соли свинца равной 2500 мг/л при

их значениях равных соответственно 1,3 кВт/кг по сравнению с 0,27 кВт/кг. Следовательно, считаем целесообразным выделение свинца на катоде электролизом при концентрации равной 2500 мг/л и выше, при которой также наблюдается достаточной высокий выход по току.

Построили график зависимости скорости выделения свинца (U) от продолжительности процесса его извлечения из раствора (T), который показан на рисунке 2 при следующем составе электролита: свинец борфтористоводородный - 10 г/л, борофтористоводородная кислота - 20,2 г/л и сульфидно-спиртовая баржа (ССБ) - 0,25 г/л.

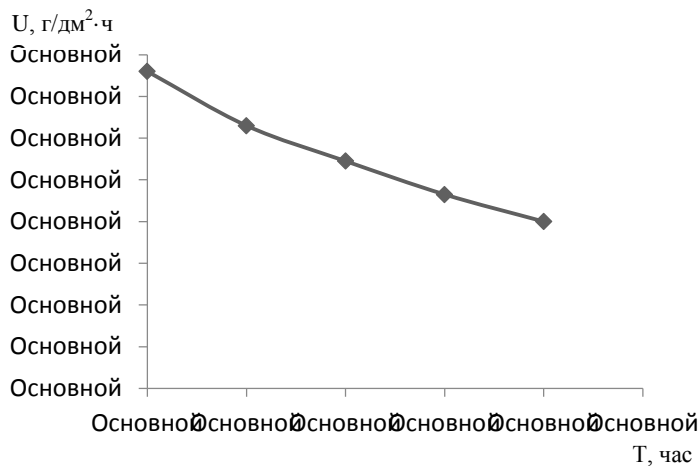


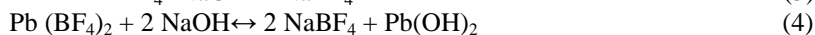
Рис. 2. Зависимость скорости выделения свинца от продолжительности процесса его извлечения из раствора

Fig. 2. The dependence of the rate of release of lead on the duration of the process of its extraction from solution

Следует отметить (рис.2), что по мере выработки свинца из раствора методом электролиза уменьшается скорость его выделения, что необходимо учитывать при проведении процесса извлечения свинца из раствора.

По-видимому, при концентрации соли свинца в растворе ниже 2500 мг/л, будет целесообразно проводить химическое осаждение солей свинца из разбавленных водных растворов. Наименьшая концентрация соли свинца при осаждении будет наблюдаться при pH близкой к 9 [20]. При меньших значениях pH раствора растворимость солей свинца увеличивается за счет образования его солей с кислотами, при больших значениях pH

растворимость солей свинца увеличивается за счет образования его солей с основаниями. Это говорит о том, что для наименьшей концентрации солей свинца в растворе необходимо поддерживать значение pH раствора близкое к 9. Для получения такого значения pH использовали кислотно-основное титрование электролита, содержащего борфтористоводородную кислоту и ее свинцовую соль гидроксидом натрия в присутствии индикатора фенолфталеина с pH перехода окраски в интервале 8,2-9,8. При нейтрализации борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли NaOH будут проходить следующие реакции:



Отмечено, что с уменьшением концентрации электролита, увеличивается избыток щелочи, который необходим для достижения такого значения pH (табл. 3). Это объясняется тем, что для реакций 3 и 4 уменьшение концентрации реагирующих компонентов равновесие будет сдвигаться влево, в сторону образования исходных продуктов. Для полной нейтрализации изучаемых компонентов необходим избыток реагента – NaOH. Как показывают исследования, избыток гидроксида

натрия увеличивается по мере разбавления электролита, что и стоило ожидать. Изучили зависимость избытка щелочи для титрования от концентрации кислоты и свинцовой соли в электролите (табл.3). Показано, что эта зависимость выравнивается в двойных логарифмических координатах и описывается уравнением с хорошим коэффициентом корреляции (R^2) равным 0,97 (рис.3):

$$\frac{\Delta V}{V} = 10^{(-0,51 \times \lg C_1 + 0,47)} \quad (5)$$

где V- объем раствора NaOH, который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ по уравнениям 3 и 4;

ΔV – разница между фактическим объемом раствора NaOH, израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли, и рассчитанным по уравнению 3 и 4.

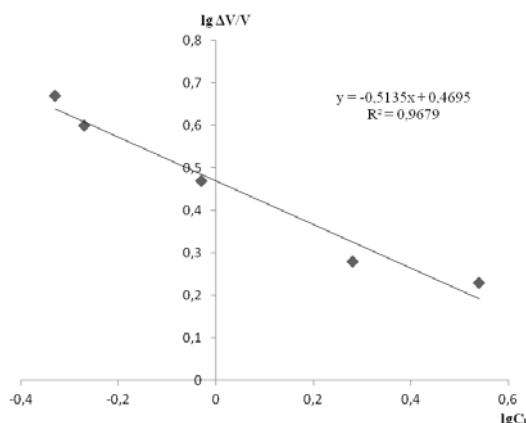


Рис. 3. Зависимость избытка щелочи для титрования от концентрации кислоты и свинцовой соли в электролите

Fig. 3. Dependence of excess alkali for titration on the concentration of acid and lead salt in the electrolyte

Это позволяет рассчитать превышение количества щелочи для осаждения свинца из разбавленных растворов электролита в зависимости от его концентрации, что необходимо

для промышленного выделения свинца из раствора методом осаждения NaOH. При этом определенная концентрация соли свинца в растворе после осаждения и фильтрования составляет 1,4 мг/л.

Таблица 3 – Зависимость превышения объема NaOH, потраченного на нейтрализацию, от суммарной исходной концентрации борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли в растворе

Table 3 - Dependence of the excess of the volume of NaOH spent on neutralization on the total initial concentration of hydrofluoric acid and its lead salt in solution

$\Sigma(\text{C}_{\text{HBF}_4} + \text{C}_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2})$, С, г/л	$\lg \Sigma(\text{C}_{\text{HBF}_4} + \text{C}_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2})$, С, г/л	$\lg (\Delta V/V)$	$\Delta V/V$
0,47	-0,33	0,67	4,7
0,54	-0,27	0,60	4,0
0,93	-0,03	0,47	2,95
1,91	0,28	0,28	1,9
3,45	0,54	0,23	1,7

С помощью уравнения 5 рассчитали превышение раствора щелочи, расходуемого на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли при разных концентрациях соли свинца.

Таблица 4 – Зависимость допустимой и рабочей плотности тока и превышение объема щелочи от концентрации свинца в растворе

Table 4 - Dependence of permissible and operating current density and alkali volume excess on lead concentration in solution

$C_{Pb^{2+}}$, г/л	Дк, мА/м ²	Др, мА/м ²	lgC ₁	lg (ΔV/V)	ΔV/V
0,096	1,86	1,49	-0,018	0,479	3,01
0,070	1,35	1,08	-0,155	0,549	3,54
0,050	0,91	0,73	-0,301	0,624	4,21
0,030	0,56	0,45	-0,523	0,737	5,46
0,010	0,16	0,13	-1,0	0,98	9,55

Исходя из результатов, видно, что Дк и Др имеют очень низкие значения, которые обуславливают очень низкие скорости выделения свинца из раствора, а также низкий выход по току (табл. 1). Это говорит о нерациональности использования электролиза для очистки промывочных вод от ионов свинца. Более целесообразно применять химическое осаждение свинца определенным количеством NaOH исходя из значения ΔV/V.

ВЫВОДЫ

Таким образом, при концентрации соли свинца выше 2,5 г/л для электролитического выделения свинца целесообразно использовать электролиз, а при более низкой концентрации применять химическое осаждение при pH перехода близком к 9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельгин Ю. П. Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств: учеб. пособие / Ю. П. Перельгин, О. В. Зорькина, И. В. Рашевская, С. Н. Николаева. Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. 80 с.
2. Кругликов С.С., Кочергина Л.И., Белкина Л.Н., Яшина О.А. Гальванотехника и обработка поверхности. 2005. Т.3 №1. С.69.
3. Betts, Anson Gardner. Lead refining by electrolysis. New York, J. Wiley & Sons. 2011. 410 p.
4. Сенкевич И.В. Шульга К.И. Электролиз как перспективный метод очистки сточных вод коксохимического производства. Материалы IV Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» Харьков, 2007. С. 187-182.
5. Способ очистки сточных вод от ионов свинца / В.И. Ильин, В.А. Колесников, А.В. Перфильева; заявитель и патентообладатель Российский химико-технологический университет имени

Д.И.Менделеева. № 2009125321/05; заявл. 02.07.2009; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23. 6 с.

6. Peng R. H. et al. Research on Treatment of Leaded Wastewater by Process Combined Fe/C Micro-Electrolysis with Microbial Adsorbent-Flocculant, Applied Mechanics and Materials, Vol. 700, 2015. pp. 470-474.

7. Филиппов В.Н. Оборудование и технология очистки сточных вод, примеры расчета на 022 ЭВМ /В.Н. Филиппов и др. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 300 с.

8. Румянцева З.М. Электрохимические методы очистки природных и сточных вод. М., 1971. С.258-259.

9. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 2001, С.98 - 102.

10. Григорьев С.А. Электрохимические системы с твердым полимерным электролитом (научный обзор). Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», Москва, 2014. С.18-26.

11. Сосновский Г.Н., Сосновская Н.Г., Ковалюк Е.Н., Султанова В.И. Электролиз водных растворов без выделения металлов. Учебное пособие по курсу «Основы электрохимической технологии». Ангарск, АГТА, 2005. 101 с.

12. Удаление металлов из сточных вод: Нейтрализация и осаждение / Под ред. Дж. К. Кушни; Перевод с англ. С. А. Маслова; Под ред. Г. Е. Заикова. М.: Металлургия, 1987. 174 с.

13. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник. Изд.4-е, доп. и перераб. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 702 с.

14. Боровиков В.А. и др. Электрические сети энергетических систем. Учебник для техникумов. Изд. 3-е, переработанное. Л.: Энергия, 1977. 392 с.

15. Инженерная гальванотехника в приборостроении / Под ред. А. М. Гинберга, М., 1977. 512 с.

16. Бейтс Р. Определение pH. Теория и практика, пер. с англ., 2 изд. Л., 1972. С. 126.

17. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. М.: Минздрав СССР, 1979. 25 с.

18. Лидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., испр. М.: Химия, 2000. 480 с.

19. Перельман В.И. Краткий справочник химика. М.: Научно-техническое издательство химической литературы. Издание 4-е, стер., 2013. 560 с.

20. Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов Учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 192 с.

REFERENCES

1. Perelygin Yu. P. Reagent wastewater treatment and disposal of waste solutions and precipitation of electroplating: studies. manual / Yu. P. Perelygin, O. V. Zorkina, I. V. Rashevskaya, S. N. Nikolayeva. Penza: PGU Publishing House, 2013. 80 p.

2. Kruglikov S.S., Kochergina L.I., Belkina L.N., Yashina O.A. Electroplating and surface treatment. 2005. V. 3 №1. P.69.

3. Betts, Anson Gardner. Lead refining by electrolysis. New York, J. Wiley & Sons. 2011. 410 p.

4. Senkevich I.V. Shulga K.I. Electrolysis as a promising method of wastewater treatment by-product coke production Proceedings of the IV International Conference "Cooperation to solve the problem of waste" Kharkov, 2007. pp. 187-182.

5. The method of wastewater treatment from lead ions / V.I. Ilyin, V.A. Kolesnikov, A.V. Perfilieva; applicant and patent holder Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev. No. 2009125321/05; declare 07/02/2009; publ. 08.08.2011; Bul. № 23. 6 p.

6. Peng R. H. et al. Micro / Electrolysis with Microbial Adsorbent-Flocculant, Applied Mechanics and Materials, Vol. 700, 2015. pp. 470-474.

7. Filippov V.N. Equipment and wastewater treatment technology, examples of calculation on 022

computers / VN. Filippov et al. Ufa: Publishing house of USPTU, 2003. 300 p.

8. Rumyantseva Z.M. Electrochemical methods of purification of natural and waste waters. M., 1971. P.258-259.

9. Gvozdev V.D., Ksenofontov B.S. Industrial wastewater treatment and sedimentation utilization. M.: Chemistry, 2001, P.98 - 102.

10. Grigoriev S.A. Electrochemical systems with solid polymer electrolyte (scientific review). International Journal of Alternative Energy and Ecology, Moscow, 2014. P.18-26.

11. Sosnovsky G.N., Sosnovskaya N.G., Kovalyuk E.N., Sultanova V.I. Electrolysis of aqueous solutions without isolation of metals. The manual for the course "Fundamentals of electrochemical technology." Angarsk, AGTA, 2005. 101 p.

12. Removal of metals from wastewater: Neutralization and sedimentation / Ed. J.K. Kushni; Translation from English S.A. Maslova; Ed. G. E. Zaikov. M.: Metallurgy, 1987. 174 p.

13. Voronov Yu.V. Water disposal and wastewater treatment: a textbook. Edition 4, ext. and conver. M.: Publishing House of the Association of construction universities, 2006. 702 p.

14. Borovikov V.A. and others. Electric networks of power systems. Textbook for technical schools. Ed. 3rd, reworked. L.: Energy, 1977. 392 p.

15. Engineering electroplating in instrument making / Edited by A. M. Ginberg, M., 1977. 512 p.

16. Bates R. Determination of pH. Theory and practice, trans. from English, 2 ed. L., 1972. P. 126.

17. МУ 2013-79 Guidelines for the photometric determination of lead and its compounds in the air. M.: USSR Ministry of Health, 1979. 25 p.

18. Lidin R.A. and other. Chemical properties of inorganic substances: Proc. manual for universities. 3rd ed., Corr. M.: Chemistry, 2000. 480 p.

19. Perelman V.I. Quick reference chemist. M.: Scientific and technical publishing house of chemical literature. 4th edition, erased., 2013. 560 с.

20. Shtripling L.O., Turenko F.P. Fundamentals of wastewater treatment and recycling of solid waste textbook. Омск: Омск State Technical University Publishing House, 2005. 192 p.

DEVELOPMENT OF THE WAYS TO CLEAN WASHING WATERS OF GALVANIC PRODUCTION FROM LEAD COMPOUNDS

Serdyuk A I, Yalalova M, Soldatov S.

Summary: The influence of the composition of the washing water on the maximum permissible current density and the release of lead at the cathode was studied. It was determined that with the dilution of the electrolyte, the permissible current density required for uniform deposition of lead on the cathode decreases. The dependence of the permissible current density on the salt concentration of lead in the wash water was established. It is shown that with a decrease in the concentration of lead in the solution, the permissible current density and current efficiency decrease exponentially. On this basis, it is advisable to use electrolysis with a minimum concentration of lead salt in the solution equal to 2.5 g/l. At a lower concentration, the rate of the isolation process decreases dramatically, the current efficiency decreases and the specific energy consumption increases sharply. For further extraction of lead from the solution, its precipitation in the form of sodium hydroxide at pH= 9 was used. An excess of the reagent is calculated, which must be introduced into the solution to completely precipitate the lead salt, depending on the concentration of lead salt in the solution. It is shown that the excess reagent, depending on the concentration of lead salt, varies from 1.7 to 9.6.

Subject of research: purification of wash water from lead compounds formed during the processing of old lead-acid car batteries.

Materials and methods: experimental studies based on the determination of the permissible current density, current efficiency, titration of washing water with sodium hydroxide, systematization of the data, processing of the results obtained by the method of least squares.

Results: The effect of the hydrofluoric lead concentration in the solution on the permissible cathodic current density was studied. The dependence of the permissible current density on the salt concentration of lead in the solution is derived. It is shown that with a decrease in the concentration of lead in the solution, the permissible current density and current efficiency decrease. A graph was constructed of the dependence of the rate of release of lead on the duration of the process of its extraction from solution. Based on this, it can be seen that as lead is produced from a solution by electrolysis, the rate of its release decreases, which must be considered when carrying out the process of extracting lead from a solution. The dependence of excess alkali for titration on the concentration of acid and lead salt in the electrolyte was studied. The excess of sodium hydroxide solution consumed to neutralize the acid and lead salt at different concentrations of lead salt is calculated.

Conclusions: when the salt concentration of lead is above 2.5 g/l, it is advisable to use electrolysis for electrolytic separation of lead, and at a lower concentration to use chemical precipitation.

Key words: cleaning, lead, wash water, lead-acid batteries.

УДК 628.356

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛОКАЛЬНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Штонда Ю.И., Громова А. О., Дроздова А. С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Академия Строительства и Архитектуры (структурное подразделение),
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

Аннотация. Приведены исследования по эффективности биологической очистки сточных вод от пансионатов, гостиниц и жилых домов на существующих локальных канализационных очистных сооружениях.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, локальные канализационные очистные сооружения, нитрификация, денитрификация.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время влияние экологии на качество жизни населения огромное и особенно это становится заметно на фоне ухудшения экологической обстановки в РФ. Возрастает плотность населения и, как следствие, уровень загрязнения окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека.

Основными загрязнениями сточных вод являются физиологические выделения людей и животных, отходы и отбросы, получаемые в результате хозяйственной деятельности человека. В связи с резким увеличением на рынке всевозможных синтетических моющих и чистящих средств, шампуней и порошков, увеличились и объемы их использования на бытовом уровне, что, в свою очередь, приводит к изменению химического состава хозяйственно-бытовых сточных вод. Увеличивается содержания СПАВ, фосфатов, азотсодержащих, компонентов, хлоридов и др., что существенно ухудшает очистку на очистных сооружениях, уменьшая их эффективность. Кроме того, сброс неочищенных, или не качественно очищенных сточных вод на рельеф или в водоем чреват опасностью инфекционных заболеваний, может стать причиной снижения содержания в водах водоема растворенного кислорода и деградации водных экосистем.

С экологической точки зрения, хозяйственно-бытовые сточные воды - один из основных источников загрязнения водных экосистем. Они содержат органические вещества и массу биогенных элементов (азот и фосфор), при попадании которых в водные экосистемы происходит интенсивное эвтрофирование. В результате эвтрофирования, в водах происходит нарушение процессов саморегуляции в биоценозах, в них начинают доминировать виды, наиболее приспособленные к изменившимся условиям вызывая цветение воды. В период цветения в водоеме повышается рН, падает содержание растворенного кислорода, возникают заморные

явления у рыб, ухудшается качество питьевой воды.

Замедление и даже обратимость процессов эвтрофикации водоемов принципиально возможны путем прекращения доступа в водоемы биогенных элементов фосфора Р, азота N. При благоприятных условиях 1 мг азота продуцирует 20-25 мг водорослей. 1 мг фосфора - 40-250 мг.

Поэтому, если до 90-х годов XX века достаточно было очистить сточную воду от взвешенных веществ, органических примесей и провести обеззараживание сточной воды, то в настоящее время очистка сточных вод должна обеспечивать также удаление биогенных элементов.

Самым дешевым и эффективным способом очистки хозяйственно-бытовых сточных вод является биологический метод, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоемов. Сущность метода заключается в способности микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата органические и неорганические соединения, содержащиеся в сточных водах.

В основе биологической очистки лежат два свойства микроорганизмов:

- способность превращать примеси воды в биомассу клеток и внеклеточные продукты;
- способность синтезировать биофлокулянты и с их помощью образовывать многоклеточные агрегаты, легко отделяемые от воды.

Очистка сточных вод происходит в результате биологических процессов (биосинтез, биоокисление и биовосстановление примесей воды) и физико-химических процессов (флокуляция, адсорбция). Газообразные продукты клеточного метаболизма (продукты биоокисления и биовосстановления) десорбируются из воды, а нерастворимые в воде продукты и клеточные агрегаты удаляются отстаиванием. В осадок переходят также взвешенные вещества сточной воды, которые с помощью биофлокулянтов включаются в клеточные агрегаты, а также

некоторые сорбированные биомассой примеси. [1-5].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

В ситуации, сложившейся в Республике Крым, в селах, пансионатах, дачных кооперативах и жилых домах, лишенных возможности подключения к централизованной канализационной сети, проблема очистки сточных вод стоит на первом месте. Самый эффективный, на сегодняшний день метод очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от частных домов и мини-гостиниц, является применение локальных канализационных очистных сооружений. В них используются биологические процессы, которые позволяют очистить загрязненные сточные воды на 98%. Очищенную воду возможно дренировать в грунт без вреда для окружающей природной среды, или использовать для полива, предварительно обеззаразив.

С появлением локальных канализационных очистных установок, проблема очистки сточных вод от частных домов и коттеджей получила современное и эффективное решение. Эти установки разработаны для очистки сточных вод от малых объектов водоотведения, в которых учтены многие неблагоприятные факторы, включая климатические и техногенные, например, неравномерность поступления сточных вод, осадки, отключение электричества, неблагоприятные грунты, отсутствие у населения необходимых навыков по обслуживанию установок, длительность эксплуатации установок, высокий уровень грунтовых вод и т. д.

Практически все локальные очистные сооружения для очистки бытовых сточных вод в РФ и странах бывшего СНГ используют технологию биологической очистки сточных вод. Биологическая очистка осуществляется при помощи микроорганизмов, которые разлагают и окисляют органические загрязнения, присутствующие в сточных водах, при этом выделяя энергию и размножаются. Для удаления из бытовых сточных вод соединений азота и фосфора применяются процессы нитрификации, денитрификации и биологического удаления азота.

Строительство и эксплуатация локальных канализационных очистных сооружений в селах, пансионатах, дачных кооперативах и жилых домах, лишенных возможности подключения к централизованной канализационной сети в Республике Крым, наиболее приемлемо и эффективно, и позволит дальнейшее развитие побережья Азовского и Черного морей и территорий прилегающих к ним [5].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки эффективных решений, технических и технологических задач по строительству и эксплуатации локальных канализационных очистных сооружений в селах, пансионатах, дачных кооперативах и жилых домах, лишенных возможности подключения к централизованной канализационной сети в Республике Крым, рассмотрены и исследованы существующие локальные канализационные очистные сооружения в Республике Крым, в районе п. Лазурное и п. Семидворье, Алуштинского района, принимающие сточные воды хозяйственно-бытового характера от комплекса жилых домов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В геоморфологическом отношении район исследуемых существующих локальных канализационных очистных сооружений принадлежит к Прибрежной полосе южного склона Крымских гор и находится в пределах центрального подрайона Горного Крыма.

Рельеф местности типично горный, сильно расчленённый и характеризуется двумя элементами:

- крупным, часто обрывистым, южным склоном яйлы, обрамляющим берег;
- более отлогой и низменной полосой собственно Южного берега, расположенной между подножьем яйлы и морем.

Для эффективной биологической очистки сточных вод в локальных канализационных очистных сооружениях используются анаэробные, аэробные и аноксидные процессы. По способу применения этих процессов локальные канализационные очистные сооружения возможно разделить на две группы.

Первая группа – это локальные канализационные очистные сооружения, в которых биологическая очистка бытовых сточных вод осуществляется в результате использования аэробных и аноксидных процессов в аэротенках при наличии достаточного количества растворенного кислорода. Данная группа канализационных очистных сооружений эффективно удаляет с бытовых сточных вод соединения азота и органические загрязнения.

Вторая группа – это локальные канализационные очистные сооружения, в которых биологическая очистка бытовых сточных вод осуществляется в результате использования анаэробных процессов в септической зоне и аэробных процессов в аэротенках при наличии достаточного количества растворенного кислорода. Данная группа локальных канализационных очистных сооружений эффективно удаляет с бытовых сточных вод органические загрязнения, соединения азота и фосфора.

Из исследуемых локальных канализационных очистных сооружений, к первой группе относятся блок сооружений в районе п. Лазурное,

представленный ЛОС ЮБАС-100 и ЛОС БИО-30 в районе б/о «Эврика», п. Семидворье, к второй группе относятся блок сооружений в районе урочища «Аян-Дере» в п. Семидворье, представленный ЛОС «ККЛ».

Комплекс локальных канализационных очистных сооружений в районе п. Лазурное построен в 2010-2011 годах, для очистки сточных вод от удаленного жилого комплекса на берегу Черного моря. Проектная мощность существующего комплекса локальных канализационных очистных сооружений, составляет $60 \text{ м}^3/\text{сут}$. Данный комплекс был запроектирован как блок биологической очистки с использованием аэробного метода и состоит из трех блоков ЛОС ЮБАС-100.

Комплекс локальных канализационных очистных сооружений в районе б/о «Эврика», п. Семидворье, построен в 2012 году, для очистки сточных вод от жилого комплекса на берегу Черного моря. Проектная мощность существующего комплекса локальных канализационных очистных, составляет $6 \text{ м}^3/\text{сут}$. Данный комплекс был запроектирован как блок биологической очистки с использованием аэробного метода и состоит из блока ЛОС БИО-30.

Комплекс локальных канализационных очистных сооружений в районе урочища «Аян-Дере» в п. Семидворье, построен в 2013-2014 годах, для очистки сточных вод от удаленного жилого комплекса на берегу Черного моря. Проектная мощность существующего комплекса локальных канализационных очистных, составляет $100 \text{ м}^3/\text{сут}$. Данный комплекс был запроектирован как блок механической и биологической очистки с использованием анаэробного и аэробного методов, и состоит из четырех блоков ЛОС «ККЛ» изготовленных на базе ЛОС «AS-VARIO-150 comp» [6-8].

Отсутствие эффективного блока механической очистки сточных вод ЛОС ЮБАС-100 и БИО-30, при длительной эксплуатации, ухудшало качество биологической очистки, эффективность очистки по БПК₅ составляла 60-70 %.

При увеличении температуры сточных вод более $22 \text{ }^\circ\text{C}$ на исследуемых ЛОС, количество растворенного кислорода в сточной воде уменьшается, и как следствие, биологическая очистка ухудшалась при максимальных поступлениях сточных вод.

Принятая конфигурация системы пневматической аэрации на исследуемых ЛОС, в данных сооружениях применена аэрационная мембрана по типу FB 102, ограничена в случае необходимости увеличения подачи сжатого воздуха, расходом воздуха на единицу длины аэрационного элемента в час $QL - 2-5 \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{ч}$. Для эффективной работы биологической очистки сточных вод на исследуемых ЛОС, в летнее время, необходимо увеличение подачи сжатого воздуха с расходом воздуха на единицу длины аэрационного элемента в час $QL - 12 - 15 \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{ч}$.

Также, недостаточная продувка сжатым воздухом сточной воды и попадание мелкодисперсных взвешенных частиц при поступлении сточных вод на ЛОС свыше допустимых норм, влекло за собой заиливание блока активации.

Наличие эффективного блока механической очистки сточных вод ЛОС «ККЛ» изготовленных на базе ЛОС «AS-VARIO-150 comp», при длительной эксплуатации, не ухудшало качество биологической очистки, эффективность очистки по БПК₅ составляла 85-95 %.

В связи с возможными техногенными авариями на сетях энергоснабжения в Республике Крым, произведены исследовательские работы по определению эффективности работы при восстановлении функционирования ЛОС «ККЛ» изготовленных на базе ЛОС «AS-VARIO-150 comp» и ЛОС ЮБАС-100, при отключении компрессорных установок на 24 часа. После ввода в работу компрессорных установок и выполнения штатных процедур запуска ЛОС, согласно технических паспортов, ЛОС «ККЛ» выходила на режим 70% эффективной очистки по БПК₅ через 7-10 дней, в зависимости от температуры сточных вод. ЛОС ЮБАС-100 выходила на режим 70% эффективной очистки по БПК₅ через 20-30 дней, также, в зависимости от температуры сточных вод. При этом, процесс денитрификации сточных вод на ЛОС «ККЛ» не нарушался.

Для повышения эффективности очистки сточных до требований ПДК, необходимо произвести изменения в технологической схеме работы локальных канализационных очистных сооружений следующим путем:

- установка эффективного оборудования для механической очистки сточных вод;
- установка эффективного оборудования для биологической очистки сточных вод;
- установка пневматических аэрационных систем в аэротенках установок;
- установка современного оборудования для доочистки сточных вод;
- повышение эффективности обеззараживания очищенных сточных вод.

Для механической очистки сточных вод от взвешенных веществ, на канализационных очистных сооружениях возможна установка решетки марки РМБЦ с диаметром отверстий 1,5-3 мм. Решетка механизированная барабанная щеточная РМБЦ предназначена для извлечения из производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод грубодисперсных включений с размерами от 1,5 мм и с выгрузкой их в мусоросборник.

Принятая конфигурация системы пневматической аэрации, в исследуемых существующих ЛОС, ограничена в случае необходимости увеличения подачи сжатого воздуха. Для эффективной работы биологической очистки сточных вод в установках биологической

очистки, в летнее время, необходимо увеличение подачи количества сжатого воздуха [9-10].

Для обеспечения необходимого количества растворенного кислорода для эффективного окисления биологических загрязнений активным илом, необходимо установить: эффективное отечественное оборудование для аэрации сточных вод.

Для доочистки очищенных сточных вод, на локальных канализационных очистных сооружениях возможна установка блока барабанных микроситовых фильтров. Барабанные микрофильтры в первую очередь подходят для применения в рамках третьей стадии очистки, особенно при устранении нерастворенных веществ из хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Содержащая твердые частицы сточная вода поступает по отводящему трубопроводу во внутреннее пространство фильтрующего барабана, загрязнения улавливаются на внутренней стенке ткани, а очищенная сточная вода протекает через фильтрующую ткань наружу. При этом процессе фильтрации все фильтрующее оборудование неподвижно. Фильтрующая ткань постепенно засоряется поступающими загрязнениями, повышается сопротивление ткани к протеканию, а внутри барабана повышается уровень воды. При достижении установленной разницы уровней во внутренней и внешней части фильтрующего барабана уровень датчик, расположенный на передней части фильтра, автоматически включит привод вращения барабана. Одновременно с этим, промывочный насос перекачивает отфильтрованную воду в форсунки промывочной системы. Направленный поток воды из форсунок срывает уловленные на внутренней стороне ткани загрязнения в сточный желоб, который расположен внутри барабана [11].

ВЫВОДЫ

Для обеспечения экологической безопасности населенных мест Республики Крым и повышения эффективности биологической очистки сточных до требований ПДК, предлагается использование локальных канализационных очистных сооружений, в которых комплексно применены анаэробные и аэробные процессы. Для устойчивой работы механической очистки и доочистки сточных вод на ЛОС рекомендуется использование решеток марки РМБЦ и барабанных микроситовых фильтров, что позволит, также, повысить эффективность обеззараживания сточных вод и их повторного использования в народном хозяйстве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эпоян С.М., Штонда Ю.И., Зубко А.Л., Богданов В.А. Основные проблемы и приоритеты очистки сточных вод малых объектов и

населенных пунктов в АР Крым. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: V міжнародна науково-практична конференція., 7-11 вересня 2009 р, м. Алушта: Збірник наукових статей. Харків: «Райдер», - 2009. - Т. 1, - С. 322 – 327.

2. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях поселка Канака в АР Крым. // Науковий вісник будівництва.— Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2010.- Вип.56.- С.230-233.

3. Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях Крыма. // ВСТ. Водоснабжение и Санитарная Техника – Москва – Houstechnik. – 2010. - № 9.- С. 8 - 12.

4. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Совершенствование работы малогабаритных канализационных очистных сооружений поселка Малореченское в АР Крым. // Науковий вісник будівництва.— Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2010.- Вип.60.- С.271-274.

5. Штонда Ю.И., Фирсенков Ю.А., Штонда И.Ю. Влияние работы систем водоотведения на экологическую безопасность и социальную стабильность в поселках прибрежной зоны Черного моря. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. VI міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 6-10 вересня 2010 р, Харків: «Райдер», - 2010. – Т. 1, - С. 324 – 326.

6. Пацай Ю.И., Штонда Ю.И., Штонда И.Ю. Локальные канализационные очистные сооружения для коттеджей и частных домов. // Науково-практичний журнал «Вода і водоочистні технології». – Київ – 2011. - №1. - С. 56 – 59.

7. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И. Локальные канализационные очистные сооружения для частных домов и малых объектов водопользования. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2011.- Вип.65.- С.335-339.

8. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю. И., Пацай Ю.И., Коваль С. П. Локальные канализационные очистные сооружения «AS-VARIO comp» для частных домов и малых объектов водопользования. // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2012.- Вип.69.- С.279-283.

9. Эпоян С.М., Петер Баслер, Штонда Ю. И., Зубко А.Л., Эдимов Р.Р. Использование современных воздуходувок для повышения эффективности работы малых очистных сооружений. // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2013.- Вип.71.- С.370-375.

10. Салиев Э. И., Штонда Ю. И., Штонда А. Ю., Шаляпин С.Н., Шаляпина Т.С., Пилявская А. В., Злобина А. Д. Использование альтернативных источников электроэнергии для энергоснабжения малых канализационных очистных сооружений в

Республике Крым. // Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность». – Симферополь: АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского». – 2016.- Вып.3(55). – С.92 – 96..

11. Штонда Ю. И., Ручковская А. В. Реконструкция существующих канализационных очистных сооружений с использованием мембранной ультрафильтрации. // Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность». – Симферополь: АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского». – 2016.- Вып.5(57). – С.99 – 103

REFERENCES

1. Epoyan S.M., Shton Yu.I., Zubko A.L., Bogdanov V.A. The main problems and priorities of wastewater treatment of small facilities and settlements in the Autonomous Republic of Crimea. // Ecologic security: problems and shifts: V international science conference, 7-11 spring 2009, m. Alushta: Zbirnik naukovich articles. Kharkiv: "Rider", - 2009. - T. 1, - P. 322 - 327.

2. Epoyan S.M., Shton I.Yu., Shtonda Y.I., Zubko A.L. Intensification of wastewater treatment at small-sized sewage treatment plants in the village of Kanaka in the Autonomous Republic of Crimea. // Science Bulletin of Budivnik. - Kharkiv: CDTUBA, CCTV ABU. - 2010.- Vip.56.- P.230-233.

3. Shtona Yu.I., Zubko A.L. Intensification of wastewater treatment at small-sized sewage treatment plants of the Crimea. // VST. Water Supply and Sanitary Equipment - Moscow - Houstechnik. - 2010. - № 9.- p. 8 - 12.

4. Epoyan S.M., Shton I.Yu., Shtonda Y.I., Zubko A.L. Improving the work of small sewage treatment plants of the village Malorechenskoye in the Autonomous Republic of Crimea. // Science Bulletin of Budivnik. - Kharkiv: CDTUBA, CCTV ABU. - 2010.- Vip.60.- P.271-274.

15. Shton Yu.I., Firsenkov Yu.A., Shton I.Yu. Impact of wastewater systems on environmental

safety and social stability in the settlements of the coastal zone of the Black Sea. // Ecologic security: problems and shifts. VI International Scientific Conference, m. Alushta 6-10 spring 2010, Kharkiv: "Rider", - 2010. - V. 1, - P. 324 - 326.

6. . Y.I. Patsay, Y.I. Shtonda, I.Yu. Shtona Local sewage treatment facilities for cottages and private houses. // Scientific-practical journal "Water and Water-purifying Technologies". - Kiev - 2011. - №1.- p. 56 - 59.

7. Epoyan S.M., Shton I.Yu., Shtona I.I. Local sewage treatment facilities for private houses and small water use facilities. // Science Bulletin of Budivnitsa. - Kharkiv: KhDTUBA, CCTV ABU. - 2011.- Vip.65.- P.335-339.

8. Epoyan S.M., Shonda I.Yu., Shtonda Yu.I., Patsay Yu.I., Koval S.P. Local sewage treatment plants AS-VARIO comp for private houses and Malikh water use facilities. // Science Bulletin of Budivnitsa. - Kharkov: KhNUBA, CCTV ABU. - 2012.- Vip.69.- P.279-283.

9. Epoyan S.M., Peter Basler, Shtonda Yu.I., Zubko A.L., Edimov R.R. The use of modern blowers to improve the efficiency of small sewage treatment plants. // Science Bulletin of Budivnitsa. - Kharkov: KhNUBA, CCTV ABU. - 2013.- Vip.71.- P.370-375.

10. Saliev E.I., Shtonda Yu.I., Shtonda A.Yu., Shalyapin S.N., Shalyapina TS., Pilyavskaya A.V., Zlobina A.D. Use of alternative sources of electricity for the power supply of small sewage treatment structures in the Republic of Crimea. // Collection of scientific papers "Construction and technological safety." - Simferopol: ASA FGAOU IN "KFU them. V.I. Vernadsky. - 2016.- Vol.3 (55). - P.92 - 96 ..

1.11. Shtona Yu. I., Ruchkovskaya A.V. Reconstruction of existing sewage treatment plants using membrane ultrafiltration. // Collection of scientific papers "Construction and technological safety." - Simferopol: ASA FGAOU IN "KFU them. V.I. Vernadsky. - 2016.- Vol.5 (57). - p. 99 - 103

RESEARCHES OF PROCESSES OF BIOSCRUBBING OF EFFLUENTS ON EXISTENT LOCAL SEWAGE SEWAGE TREATMENT PLANTS

Shtonda Yu.I., Gromova A.O., Drozdova A.S.

Summary. Resulted research on efficiency of bioscrubbing of effluents from resort hotels, hotels and dwelling-houses on existent local sewage sewage treatment plants.

Key words: wastewater, biological treatment, sewerage treatment plant, nitrifying, denitrification.

ПОСТРОЕНИЕ КРУГОВОЙ ДИАГРАММЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Даниленко А.И., Воскресенская С.Н., Бекиров Э.А, Алькаата А.

Физико-технический институт ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Аннотация. Проведен анализ возможности работы асинхронного генератора ветроэлектроустановки после его капитального ремонта. Для этого производилось сравнение расчетных и паспортных данных. Расчетные данные определялись с помощью круговой диаграммы, для построения которой исходные значения измерялись в опытах холостого хода и короткого замыкания. Анализ осуществлялся для генератора M2CG400XL 4/6 В3 с обмотками мощностью 120 кВт, 1000 об/мин, 690 В и мощностью 600 кВт, 1500 об/мин, 690 В и показал, что он может работать без ограничений. Однако, для второго случая возможна остановка ветроэлектроустановки Т600-48 при работе генератора на номинальную нагрузку, сопровождаемую сильным, порывистым ветром.

Ключевые слова: асинхронный генератор, ветроэлектроустановка, круговая диаграмма, опыт холостого хода, опыт короткого замыкания.

ВВЕДЕНИЕ

На настоящий момент времени во всех отраслях производства широко применяются асинхронные машины. Одной из сфер распространения является ветроэнергетика. Асинхронные генераторы установлены на целом типоряде ветроэлектроустановок (ВЭУ), в том числе Т 600-48. Они входят в состав Восточно-Крымской, Сакской, Тарханкутской ветроэлектростанций. Общая численность включает одиннадцать ВЭУ Т 600-48. Закономерно, что периодически требуется проводить капитальные ремонты асинхронных генераторов и их испытания для определения возможности дальнейшей эксплуатации. Целью статьи является построение круговой диаграммы для асинхронного генератора M2CG400XL 4/6 В3, используемого на ВЭУ Т 600-48. Задачи исследований включают: определение рабочих характеристик с помощью круговой диаграммы, их сравнение с паспортными данными; измерение электрических параметров по данным опыта холостого хода и опыта короткого замыкания обмоток мощностью 120 кВт, 1000 об/мин, 690 В и мощностью 600 кВт, 1500 об/мин, 690 В генератора M2CG400XL 4/6 В3 после его капитального ремонта.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рабочие характеристики электродвигателей после их ремонта могут быть определены с помощью различных методов. Различают как статические, так и динамические испытания, то

есть, проводимые в отключенном состоянии или под нагрузкой [1]. Контролю подвергается ряд параметров, включающий комплексные сопротивления обмоток, индуктивность, емкость, небаланс фаз, наличие высших гармоник и помех, коэффициент мощности, скольжение, вращающий момент и т.д.

Один из наиболее широко используемых и освещенных в научных публикациях [2 - 5] методов испытаний асинхронных тяговых двигателей – метод взаимной нагрузки. В этом случае берутся два одинаковых двигателя, соединенных электрически и механически, причем один из них запускают в генераторном режиме. Вся генерируемая энергия расходуется на работу второго двигателя, от сети поступает только электроэнергия на компенсацию потерь.

Предлагается также метод испытания при небольших значениях номинальной В этом случае на валу электродвигателя, работающего без нагрузки, создается тормозной электромеханический момент [6]. Использование динамических режимов с нагружением токами и моментами может способствовать рекуперации электроэнергии в сеть [7]. На современном этапе развития электротехнологий энергосбережение [8, 9] является одним из значимых факторов, особенно в энергоемких отраслях. Поэтому существуют способы повышения энергоэффективности двигателей после их ремонта, в результате использования которых увеличивается коэффициент полезного действия, уменьшается реактивная мощность [10].

Использование ВЭУ с асинхронными генераторами способствует экономии органических видов топлива и относится к энергоэффективным

технологиям. В процессе их работы также осуществляется мониторинг рабочих характеристик [11, 12], в том числе, с целью своевременного выявления неисправностей на случай необходимости ремонта. Испытания после ремонтов в данном случае осуществляются по стандартным аттестованным методикам, приводимым в нормативно-технической документации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение рабочих характеристик генератора M2CG400XL 4/6 В3 проводилось в Электроцехе в с. Победное Джанкойского района после выполненного ремонта в соответствии с техническими характеристиками намотки обмоток генератора, по данным результатов проведения опыта холостого хода и опыта короткого замыкания в марте и августе 2018 года. При этом

использовалась методика, изложенная в ГОСТ 7217-87 «Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для построения круговых диаграмм нужны исходные данные, которые берутся из опытов холостого хода и короткого замыкания (таблицы 1 и 2). В таблицах приведены значения фазных напряжений $U_{\phi 1} - U_{\phi 3}$, токи $I_1 - I_3$, среднее значение фазного напряжения U_{ϕ} , линейное напряжение U_L , среднее значение тока I_H , активная P , реактивная Q и полная S мощности, коэффициент мощности $\cos \varphi$, угол между фазным током и напряжением при соответствующем режиме работы φ . Сопротивление обмотки статора между двумя линейными выводами $R_1 = 0,1$ Ом для таблицы 1 и $R_1 = 0,025$ Ом для таблицы 2.

Таблица 1. Результаты измерений обмотки генератора мощностью 120 кВт, 1000 об/мин, 690 В

Table 1. Results of measurings of puttee of generator by power 120 kW, 1000 min⁻¹, 690 V

Дата	$U_{\phi 1}$, В	$U_{\phi 2}$, В	$U_{\phi 3}$, В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U_{ϕ} , В	U_L , В	I_H , А	P , кВт	S , ВА	Q , кВАр	$\cos \varphi$	φ , град	U , о.е.
Опыт холостого хода															
02.08.18	380	384	388	50	51,9	52	384	665,1	51,3	3,36	59,1	59,04	0,057	86,74	0,96
Опыт короткого замыкания															
02.08.18	69	68	70	122	120	120	69	119,5	120,7	5,85	25	24,28	0,234	76,74	0,17

Таблица 2. Результаты измерений обмотки генератора мощностью 600 кВт, 1500 об/мин, 690 В

Table 2. Results of measurings of puttee of generator by power 600 kW, 1500 min⁻¹, 690 V

Дата	$U_{\phi 1}$, В	$U_{\phi 2}$, В	$U_{\phi 3}$, В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U_{ϕ} , В	U_L , В	I_H , А	P , кВт	S , ВА	Q , кВАр	$\cos \varphi$	φ , град	U , о.е.
Опыт холостого хода															
13.03.18	354	355	351	77,6	80,2	80	353,3	612	79,3	8,5	84	83,59	0,101	84,19	0,89
Опыт короткого замыкания															
13.03.18	41,8	44,3	41,7	191	188	187	42,6	73,8	188,7	5,15	24,1	23,56	0,214	77,67	0,11

Прежде, чем строить круговую диаграмму необходимо посчитать ряд параметров. Условный фазный ток короткого замыкания I_K при номинальном напряжении U_H определяется по формуле

$$I_K = I_H \frac{U_H}{U_K}, \quad (1)$$

где $U_H = 690$ В – номинальное напряжение;

$U_K = U_L$ в режиме короткого замыкания.

Допустимое значение тока короткого замыкания должно находиться в пределах от $4 \cdot I_H$ до $7 \cdot I_H$.

В нашем случае при мощности 120 кВт кратность номинальному току составляет 5,77, а при мощности 600 кВт – 3,2.

Условные потери короткого замыкания P_k при токе I_k определяются по формуле

$$P_k = P_{кн} \left(\frac{I_k}{I_H} \right)^2, \quad (2)$$

где $P_{кн}$ – активная мощность в режиме короткого замыкания.

Напряжение короткого замыкания находится с помощью следующего выражения

$$U_{к\%} = \frac{U_k}{U_H} 100\% \quad (3)$$

и должно лежать в диапазоне (15÷25)%.

При мощности 120 кВт напряжение короткого замыкания составляет 17,3%, а при мощности 600 кВт – 32%.

Для электрических машин с короткозамкнутым ротором с простой клеткой построение окружности рабочих токов будем производить в соответствии с правилами построения круговой диаграммы. Построение круговой диаграммы отражено на рисунке 1

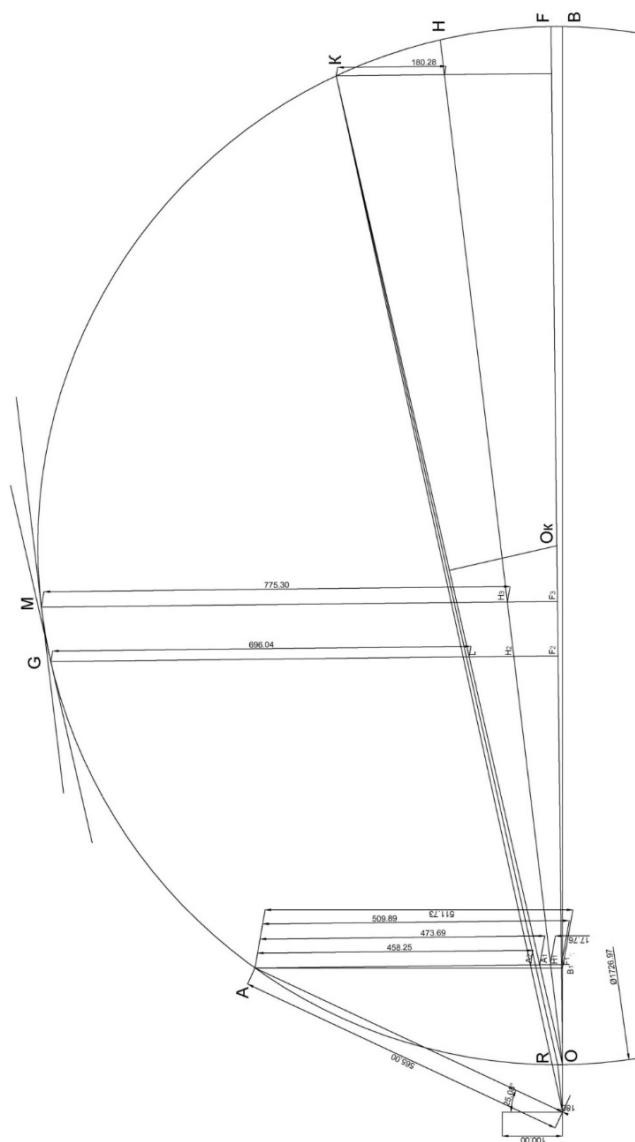


Рис. 1. Круговая диаграмма обмотки генератора 600 кВт

Fig.1. Circular graph of puttee of generator 600 kW

Обычно построения осуществляются с учетом масштабов. Для получения значений в абсолютных единицах напряжения, тока, мощности, момента пересчет осуществляют путем умножения размера в мм на соответствующий масштаб (на рисунке 1 круговая диаграмма показана без учета масштаба в

связи с ограниченным форматом печатного издания).

Для построения окружности тока сначала вертикально вверх откладывается вектор фазного напряжения. Начало вектора напряжения обозначается как $O1$. Из точки $O1$ строится горизонтальная линия OB – линия активной

мощности $P_1 = 0$ – первичной электрической мощности на клеммах электрической машины с короткозамкнутым ротором.

Отметим точку R реального холостого хода по опытным данным – конец вектора тока холостого хода I_0 . Для этого в масштабе тока откладывается вектор тока холостого хода I_0 под углом φ_0 . Также, направление вектора тока холостого хода можно задать по потерям холостого хода P_0 при номинальном напряжении $U_{н}$. Для этого необходимо отложить отрезок $O2R$ – соответствующий P_0 , перпендикулярно горизонтальной линии OB – линии активной мощности P_1 .

Построим точку O идеального холостого хода (скольжение $s=0$), находящуюся на отрезке $O2R$ (соответствующим P_0), исключив из потерь холостого хода P_0 сумму механических потерь, исходя из следующего выражения

$$P_0 = P_{м10} + \Delta P_{мех}, \quad (4)$$

где $\Delta P_{мех}$ – потери механические, $P_{м10}$ – потери в обмотке статора.

Для этого отрезок $O2R$ (соответствующий P_0) разобьем на два отрезка OR (соответствующий $\Delta P_{мех}$) и $O2O$ (соответствующий $P_{м10}$), исходя из того, что

$$P_{м10} = 1,5 \cdot I_0^2 \cdot R_1 / 1000, \quad (5)$$

где I_0 – ток холостого хода, R_1 – сопротивление обмотки статора между двумя линейными выводами.

Как правило, отрезок $O2O$ очень мал, поэтому точки $O2$ и O практически совпадают друг с другом (рисунок 1).

Из точки O проведем прямую OF , под углом α к горизонтали, исходя из следующего выражения

$$\sin \alpha = \frac{2 \cdot I_0 \cdot R_1}{U_{нФ}}, \quad (6)$$

где $U_{нФ} = 400$ В – номинальное фазное напряжение.

Точка K (скольжение $s=1$) – точка условного тока короткого замыкания I_k и условных потерь короткого замыкания P_k , рассчитанных по формулам (1) и (2) без учета насыщения. Соединим точки O и K отрезком OK , от середины которого построим перпендикуляр. Пересечение этого перпендикуляра с прямой OF даст нам точку O_k , которая является центром окружности токов. Проведем через точку O и K окружность OKB с центром O_k , которая и будет являться окружностью рабочих токов электрической машины с короткозамкнутым ротором. Построенный отрезок OK , является линией механической мощности $P_{мех} = 0$. Соединим точки R и K отрезком RK . Построенный отрезок RK , является линией вторичной мощности $P_2 = 0$.

Построим линию электромагнитной мощности ($P_{эм}$), она же является и линией электромагнитного момента. Для этого проведем прямую OH под

углом γ к прямой OF , исходя из следующего выражения

$$tg \gamma = \frac{D_a \cdot R_1}{U_{нФ}}, \quad (7)$$

где D_a – диаметр окружности рабочих токов OKB в Амперах.

Построенная прямая OH является линией электромагнитной мощности $P_{эм} = 0$, и линией вращающего электромагнитного момента $M = 0$, а точка H ее пересечения с окружностью OKB – теоретической точкой бесконечно-большого скольжения $s = \infty$.

Определение номинальной мощности, номинального коэффициента мощности и номинального скольжения будем производить для некоторой точки A , построенной на окружности рабочих токов, которая соответствует номинальному току I_n , согласно паспортным данным на этот генератор. Для этого из точки OI построим окружность с радиусом, соответствующим номинальному току I_n в масштабе тока. Пересечение этой окружности с окружностью рабочих токов OKB даст нам точку A . Соединим отрезком точки OI и A . Точка A отрезка OIA будет вершиной вектора OIA – номинального тока I_n .

Из получившейся на пересечении точки A опускаем два перпендикуляра: один – на горизонтальную линию O_1B (линию активной мощности P_1), второй – на линию OF . Пересечение первого перпендикуляра с линией O_1B даст нам точку B_1 , а пересечение второго перпендикуляра с линией OF даст нам точку F_1 . Образовавшиеся линии AB_1 и AF_1 являются линиями номинальных мощностей.

Аналогичным образом строится круговая диаграмма при мощности 120 кВт.

Номинальные мощности могут быть рассчитаны с помощью круговой диаграммы.

Активная мощность P_1 (первичная электрическая мощность на клеммах электрической машины с короткозамкнутым ротором) соответствует размеру отрезка AB_1 в мм, умноженному на масштаб мощности. Аналогично электромагнитная мощность $P_{эм}$ соответствует отрезку AH_1 , механическая мощность $P_{мех}$ соответствует отрезку AA_1 , а вторичная мощность P_2 (мощность на валу электрической машины) соответствует отрезку AA_2 . Зная мощности, можно рассчитать коэффициент полезного действия.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ можно определить из отношения двух отрезков AB_1 и AO , а скольжение s – из отношения двух отрезков A_1H_1 и AH_1 . Скольжение используется для расчета номинальной частоты вращения. Номинальный момент задается отрезком AH_1 .

Максимальная механическая мощность ($P_{мех.макс}$) характеризуется отрезком GL . Для его построения необходимо провести касательную к окружности рабочих токов OKB , параллельную линии механической мощности OK . При этом

Построение круговой диаграммы асинхронного генератора ветроэлектроустановки для определения рабочих характеристик

получим точку касания G . Из точки касания G опустим перпендикуляр к линии OF . В месте пересечения перпендикуляра с линией OF , получим точку $F2$. Получившийся перпендикуляр $GF2$, на пересечении с линией механической мощности OK образует точку L . Полученный отрезок GL умноженный на масштаб мощности определяет величину максимальной механической мощности.

Максимальный электромагнитный момент (M_{\max}) характеризуется отрезком $MНЗ$. Для его построения необходимо провести касательную к окружности рабочих токов OKB , параллельную линии электромагнитной мощности и электромагнитного момента OH . При этом получим точку касания M . Из точки касания M опустим перпендикуляр к линии OF . В месте пересечения перпендикуляра и линии OF , получим точку $F3$. Получившийся перпендикуляр $MF3$, на пересечении с линией электромагнитной мощности и электромагнитного момента OH образует точку $НЗ$. Полученный отрезок $MНЗ$ умноженный на

масштаб момента определяет величину максимального момента.

Перегрузочная способность электрической машины определяется как отношение максимального момента к номинальному.

Кратность пускового момента характеризуется отношением начального пускового вращающего момента (M_n) к номинальному моменту (M). Характеристика пускового режима определяется точкой K на окружности рабочих токов. Поэтому начальный пусковой вращающий момент (M_n) характеризуется отрезком $KN4$. Для построения отрезка $KN4$ необходимо из точки K опустить перпендикуляр к линии OF . В месте пересечения перпендикуляра с линией OH , получим точку $Н4$. Полученный отрезок $KN4$ умноженный на масштаб момента определяет величину начального пускового вращающего момента.

В результате построений и вычислений по вышеприведенным формулам можно получить ряд параметров и сравнить их с паспортными данными (таблицы 3 и 4).

Таблица 3. Сравнительные характеристики диагностируемого генератора мощностью 120 кВт

Table 3. Comparative descriptions of the diagnosed generator by power 120 kW

Параметр	Единица измерений	Значения для генератора M2CG400XL 4/6 В3, обмотки мощностью 120 кВт, 1000 об/мин, 690 В	
		Паспортные данные	Данные по результатам измерений после выполненного ремонта
Количество полюсов	–	6	6
Номинальное напряжение	В	690	690
Частота	Гц	50	50
Схема соединения обмоток статора	–	треугольник	треугольник
Номинальная выходная мощность	кВт	120	125,23
Синхронная частота вращения	об/мин	1000	1000
Номинальная частота вращения	об/мин	1008	1104,46
Скольжение	о.е.	- 0,8%	- 1,08 %
Коэффициент мощности	о.е.	0,82	0,8485
КПД	%	93,9	93,24
Номинальный ток под нагрузкой	А	123	123
Ток холостого хода	А	45	51,3
Реактивная мощность в режиме ХХ	кВАр	54	59,04
Номинальный момент	Н · м	1210	1156,2
Кратность пускового момента (в режиме двигателя)	о.е.	1	0,41
Кратность максимального момента	о.е.	3	2,79
Активное сопротивление обмотки статора между двумя линейными выводами R_1	Ом	0,1	0,1

Таблица 4. Сравнительные характеристики диагностируемого генератора мощностью 600 кВт

Table 4. Comparative descriptions of the diagnosed generator by power 600 kW

Параметр	Единица измерений	Значения для генератора M2CG400XL 4/6 В3, обмотки мощностью 600 кВт, 1500 об/мин, 690 В	
		Паспортные данные	Данные по результатам измерений после выполненного ремонта
Количество полюсов	–	4	4
Номинальное напряжение	В	690	690
Частота	Гц	50	50
Схема соединения обмоток статора	–	треугольник	треугольник
Номинальная выходная мощность	кВт	600	614,08
Синхронная частота вращения	об/мин	1500	1500
Номинальная частота вращения	об/мин	1513	1554
Скольжение	о.е.	- 0,9%	- 3,614 %
Коэффициент мощности	о.е.	0,89	0,9057
КПД	%	96,6	89,55
Номинальный ток под нагрузкой	А	565	565
Ток холостого хода	А	124	79,3
Реактивная мощность в режиме XX	кВАр	149	83,59
Номинальный момент	Н · м	3920	3754,68
Кратность пускового момента (в режиме двигателя)	о.е.	0,8	0,37
Кратность максимального момента	о.е.	2,7	1,58
Активное сопротивление обмотки статора между двумя линейными выводами R_1	Ом	0,0153	0,025

Проведенные исследования рабочих характеристик генератора M2CG400XL 4/6 В3, обмотки мощностью 120 кВт, 1000 об/мин, позволяют сделать вывод о том, что расчет обмоточных данных и ремонт этой обмотки генератора выполнен правильно. Рассчитанные и измеренные характеристики после выполненного ремонта практически полностью совпадают с паспортными данными этой обмотки генератора (таблица 3).

Что касается исследований рабочих характеристик генератора M2CG400XL 4/6 В3, обмотки мощностью 600 кВт, 1500 об/мин, то расчет обмоточных данных и ремонт этой обмотки генератора в целом выполнен правильно, однако имеются некоторые отклонения рассчитанных и измеренных характеристик после выполненного ремонта с паспортными данными этой обмотки генератора, которые могут вызвать неправильную работу ВЭУ (таблица 4). В частности, несколько повышена величина скольжения и частота вращения ротора, а также занижена кратность максимального момента.

От величины скольжения зависит способность генератора удерживать обороты в заданных пределах. Так как уставка отключения ВЭУ от превышения оборотов, записанная в контроллер управления ее работой, составляет 1526 об/мин, то при работе генератора на номинальную нагрузку, сопровождаемую сильным, порывистым ветром

(более 15 м/с), возможно превышение оборотов генератора выше уставки 1526 об/мин, и, как следствие, это может привести к формированию контроллером аварийного сигнала, который приведет к остановке ВЭУ.

От величины кратности максимального момента зависит перегрузочная способность генератора. Для задач ветроэнергетики перегрузочная способность генератора должна находиться в пределах 2,3 – 3,0. Это обусловлено тем, что генератор ВЭУ должен выдерживать превышение мощности от порывов ветра, которые могут быть в 2 и более раза превышать среднюю скорость ветра. Заниженная кратность максимального момента также может негативно сказываться при работе генератора на номинальную нагрузку, сопровождаемую сильным, порывистым ветром.

Следует также отметить, что данные по результатам измерений после выполненного ремонта обмотки мощностью 600 кВт, 1500 об/мин генератора M2CG400XL 4/6 В3 были получены при пониженном токе короткого замыкания. При проведении исследований характеристик обмотки генератора мощностью 600 кВт ток короткого замыкания удалось поднять только до 188,7 А. Для проведения подобных исследований его надо было поднимать до 565 А. Невозможность данного действия была обусловлена ограничением мощности вращающего трансформатора

испытательной установки Электроцеха в селе Победное. Учитывая это обстоятельство, можно предположить, что полученные данные (таблица 4) могут несколько отличаться от фактических и поэтому требуют уточнения в реальных условиях работы генератора в составе ВЭУ Т600-48. Следовательно, негативные явления при работе генератора в составе ВЭУ Т600-48 при сильном, порывистом ветре могут и не проявляться.

ВЫВОДЫ

Исследуемый генератор M2CG400XL 4/6 В3 после капитального ремонта при подключении его обмотки мощностью 120 кВт, 1000 об/мин или обмотки мощностью 600 кВт, 1500 об/мин к электросети, может работать на номинальную нагрузку без каких либо ограничений, с использованием штатных, заводских уставок управляющего его работой контроллера.

Однако, если будут наблюдаться явления останова ВЭУ Т600-48 при работе генератора на номинальную нагрузку, сопровождаемую сильным, порывистым ветром (более 15 м/с), необходимо выполнить одно из следующих мероприятий:

- Изменить уставку отключения ВЭУ от превышения оборотов генератора, в контроллере управления ее работой, с 1526 об/мин до 1560 об/мин.

- Увеличить напряжение на клеммах генератора на 2,5 – 5 %, путем увеличения напряжения на силовом трансформаторе 1000 кВА 35/0,69 кВ подстанции ВЭУ Т600-48, переставив переключатель положения трансформатора ПБВ в более высокое положение (на одно – два положения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завидей В.И. Новые возможности в диагностике электрических машин // Экспозиция Нефть Газ. 2010. № 2 (8). С. 33 – 35.
2. Казаков Ю.Б., Палилов И.А. Экспериментальное и расчетное, на основе полевых моделей, исследование электромеханических процессов в асинхронных машинах, объединенных общим валом, при испытаниях методом взаимной нагрузки // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. 2016. Т. 1. С. 184 – 189.
3. Харламов В.В., Попов Д.И., Литвинов А.В. Методика определения мощности и математическое моделирование физических процессов при испытании асинхронных тяговых двигателей методом взаимной нагрузки // Вестник Сибирской Государственной Автомобильно-Дорожной Академии. 2016. № 5 (51). С. 42 – 48.
4. Попов Д.И., Руменко С.О., Стретенцев А.И. Алгоритм вывода на режим нагрузки асинхронных машин при испытании методом взаимной нагрузки // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2016. С. 180 – 185.
5. Бейерлейн Е.В., Рапопорт О.Л., Цукублин А.Б. Испытания асинхронных машин методом взаимной нагрузки // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 153 – 156.
6. Марченко А.А. Определение диапазона номинальной мощности электродвигателей при испытаниях методом динамического нагружения // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. Т. 10. № 2. С. 38 – 44.
7. Марченко А.А., Портнягин Н.Н. Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 6 (28). С. 76 – 83.
8. Цопа Н.В., Малахова В.В., Ковальская Л.С. О необходимости нормативного регулирования современной энергосберегающей политики в строительном комплексе // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 6 (58). С. 91 – 98.
9. Цопа Н. Особенности управления энергосбережением в инвестиционно-строительном комплексе // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 2 (54). С. 54 – 59.
10. Дейнего В., Дуюнов Д., Иванов В. Повышение энергоэффективности асинхронных двигателей вторичного рынка как способ энергосбережения // Электрик. 2015. № 5. С. 30 – 35.
11. Головкин В.М., Коханевич В.П., Шихайлов Н.А., Сандовал К.Р., Донец А.М. Имитационная модель для анализа параметров автономных ветроэлектрических установок с асинхронным генератором // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2017. № 4-6 (216-218). С. 42 – 52.
12. Рамадан А. Исследование режимов работы сетевой ВЭУ 1,3 МВт с асинхронным генератором в MATLAB SIMULINK // Политехническая неделя в Санкт-Петербурге: материалы научного форума с международным участием. Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

"Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2016. С. 163 – 166.

REFERENCES

1. Zaviday V.I. New features in the diagnosis of electric cars. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*. 2010. No. 2 (8), pp. 33 – 35. (in Russian).
2. Kazakov YU.B., Palilov I.A. Experimental and calculated, based on field models, the study of electromechanical processes in asynchronous machines, united by a common shaft, when tested by the method of mutual load. *Avtomatizatsiya v elektroenergetike i elektrotehnike*. 2016. T. 1, pp. 184 – 189. (in Russian).
3. Kharlamov V.V., Popov D.I., Litvinov A.V. Method of determining the power and mathematical modeling of physical processes in the testing of asynchronous traction motors by the method of mutual load. *Vestnik Sibirskoy Gosudarstvennoy Avtomobil'no-Dorozhnoy Akademii*. 2016. No. 5 (51), pp. 42 – 48. (in Russian).
4. Popov D.I., Rumenko S.O., Stretentsev A.I. Algorithm of output to the load mode of asynchronous machines when tested by the method of mutual load. Innovative projects and technologies in education, industry and transport: materials of the scientific conference dedicated to the Day of Russian science. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2016, pp. 180 – 185. (in Russian).
5. Beyyerleyn Ye.V., Rapoport O.L., Tsukublin A.B. Testing of asynchronous machines by the mutual load method. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2005. T. 308. No. 7, pp. 153 – 156. (in Russian).
6. Marchenko A.A. Determination of the range of the rated power of electric motors when testing by the method of dynamic loading. *Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy*. 2014. T. 10. No. 2, pp. 38 – 44. (in Russian).
7. Marchenko A.A., Portnyagin N.N. Energy efficient loading of asynchronous electric motors in the process of post-repair tests. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2014. No. 6 (28), pp. 76 – 83. (in Russian).
8. Copa N.V., Malahova V.V., Koval'skaya L.S. On the need for regulatory regulation of modern energy-saving policies in the construction sector. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2017. No. 6 (58), pp. 91 – 98. (in Russian).
9. Copa N. Features of energy saving management in the investment and construction complex. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2016. No. 2 (54), pp. 54 – 59. (in Russian).
10. Dejnego V., Dujunov D., Ivanov V. Increase of the energoefficiency of asynchronous engines of the second market as method of energy-savings. *Jelektrik*. 2015. No. 5, pp. 30 – 35. (in Russian).
11. Golovko V.M., Kokhanevich V.P., Shikhaylov N.A., Sandoval K.R., Donets A.M. Simulation model for analyzing the parameters of autonomous wind power plants with asynchronous generator. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2017. No. 4-6 (216-218), pp. 42 – 52. (in Russian).
12. Ramadan A. Study of operating modes of a network 1.3 MW wind turbine with an asynchronous generator in MATLAB SIMULINK. Polytechnic week in St. Petersburg: materials of a scientific forum with international participation. Sankt-Peterburg: Federal'noye gosudarstvennoye avtonomnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya "Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo", 2016, pp. 163 – 166. (in Russian).

CONSTRUCTION OF THE CIRCULAR DIAGRAM OF THE ASYNCHRONOUS GENERATOR OF WIND TURBINE TO DETERMINE THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Danilenko A.I., Voskresenskaya S.N., Bekirov E.A., Al'kaata A.

Physical-Technical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Kievskaya street, 181, e-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Summary. The analysis of possibility of work of asynchronous generator of wind turbine is conducted after his major repairs. For this, a comparison of calculated and passport data was made. The calculated data were determined using a circular diagram, for the construction of which the initial values were measured in the experiments of idling and short circuit. The analysis was carried out for the generator of M2SG400XL 4/6 B3 with windings by power 120 kW, 1000 min⁻¹, 690 V and by power 600 kW, 1500 min⁻¹, 690 V and showed that it can work without restrictions. However, for the second case, it is possible to stop the wind turbine T600-48 when the generator is operating at a nominal load, accompanied by a strong, gusty wind.

Key words: asynchronous generator, wind turbine, circular diagram, experiment of idling, short circuit experiment.

УДК 624.04:004.42

РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВА.М. Погребницкая¹ М.В. Черкас^{1,2}Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
г. Симферополь, ул. Киевская 181,¹pogrebiskaya.13@mail.ru, ²maiya.cherkas@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена математическая модель задачи о нахождении нормальных напряжений и деформаций на примере стержневой системы. Составленная модель представлена системой нелинейных уравнений и неравенств. Задача решена с помощью различных прикладных пакетов. В среде табличного процессора MS EXCEL решение найдено методом обобщенного понижающего градиента с помощью инструмента «Поиск решения». Результат подтвержден решением в среде программного пакета MathCAD с использованием вычислительного блока Given-Find. Также для задачи механики грунтов исследуемые характеристики показали полное совпадение расчетных данных, найденных различными программами.

Ключевые слова: математическая модель, напряженно-деформированное состояние, прикладные программные пакеты, характеристики грунта.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из характерных особенностей нашего времени является широкое применение ЭВМ в самых различных сферах человеческой деятельности, в том числе и в строительной отрасли. Эффективность применения ЭВМ во многом зависит от опыта, профессиональной квалификации и компьютерной грамотности специалиста-инженера.

Основу компьютерной грамотности на современном этапе составляют:

- умение формализовать свои профессиональные знания и доводить их до алгоритма;
- использование готовых пакетов прикладных программ и анализ полученных решений.

Формализация профессиональных знаний означает умение построить математическую модель технического процесса или объекта, умение выбрать наиболее рациональный численный метод, встроенный в тот или иной программный продукт, и оценить достоверность полученных результатов.

Как уже упоминалось ранее, большинство численных методов, интересующих инженера-строителя, легко реализуются в программах **Mathcad** и **MS Excel**. По этим причинам именно эти программные средства выбраны для выполнения численных процедур на ЭВМ [1 – 2].

Целью работы является тестирование численных методов решения задачи о нахождении физических характеристик на примере стержневой системы в среде программного пакета **Mathcad** и с помощью табличного процессора **MS Excel**.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается стержневая система, состоящая двух стальных стержня соединенных в точке *A* и находящихся под воздействием силы

$P=130$ кН (рис. 1). Первый стержень имеет длину $L_1=1,5$ м и площадь поперечного сечения $F_1=12$ см², а второй имеет длину $L_2=2$ м и площадь $F_2=2F_1$. Модуль упругости стали $E=2 \cdot 10^5$ Мпа.

Необходимо вычислить следующие физические характеристики системы:

1. величины нормальных напряжений, действующие в стержнях;
2. абсолютную и относительную деформацию стержней.

Формулировка математической модели

Для нахождения величин необходимо определить усилия в стержнях (рис. 1). Составляются уравнения равновесия для узла *A* (суммы проекций всех сил на оси *X* и *Y* равны 0, угол α неизвестен) [3].

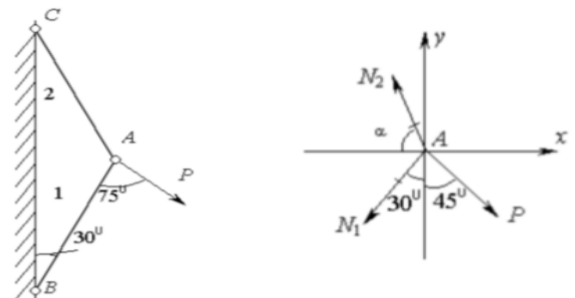


Рис. 1. Схемы стержневой системы и усилий в стержнях

Fig.1. Diagrams of the rod system and forces in the rods

$$OX : N_1 \sin 30^\circ + N_2 \cos \alpha - P \cos 45^\circ = 0; \quad (1)$$

$$OY : N_1 \cos 30^\circ - N_2 \sin \alpha + P \cos 45^\circ = 0. \quad (2)$$

К уравнениям равновесия (1-2) необходимо добавить уравнение перемещения

$$L_2 \cos \alpha = L_1 \sin 30^\circ \quad (3)$$

и следующее условие для угла α :

$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ. \quad (4)$$

В результате получена система из трех нелинейных уравнений (1-3) и неравенств (4)

$$\begin{cases} \frac{N_1}{2} + N_2 \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} P \\ \frac{\sqrt{3}N_1}{2} - N_2 \sin \alpha = -\frac{\sqrt{2}}{2} P \\ L_2 \cos \alpha = \frac{L_1}{2} \\ 0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \end{cases} \quad (5)$$

Построенная математическая модель в редких случаях допускает аналитическое решение. Тогда на помощь приходят различные прикладные пакеты во всем их многообразии [4 – 5].

Решение системы в различных пакетах

Данная задача решена в среде программного пакета **MathCad** и с помощью табличного процессора **MS Excel**.

Как видно из рисунка 2, напряжение в первом стержне составляет $N_1=64,37$ кН, а во втором $N_2=159,3$ кН, угол равняется $67,98^\circ$.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

L1 := 1.5 m L2 := 2 m E := 2 · 10¹¹ Pa
P := 130000 N F1 := 0.0012 m² F2 := 2 · F1

НАЧАЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

N1 := 0 N2 := 0 α := 1

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Given

$$\frac{N_1}{2} + N_2 \cdot \cos(\alpha) = \frac{\sqrt{2} \cdot P}{2}$$

$$\frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{2} - N_2 \cdot \sin(\alpha) = -\frac{\sqrt{2} \cdot P}{2}$$

$$L_2 \cdot \cos(\alpha) = \frac{L_1}{2}$$

$$\alpha \geq 0 \quad \alpha \leq \frac{\pi}{2}$$

Find(N1, N2, α) = $\begin{pmatrix} 6.437 \times 10^4 \\ 1.593 \times 10^5 \\ 1.186 \end{pmatrix}$

N1 := 6.437 × 10⁴ N2 := 1.593 × 10⁵ α := 1.186

Рис.2. Решение системы в среде программного пакета MathCad
 Fig.2. System solution in the MathCad software environment

Нахождение нормальных напряжений, абсолютных и относительных деформаций осуществляется по следующим формулам соответственно (рис. 3):

$$\sigma_i = \frac{N_i}{F_i}, \Delta L_i = \frac{N_i \cdot L_i}{E \cdot F_i}, \varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E},$$

$i = 1, 2$ - номер стержня.

Как видно из рисунка 3 нормальные напряжения равняются $\sigma_1=53,645$ Мпа, $\sigma_2=66,38$ Мпа. Величины абсолютной деформации

$\Delta L_1=0,402$ мм, $\Delta L_2=0,664$ мм. Относительные деформации, найденные по закону Гука равняются $\varepsilon_1=2,682 \cdot 10^{-4}$, $\varepsilon_2=3,319 \cdot 10^{-4}$.

ВЫЧИСЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ КАЖДОГО ИЗ СТЕРЖНЕЙ

$\sigma_1 := \frac{N_1}{F_1} \quad \sigma_1 = 5.364 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \sigma_2 := \frac{N_2}{F_2} \quad \sigma_2 = 6.638 \times 10^7 \text{ Pa}$

$\Delta L_1 := \frac{N_1 \cdot L_1}{E \cdot F_1} \quad \Delta L_1 = 4.023 \times 10^{-4} \quad \Delta L_2 := \frac{N_2 \cdot L_2}{E \cdot F_2} \quad \Delta L_2 = 6.638 \times 10^{-4}$

$\varepsilon_1 := \frac{\sigma_1}{E} \quad \varepsilon_1 = 2.682 \times 10^{-4} \quad \varepsilon_2 := \frac{\sigma_2}{E} \quad \varepsilon_2 = 3.319 \times 10^{-4}$

Рис.3. Нахождение физических величин в среде программного пакета MathCad

Fig.3. Finding Physical Values in the environment of the software package MathCad

Решив систему (5) с помощью надстройки **Поиск решения** в среде табличного процессора **MS Excel**, имеем аналогичные ответы, как при решении задачи в **MathCad-е** (рис. 4, 5).

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ				
L1	L2	P	Пи/2	
1.5	2	130000	=ПИ()/2	
угол	N1	N2		
1.1863995522164374.0565140881		159298.271314659		
Уравнение 1	=B22/2+C22*COS(A22)	=	=КОРЕНЬ(2)/2*C19	
Уравнение 2	=КОРЕНЬ(3)/2*B22-C22*SIN(A22)	=	=-КОРЕНЬ(2)/2*C19	
Уравнение 3	=B19*COS(A22)	=	=B19/2	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН				
E	F1	F2		
2*10^11	=0.0012	=2*B31		
НОРМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ				
I стержень	=B22/B31	=АБСО.ПЛОТНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ	=ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ	
II стержень	=C22/C31	=B22*A19/A31/B31	=B35/A31	
		=C22*B19/A31/C31	=B36/A31	

Рис.4. Решение задачи в среде табличного процессора MS Excel

Fig.4. The solution of the problem in MS Excel spreadsheet environment

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ				
L1	L2	P	Пи/2	
1.5	2	130000	1.570796327	
угол	N1	N2		
1.186399552	64374.05651	159298.2713		
Уравнение 1	91923.88	=	91923.88155	
Уравнение 2	-91923.88155	=	-91923.88155	
Уравнение 3	0.75	=	0.75	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН				
E	F1	F2		
2E+11	0.0012	0.0024		
НОРМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ				
I стержень	53645047.1	0.000402338	0.000268225	
II стержень	66374279.71	0.000663743	0.000331871	

Рис.5. Результаты решения задачи в среде табличного процессора MS Excel

Fig.5. The results of solving the problem in MS Excel spreadsheet environment

Данные прикладные программы могут быть также использованы при расчете характеристик грунта для следующей задачи [6].

Массив сложен грунтом с удельным весом $\gamma=15$ кН/м³ и удерживается подпорной стеной. Предельное давление на глубине $z=2$ м при

отсутствии пригруза на поверхности $h = 0$ м равны $\sigma_a = -10$ кПа, $\sigma_p = 138$ кПа.

В механике грунтов активное и пассивное давление грунта на подпорную стену связаны соотношениями Клона-Мора

$$\sigma_a = \gamma(z+h)tg^2(45^\circ - \varphi/2) - 2c \cdot tg(45^\circ - \varphi/2) \quad (6)$$

$$\sigma_p = \gamma(z+h)tg^2(45^\circ + \varphi/2) + 2c \cdot tg(45^\circ + \varphi/2), \quad (7)$$

где c – сцепление грунта,
 φ – угол внутреннего трения.

При известных предельных значениях активного и пассивного давления необходимо рассчитать характеристики грунта сцепление и угол внутреннего трения.

Уравнения (6-7) представляют систему нелинейных уравнений, решение которой может быть с легкостью найдено в одной из предложенных программ.

Решение уравнений (6-7), например, в **MathCad**-е представлено на рисунке 6.

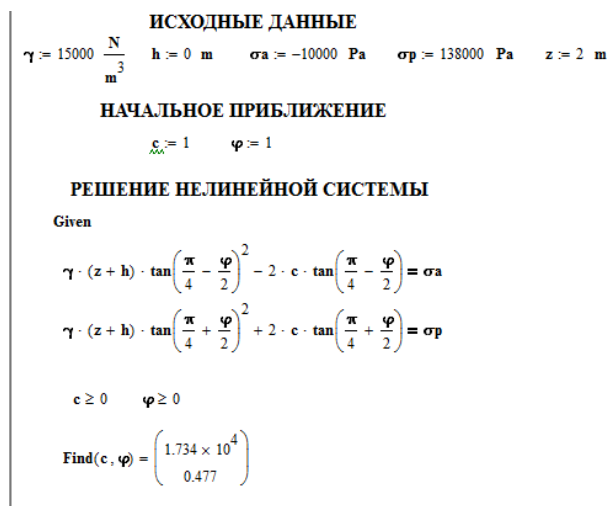


Рис.6. Решение системы в среде программного пакета MathCad

Fig.6. System solution in the MathCad software environment

Как видно из рисунка 6 сцепление грунта равняется 17,34 кПа, угол внутреннего трения $27,33^\circ$.

ВЫВОДЫ

Изучены различные методы решения инженерной задачи о нахождении напряженно-деформированном состоянии стержневой системы. Составлена и решена нелинейная система, состоящая из уравнений и неравенств. С помощью прикладных программных пакетов найдены нормальные напряжения для обоих стержней, абсолютная и относительная деформация. А также рассчитаны характеристики грунта в задаче о механике грунтов.

Продемонстрировано расширение области применения численных методов в строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатенко Л.В. Введение в математическое моделирование строительно-технологических задач / Л.В. Солдатенко. — Оренбург. : ГОУ ОГУ, 2009. — 161 с.
2. Кашеварова Г.Г. Численные методы решения задач строительства на ЭВМ: [учебно-методическое пособие] / Г.Г. Кашеварова, Т.Б. Пермякова. — Пермь : Изд-во ПГТУ, 2015. — 309 с.
3. Дарков А.В. Строительная механика / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. — М. : Лань, 2010. — 657 с.
4. Погребицкая А.М. Постановка экстремальных задач в строительстве и их решение методами компьютерной математики/ А.М. Погребицкая, А.Н. Рыжак. — Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2017. — 132 с.
5. Мустафа К.А. Решение задачи об оптимизации массы строительных конструкций // К.А. Мустафа, А.М. Погребицкая. II научная конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» (Симферополь, 2016), сборник тезисов участников. Симферополь, 2016. Т.2. — С. 19-20.
6. Долматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Долматов. — Л. : Стройиздат, 1988. — 415 с.

REFERENCES

1. Soldatenko L.V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie stroitel'no-tehnologicheskikh zadach / L.V. Soldatenko. — Oregburg. : GOU OGU, 2009. — 161 s.
2. Kashevarova G.G. Chislennye metody resheniya zadach stroitel'stva na EHVМ: [uchebno-metodicheskoe posobie] / G.G. Kashevarova, T.B. Permyakova. — Perm' : Izd-vo PGТУ, 2015. — 309 s.
3. Darkov A.V. Stroitel'naya mekhanika / A.V. Darkov, N.N. Shaposhnikov. — M. : Lan', 2010. — 657 s.
4. Pogrebickaya A.M. Postanovka ehkstremaal'nykh zadach v stroitel'stve i ih reshenie metodami komp'yuternoj matematiki/ A.M. Pogrebickaya, A.N. Ryzhakov. — Simferopol' : IT «ARIAL», 2017. — 132 s.
5. Mustafa K.A. Reshenie zadachi ob optimizacii massy stroitel'nykh konstrukcij // K.A. Mustafa, A.M. Pogrebickaya. II nauchnaya konferenciya professor-sko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodyh uchenyh «Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo» (Simferopol', 2016), sbornik tezisov uchastnikov. Simferopol', 2016. T.2. — S. 19-20.
6. Dolmatov B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty / B.I. Dolmatov. — L. : Strojizdat, 1988. — 415 s.

SOLUTION OF ENGINEERING TASKS WITH HELP
VARIOUS SOFTWARE PACKAGES

Pogrebiskaya A.M., Cherkas M.B

Summary. The paper considers a mathematical model of the problem of finding normal stresses and strains in the example of the core system. The compiled model is represented by a system of nonlinear equations and inequalities. The problem is solved with the help of various application packages. In the environment of the MS EXCEL tabular processor, the solution was found by the method of a generalized decreasing gradient using the “Solver” tool. The result is confirmed by a decision in the MathCAD software package environment using the Given-Find computing unit. Also, for the problem of soil mechanics, the characteristics studied showed a complete agreement of the calculated data found by various programs.

Key words: mathematical model, stress-strain state, application software packages, soil characteristics.

УДК 697.273.4.

ЛОКАЛЬНО-ЗОННОЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОТОПЛЕНИЕ ПЛЕНОЧНО ЛУЧИСТЫМИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

Тимин В.С., Ангелюк И.П.

¹Академия строительства и архитектуры ,ФГФОРУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского», 295493, Республика Крым, г.Симферополь, улица Киевская, 181 , youowner1337@mail.ru

²Академия строительства и архитектуры ,ФГФОРУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского», 295493, Республика Крым, г.Симферополь, улица Киевская, 181 , iliya.angeluck@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты работы по определению эффективности и энергозатратности отопления локально-зонным низкотемпературным отоплением пленочно лучистыми электронагревателями. Проведено сравнение двух типов отопления. Также были созданы модели работы нагревателя в программном комплексе SolidWorks для определения нагревательных характеристик.

Предмет исследования: предметом исследования пленочно лучистые электронагреватели.

Материалы и методы: определение эффективности отопления осуществляется с помощью моделирования в программной среде Solid Works.Для этого была взята комната с отопительным прибором и установлена модель человека, проведено моделирование отопления помещения.

Результаты: полученные модели в виде градиентов температур, распределения потоков, поверхностных и объемных параметров. С помощью этих моделей наглядно видно распределение тепла по комнате, что позволило определить нагревательные характеристики элемента.

Выводы: полученные в работе графики и модели могут быть применены для жилых сооружений с целью улучшения комфорта пребывания человека и уменьшению затрат на отопление помещений.

Ключевые слова: ПЛЭН, локально-зонное низкотемпературное отопление пленочно лучистыми электронагревателями, пленочно лучистые электронагреватели ,конвекционное отопление.

ВВЕДЕНИЕ

В природе существует всего три способа передачи тепла: прямая теплопередача, конвекция и инфракрасное излучение. Широко распространенное в нашей стране, да и во всем мире, конвективное отопление для своей работы использует второй способ. Это означает, что нагрев помещения происходит благодаря движению и перемешиванию холодного и горячего воздуха. Последний нагревается от радиаторов. Они могут разогреваться жидким теплоносителем, электричеством, воздухом или любым другим способом. Недостатками конвективного отопления считаются значительные перепады температуры в помещении, пересушивание воздуха, невозможность вентиляции комнаты без потерь тепла. Но самое главное – оно недостаточно эффективно. Сам принцип конвекции предполагает некоторые теплотери. Нужно признать, что конвективная система достаточно хорошо справляется с отоплением зданий с недостаточной теплоизоляцией, благодаря чему и получила такое широкое распространение. Лучистое отопление действует иначе. По законам физики все тела,

имеющие температуру выше абсолютного нуля по шкале Кельвина или -273° по Цельсию, излучают инфракрасные лучи. Чем выше температура объекта, тем выше интенсивность его излучения. Прозрачная воздушная среда полностью проницаема для инфракрасных волн. Они с легкостью преодолевают ее и поглощаются только непрозрачными телами. Это могут быть человек ,стены, потолок, пол или мебель. При поглощении инфракрасных лучей предметы разогреваются и, в свою очередь, начинают интенсивнее генерировать ик-волны. Именно так при работе инфракрасного обогревателя происходит нагрев воздуха в отапливаемом помещении. Лучистое тепло очень быстро разогревает комнату и долго удерживает в ней нужную температуру. Кроме того, оно лучше воспринимается живыми организмами. Объяснение этому достаточно простое. Человеческое тело, как и любое другое, тоже генерирует ик-волны. Находясь в помещении, отапливаемом конвективным способом, человек испытывает определенный дискомфорт от того, что разогретыми оказываются только радиаторы. Прохладные, а то и холодные, стены, пол и другие крупные предметы начинают «вытягивать»

инфракрасное тепло из человеческого тела, что и приводит к дискомфорту. В комнате с лучистым отоплением все иначе. Нагретые предметы сами излучают тепло и подпитывают им человека, поэтому в такой комнате всегда комфортно. При прочих равных условиях, и даже при разнице температур в пользу комнаты с конвективным отоплением, более комфортно человеку будет в помещении с лучистым отоплением.

Лучистое отопление имеет распространенное название: ПЛЭН — это отопительная система, основанная на использовании пленочного электронагревателя, специальная конструкция которого вырабатывает инфракрасное излучение

Система отопления ПЛЭН устроена достаточно просто. Она представляет собой алюминиевую фольгу с помещенными на нее резистивными нагревательными элементами. Устройство заламинировано с двух сторон специальной прочной пленкой. В целом толщина конструкции не превышает 1,5 мм. Материалы, использующиеся для производства системы, отличаются повышенной термостойкостью и прочностью. Резисторы в такой системе отопления изготовлены из особых сплавов, обеспечивающих хорошую теплоотдачу и долгий срок эксплуатации. Их изоляция выполнена в три слоя ПЭТ. Пиковая рабочая температура 50 градусов Цельсия. Потребляемая одной панелью мощность от 150 до 175 Вт. Коэффициент полезного действия приближается к 98%, а срок службы более полувека. На данный момент управление теплоотдачей осуществляется Терморегуляторами которые подразделяются на:

-механические: работа данного устройства полностью механическая то есть ему не нужно питаться от стационарной сети 220 В;

-электронные: отличаются не только наличием жидкокристаллического дисплея и наглядностью работы но и возможностью программировать работу обогревателя на день, неделю или месяц вперед. То что на механических устройствах необходимо делать вручную здесь осуществляется автоматически.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

Новизной данной работы является то, что я предлагаю использовать ПЛЭН в местах локального пребывания человека в помещении, но сама система будет дополнять параллельно работающую систему радиаторов подогревающихся комнаты до 15 градусов Цельсия тем самым будет поддерживаться комфортная температура для жизни, такой метод работы ПЛЭН будет индивидуален для каждого человека, он сможет подстроить комфортную для себя температуру так как в каждой комнате будет стоять свой регулятор. Экономия будет достигаться за счет прогрева только тех мест где человек постоянно находится с помощью локально-зонного отопления и подключение ИК-нагревателя через терморегулятор который позволяет снизить потребление электроэнергии, до 25%.

Для увеличения экономии и оптимизации прогрева помещения я предлагаю включить в общую систему умного дома нагревательные элементы ПЛЭН. Система ПЛЭН будет взаимодействовать с системой умного дома через датчики движения, благодаря им будет распознаваться местоположение человека в доме и включать пленочные лучистые электронагреватели в нужной комнате

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведем сравнение принципов действия отопления на основе стандартного отопительного прибора и ПЛЭН.

На (рис.1) представлен общий вид комнаты с отопительным прибором, на (рис. 2) общий вид комнаты с ПЛЭН. Исходными данными для сравнения принимаем:

- воздухообмен в размере 30 м³/ч на человека, осуществляющийся приточным подоконным клапаном - приток, и подрезом под дверью - вытяжка;

- теплопотери помещения в размере 1000 Вт, которые будут компенсироваться отопительным прибором или ПЛЭН;

- отопительный прибор установлен в подоконное пространство;

- ПЛЭН установлены в рабочей зоне или зоне отдыха на стенах на высоте не более 1,5м.

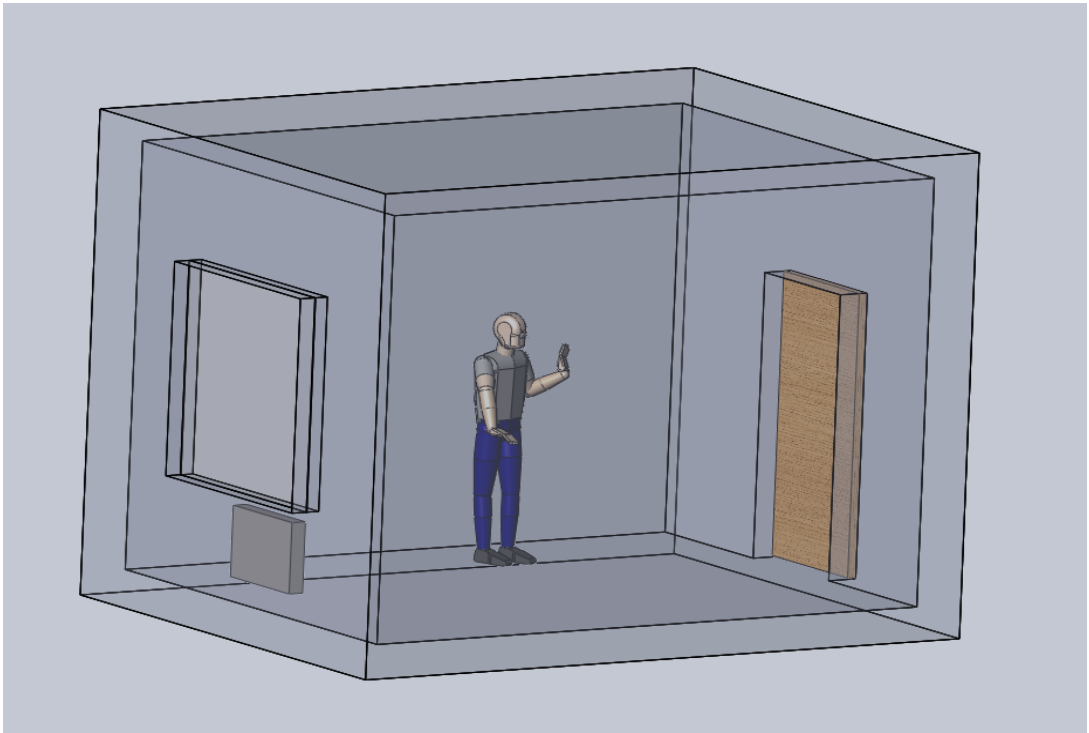


Рис.1. Общий вид комнаты с радиатором

Fig.1. General view of a room with a radiator

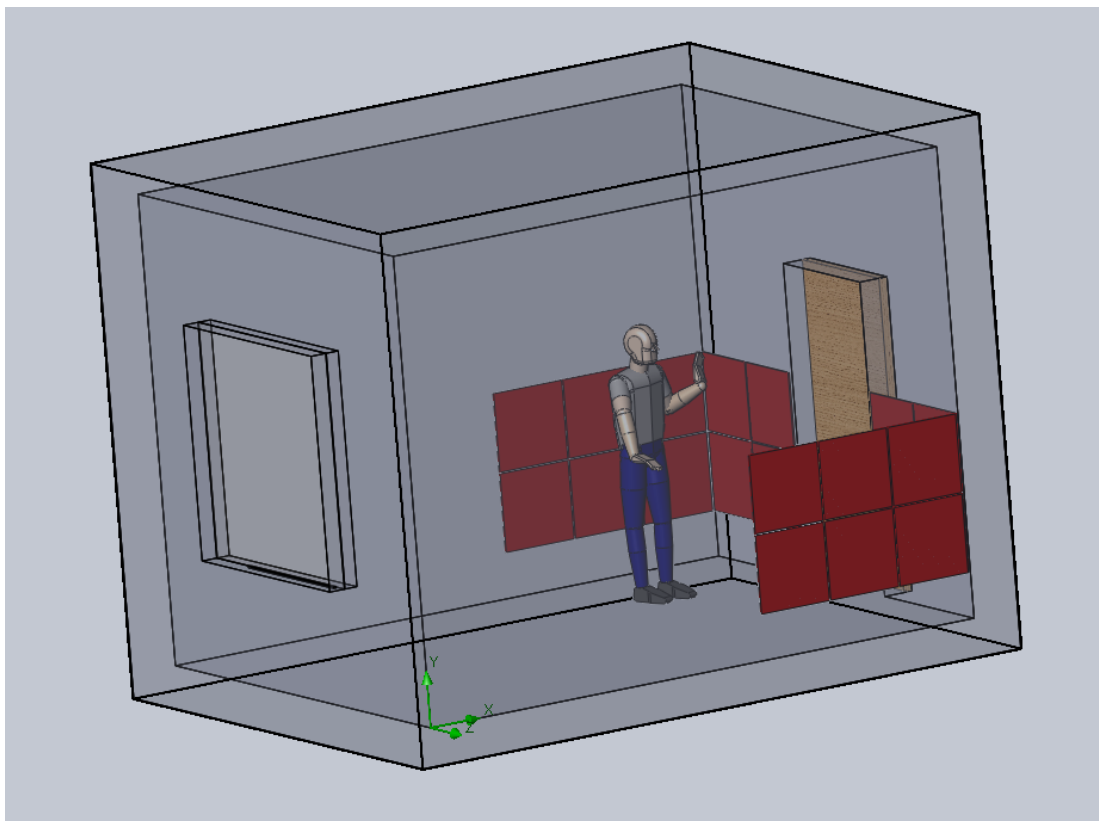


Рис.2. Общий вид комнаты с ПЛЭН

Fig.2. General view of the room with PLEN

Моделирование и сравнение осуществляем в программном комплексе SolidWorks, который позволяет получить результаты в виде градиентов температур, распределения потоков, поверхностных и объемных параметров и т.д.

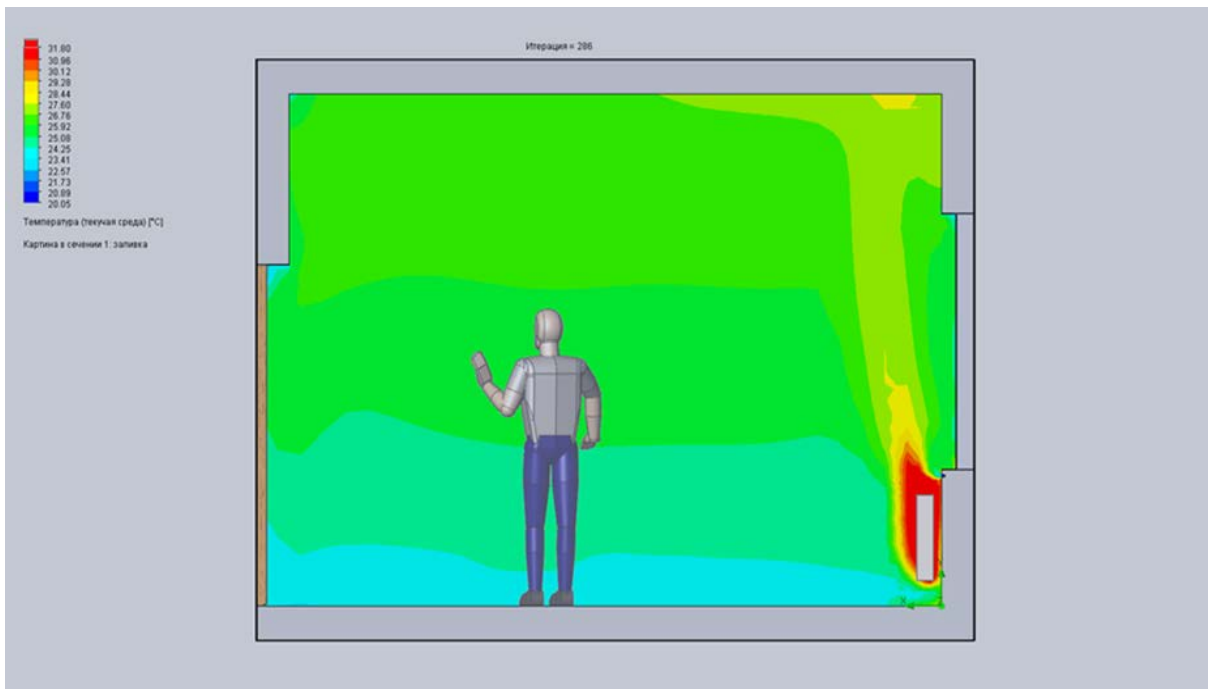


Рис.3. Распределение температуры по высоте комнаты с радиатором

Fig.3. Temperature distribution according to the height of the room with a radiator

На (рис.3) мы видим, что воздух, нагреваясь об радиатор, поднимается вверх, создавая «расслоение» на температурные зоны. Голова и туловище человека при этом находится в наиболее теплой зоне.

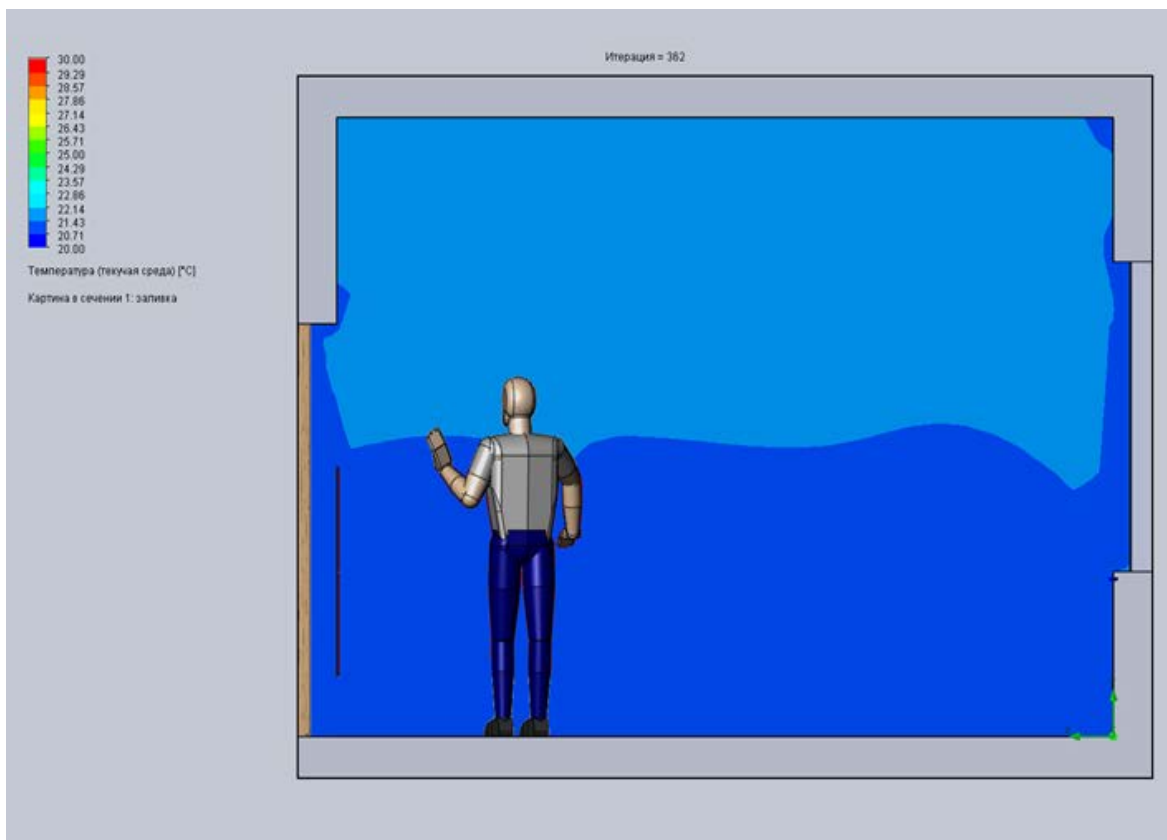


Рис.4. Распределение температуры по высоте комнаты с ПЛЭН

Fig.4. The temperature distribution of the height of the room with PLEN

На данном рисунке мы видим, что ПЛЭН не нагревает воздух комнаты. Панели лучистым теплом нагревают окружающие предметы, что будет в частном случае видно на следующем рисунке.

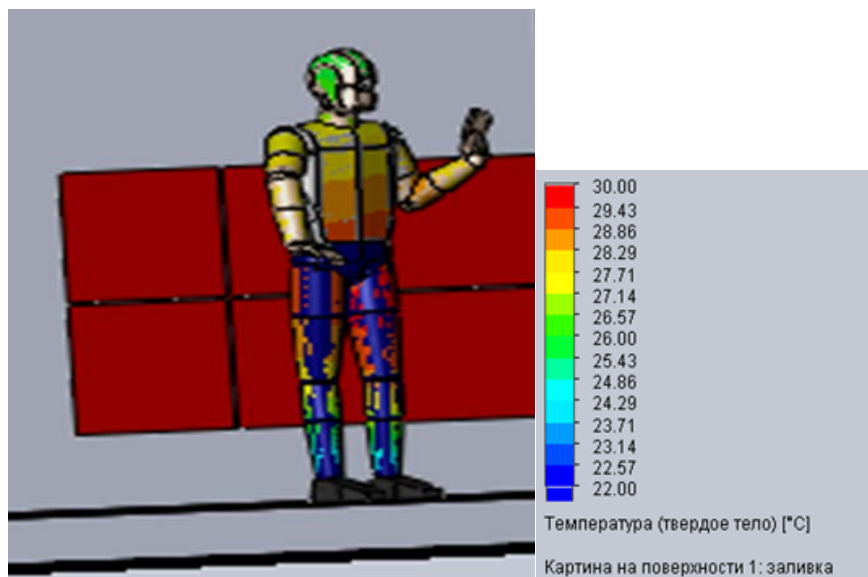


Рис.5. Распределение температуры на поверхности тела человека при отоплении ПЛЭН

Fig.5. The temperature distribution on the surface of the human body when heating PLEN

На данном рисунке видим, что панели нагревают поверхность тела человека. Видно, что температура поверхности тела выше в области действия лучистого тепла, испускаемого ПНЭН и составляет от 27 до 30 °С. Голова находится выше основной зоны действия панелей и она имеет меньшую температуру.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Стандартные отопительные приборы нагревают воздух помещения, создавая температурные «расслоения» по высоте помещения с большей температурой в верхней зоне, что может негативно сказаться на самочувствии людей;

2. ПЛЭН не нагревают воздух помещения, и имеют зону действия в пределах которой нагревают предметы, людей.

ВЫВОД

В данной работе мы провели сравнительную характеристику двух типов отопления: ПЛЭН и конвекторного.

Результаты показали значительное превосходство системы ПЛЭН над конвекторной системой отопления. Благодаря передаче энергии посредством электромагнитного длинноволнового излучения достигается благоприятная среда для жизнедеятельности человека, отвечает самым высоким требованиям пожарной безопасности, так как даже сами резисторы имеют ограничение максимальной температуры в 50 градусов, что

безопасно как для них, так и для соприкасающихся с ними предметов и людей.

Для экономичности была предложена работа системы ПЛЭН-локально вместе с системой умного дома и работа параллельно двух систем отопления что позволит уменьшить расходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аглиуллина Э.Р. Организация энергоэффективного обогрева помещений//Иновационная наука.—2016.-№6-2.—С.15-18.
2. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства / [Каган Н. Б., Кауфман В. Г., Пронько М. Г., Яневский Г. Д.]. - М. Энергия, 1980. - 193 с.
3. Электротехнология. В.А.Карасенко, Е.М.Заяц, А.Н.Баран, В.С.Корко. – М.: Колос, 1992. – 304 с.
4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов. — 2-е изд. — М.: Высшая школа, 1982.
5. Харченко К. П. Радиоволны —это что? Информост № 4 (28) 2003 с. 24–29.
6. Миссенар Ф. А. Лучистое отопление и охлаждение. М., 1961
7. Сканава А. Н., Махов Л. М. Отопление; Издательство Ассоциации строительных вузов - Москва, 2008. - 576 с.

REFERENCES

1. Agliullina E.R. Organization of energy-efficient space heating // Innovation Science. — 2016.- №6-2. — P.15-18.

2. Electrothermal equipment for agricultural production / [Kagan N. B., Kaufman V. G., Pronko M. G., Yanevsky G. D.]. - M. Energy, 1980. - 193 p.

3. Electrotechnology. V.A.Karassenko, E.M. Zayats, A.N. Baran, V.S.Korko. - M.: Kolos, 1992. - 304 p.

4. Theological V.N. Construction thermophysics: Textbook for universities. - 2nd ed. - M.: Higher School, 1982.

5. Kharchenko KP. Radio waves - what's that? Informost number 4 (28) 2003 p. 24–29.

6. Olesen B. W. A simplified calculation method for checking the indoor climate // ASHRAE Transactions. 1983. Vol. 88. Pt. 2B.

7. Skanavi A.N., Makhov L.M. Heating; Publishing Association of Construction Universities - Moscow, 2008. - 576 c.

LOCAL-ZONE LOW-TEMPERATURE HEATING WITH FILM-RAY ELECTRIC HEATERS

Timin V.S., Angelyuk I.P.

Summary. The article presents the results of work on determining the efficiency and energy consumption of heating by local-zone low-temperature heating by film-radiating electric heaters. A comparison of two types of heating. Also, models of heater operation in the SolidWorks software complex for determining heating characteristics were created.

Subject of research: the subject of study film-radiating electric heaters.

Materials and methods: The determination of heating efficiency is carried out using simulation in the Solid Works software environment. To do this, a room with a heating device was taken and a human model was installed, and room heating was simulated.

Results: the obtained models in the form of temperature gradients, distribution of flows, surface and volume parameters. With the help of these models, the distribution of heat around the room is clearly visible, which made it possible to determine the heating characteristics of the element.

Conclusions: the graphs and models obtained in the work can be applied to residential structures in order to improve the comfort of a person's stay and reduce the cost of space heating.

Key words: PLEN, local-zone low-temperature heating by film-radiating electric heaters, film-radiating electric heaters, convection heating.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 504.064

ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Притужалова О.А. , Радченко К.С.

Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, spook191@yandex.ru

Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, radche-kristina@rambler.ru

Аннотация. Не смотря на немалый накопленный в России опыт практической деятельности в области производственного экологического контроля (ПЭК), вопрос совершенствования проведения ПЭК в организациях разных сфер деятельности не теряет актуальности. Это обусловлено как новейшим развитием соответствующей нормативно-правовой базы, так и необходимостью более полно учитывать особенности деятельности при планировании и реализации ПЭК. Строительство представляет собой вид деятельности, в ходе осуществления которого существенные изменения претерпевают все компоненты природной среды. Внутренний экологический контроль чрезвычайно важен на всем протяжении строительных работ. В статье даны рекомендации в отношении направлений, критериев, форм ПЭК в строительной организации, построения взаимоотношений между заказчиком и подрядчиком строительства, распределения ответственности должностных лиц в области ПЭК и других организационных и процедурных вопросов.

Предмет исследования: специфика и методологические проблемы организации и проведения производственного экологического контроля в строительных организациях.

Материалы и методы: Исследование носит аналитический характер, что требует использования таких общенаучных методов как анализ и синтез, категоризация, обобщение и систематизация, наблюдение.

Результаты: В статье названы основные сложности выполнения ПЭК при строительстве. Уточнены требования законодательства Российской Федерации в отношении ПЭК в строительных организациях. Определены основные направления, критерии, формы ПЭК в строительных организациях, разработана типовая схема распределения обязанностей персонала в области ПЭК. Даются рекомендации по оптимизации проведения ПЭК с учетом организационных, технических и технологических особенностей промышленного строительства, в частности в отношении планирования ПЭК, документирования и анализа его результатов. Затронут вопрос взаимодействия между исполнителями ПЭК со стороны предприятия и общественными экологами.

Выводы: Ключевые проблемы выполнения ПЭК при строительстве связаны с необходимостью своевременной подготовки программы ПЭК на каждый конкретный объект строительства с учетом требований не только российского законодательства, но и вышестоящих организаций (генподрядчика, заказчика, инвестора строительства). Величина воздействия строительства на окружающую среду зависит от характера выполняемых работ, принятых проектных решений, а также от уровня исполнительской дисциплины персонала строительной организации и уровня его экологической культуры, в особенности, руководства. Для оптимизации процесса планирования и проведения ПЭК при строительстве рекомендуется разработка типовой программы ПЭК с включением в нее основных методологических аспектов: направлений, критериев, форм контроля, требований к его выполнению.

Ключевые слова: производственный экологический контроль, промышленное строительство, программа производственного экологического контроля, экологические аспекты строительства.

ВВЕДЕНИЕ

Большое число контролируемых объектов, этапов и видов проводимого экологического контроля, целей и задач его проведения порождает множество ситуаций, связанных с организацией и техникой проведения контроля, обуславливает разнообразие применяемых технических средств и

методов контроля, требований к квалификации и специализации самих контролеров, нормативно-технической документации [1]. Предметом настоящей статьи являются особенности и методологические трудности проведения производственного экологического контроля (ПЭК) при строительстве. Вследствие частой смены объектов строительства строительным

организациям необходимо постоянно пересматривать программу экоконтроля (эта задача усложняется в случаях, когда строительные работы очень ограничены во времени, программа должна быть подготовлена в сжатые сроки). Кроме того, важным фактором эффективности ПЭК при строительстве, выполняемом силами подрядных организаций, является уровень экологической культуры заказчиков строительства, влияющий на качество реализации ПЭК (если заказчик не уделяет достаточно внимания контролю соблюдения экологических требований, подрядчик может проводить его в ограниченном объеме с целью снижения затрат). Поэтому для строительных организаций в меньшей степени характерна ориентация на создание эффективной системы внутреннего экоконтроля, чем для производственных предприятий. В связи с этим анализ проблем данного вида экологического контроля при строительстве является актуальной темой; требуется принятие мер, чтобы его оптимизировать.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам совершенствования проведения экологического контроля в строительной деятельности в специализированной литературе уделяется достаточно внимания с 90-х гг. XX в. [1-10]. В период формирования организационно-методологических и технических основ проведения экоконтроля на российских предприятиях в числе проблем, связанных с проведением ПЭК при строительстве, отмечались как проблемы концептуального свойства (сложности выработки единого критериального подхода к нормированию допустимых воздействий или концентраций загрязняющих веществ, методологической и организационной разобщенности экоконтроля в силу сложившегося в данной сфере ведомственного подхода), так и проблемы тактического характера (например, проблемы исполнения ПЭК, связанные с большим числом и многообразием документов, регулирующих природоохранную деятельность в целом и экоконтроль в частности) [1].

За минувшие десятилетия достигнуты существенные положительные результаты в области регулирования деятельности в сфере экоконтроля со стороны государства, сформирована, постоянно дополняется и уточняется нормативная база ПЭК. При этом для организации и исполнения работ в рамках ПЭК принципиальное значение имеет его область охвата: она должна коррелировать с областью охвата государственного экологического надзора, которая на сегодняшний день включает 15 направлений (п. 2 ст. 65 ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7-ФЗ). Примечательно, что в границы ПЭК входят не только вопросы охраны окружающей среды

(природоохранной деятельности), но и аспекты, касающиеся использования природных ресурсов, обеспечения экологической безопасности (в т.ч. защиты от чрезвычайных ситуаций) [10]. Также необходимо отметить, что проблемы строительства стали рассматриваться в контексте устойчивого развития и зеленых технологий [8-9].

На сегодня остаются актуальными вопросы практической реализации контроля на предприятиях разных отраслей экономики. В данной статье рассматриваются методологические проблемы ПЭК в строительных организациях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе исследования лежат результаты анализа нормативно-правовой базы и сложившейся практики производственного экологического контроля при строительстве крупных линейных объектов (объектов магистрального транспорта углеводородного сырья) и площадных объектов (промышленных сооружений нефтегазодобывающей и химической отраслей), выполненных при непосредственном участии авторов статьи.

результаты и их анализ

Одним из ключевых экономико-правовых механизмов экологического регулирования в Российской Федерации является **экологический контроль (контроль в области охраны окружающей среды)**, под которым в соответствии со ст. 1 Федерального закона от 10.01.2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» понимается система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды (ООС), обеспечение соблюдения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями требований, в том числе нормативов и нормативных документов, федеральных норм и правил, в области ООС. Существуют три формы экоконтроля: государственный, производственный и общественный. Производственный экоконтроль имеет целью обеспечение выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по ООС, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также соблюдение требований в области ООС, установленных законодательством в области ООС (п. 1 ст. 67 ФЗ «Об охране окружающей среды»). Основные законодательные, подзаконные акты и стандарты, регламентирующие вопросы проведения ПЭК в Российской Федерации, приводятся на рис. 1.

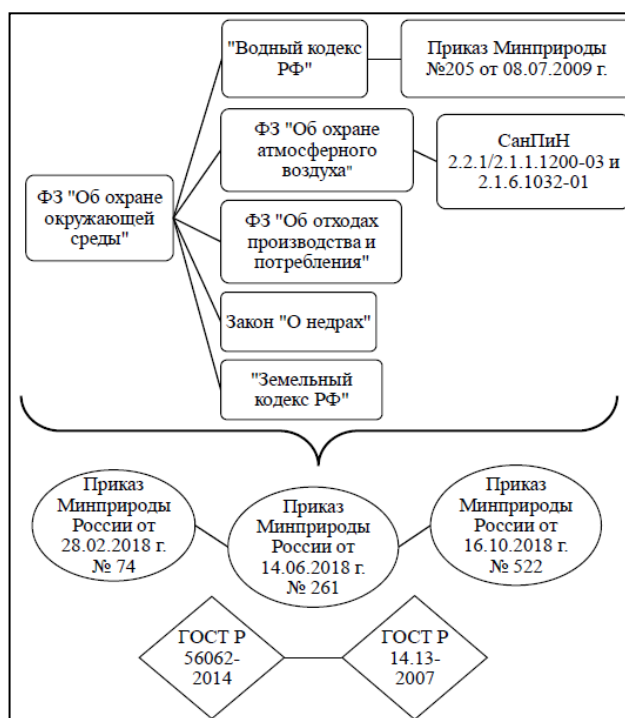


Рис. 1. Ключевая нормативная документация в сфере ПЭК

Fig. 1. Key regulatory documentation in the field of PEK

При проведении производственного экологического контроля в строительных организациях следует **учитывать специфику их деятельности**. Необходимо конкретизировать, что под «строительной организацией» нами понимается организация, одним из основных видов деятельности которой в соответствии с ее Уставом является строительство новых объектов, реконструкция, капитальный ремонт, текущий ремонт и дополнительные работы, монтаж готовых зданий или сооружений на строительном участке (раздел F Общероссийского классификатора экономических видов деятельности). Таким образом, речь идет не о стадии строительства производственных объектов (строящемся предприятии), а о стадии эксплуатации предприятия (включая входящие в его состав производственные объекты, технику), осуществляющего строительные работы.

Поскольку законодателем предусмотрены разные требования в области ПЭК в зависимости от категории объекта, прежде всего, констатируем, что согласно «Критериям отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (утв. Постановлением Правительства РФ от 28.09.2015 г. № 1029), **подавляющее большинство строительных организаций попадают в III категорию**, то есть относятся к объектам, оказывающим незначительное негативное воздействие на окружающую среду. В исключительно редких случаях строительные организации с очень малым объемом работ будут попадать в IV категорию (если масса выбросов загрязняющих веществ, ЗВ, от стационарных

источников на объекте не более 10 т в год (при отсутствии в составе выбросов веществ I и II классов опасности, радиоактивных веществ); если на объекте образуются только бытовые сточные воды и отсутствуют сбросы ЗВ в окружающую среду; если для обеспечения электроэнергией, газом и паром используется оборудование с проектной тепловой мощностью менее 2 Гкал/час при потреблении газообразного топлива; все условия должны соблюдаться одновременно).

Для примера приведем данные по выбросам ЗВ при строительстве промышленных объектов. Типичные стационарные источники загрязнения воздуха при строительстве – это автостоянки, гаражи, котлы, сварочные посты, участки нанесения краски (как ручным способом, так и путем распыления), участки обработки металла (станки заточные, шлифовальные, сверлильные, токарные), участки обработки древесины (пилорамы, станки фуговальные, круглопиленные). *При сооружении установки стабилизации газового конденсата* в атмосферу выбрасываются количества ЗВ свыше 260 т в год, в том числе 90 т оксида углерода, 41 т диоксида азота, 39 т оксида азота, 32 т углеводородов (в пересчете на керосин), 28 т ксилола, 14 т диоксида серы, 11 т сажи, более 1 т оксида железа, порядка 1 т взвешенных веществ. *При сооружении одной эксплуатационной газовой скважины* в воздух выбрасываются 48 т оксида углерода, 8 т диоксида азота, более 1 т углеводородов (C1-C5), около 0,5 т диоксида серы; в совокупности порядка 60 т ЗВ в год. Из числа названных веществ ко II классу опасности относится диоксид азота, вещества I класса

опасности образуются при строительстве в существенно меньших количествах.

Таким образом, для большинства строительных организаций в соответствии с законодательством РФ не установлена обязанность оснащения стационарных источников выбросов, сбросов ЗВ автоматическими средствами измерения и учета выбросов и сбросов, а также средствами фиксации и передачи соответствующей информации в специальный государственный реестр, но **нужна разработка программы ПЭК, его осуществление и передача отчетности по итогам ПЭК в госорган.**

Опыт, полученный авторами в ходе осуществления ПЭК в строительных организациях, позволяет сделать ряд рекомендаций в части организации ПЭК, направлений, форм ПЭК и повышения его результативности в условиях наличия пробелов в нормативной базе ПЭК.

Предприятиям необходимо составлять программу с учетом специфики своей деятельности (в терминологии экологического менеджмента – с учетом значимых экологических аспектов, фактически или потенциально оказывающих существенное воздействие на окружающую среду). Специфика деятельности строительных организаций такова, что величина их воздействия на окружающую среду определяется, в первую очередь, родом и масштабом выполняемых работ в соответствии с проектом строительства [5]. Однако типы и уровни НВОС будут отличаться в зависимости оттого, в каких условиях ведется строительство.

При проведении строительных работ на **малонарушенных землях** будут востребованы такие направления ПЭК, как:

- контроль за соблюдением земельного законодательства, особо в части срезки и сохранения плодородного слоя почвы в ходе подготовительных работ, создания водопропускных устройств для предотвращения затопления земель при сооружении насыпей, недопущения проезда техники вне отведенных под строительство земель, проведения рекультивации нарушенных земель, изменения геологической обстановки;
- контроль состояния растительности и животного мира, включая ихтиофауну (если ведутся работы, связанные с изменением дна и берегов водных объектов, работы в акватории);
- контроль соблюдения лесного законодательства в части вырубки древесно-кустарниковой растительности и обращения с порубочными остатками;
- контроль в части трансформации ландшафтов и геологической среды.

В случае проведения строительства в **условиях интенсивной хозяйственной деятельности**, что предполагает высокую степень преобразования или полную замену исходных ландшафтов техногенными, значимость этих видов ПЭК падает, но появляются другие значимые

экологические аспекты, например, вынос грунта на колесах строительной техники за пределы строительной площадки и выбросы техногенной пыли, соблюдение режима работ строительной техники для уменьшения загрязнения атмосферы.

Повсеместно объектом ПЭК при строительстве должны являться обращение с отходами, хранение опасных веществ, например, горюче-смазочных материалов, заправка техники топливом, выбросы ЗВ в атмосферу от строительной техники, передвижных дизельных электростанций и других источников, соблюдение мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций, благоустройство территории на завершающем этапе строительства. Что касается сферы водопотребления и водоотведения, зачастую строительство предполагает только водопотребление на хозяйственно-бытовые нужды и безвозвратное водопотребление (например, для приготовления бетонных растворов). При наличии в районе проведения строительных работ централизованной канализации, как правило, заключается договор с ее собственниками и отпадает необходимость организовывать контроль сбросов ЗВ в водные объекты. Если же, в процессе строительства большие объемы воды используются для технических целей, к примеру, при проведении гидроиспытаний трубопроводов, необходимо вести учет объемов забора, сброса и качества воды до и после использования.

Практически все строительные операции сопровождаются шумовым загрязнением и механическими колебаниями. Для защиты персонала целесообразно проводить инструментальный контроль уровня шума и вибрации, что позволит работникам выполнять работы без риска для здоровья, при необходимости применяя специальные средства защиты. Особое значение акустический контроль и контроль вибрации приобретают для строительных организаций, ведущих деятельность в непосредственной близости к жилым зданиям или, напротив, в малоосвоенных человеком районах, где обитают дикие животные (в том числе вблизи особо охраняемых природных территорий).

Критерии ПЭК при строительстве определяются на основе требований нормативно-правовых актов Российской Федерации и ее субъектов, технических регламентов, национальных стандартов и других нормативных документов; требований проектной документации (в том числе входящей в ее состав программы ПЭК); требований заказчика, инвестора строительства; внутренних требований строительной организации. В процессе активной нормотворческой деятельности, начиная с 90-х гг. XX в., в области природоресурсного, природоохранного и «экологизированного» законодательства разработаны тысячи нормативно-правовых актов на международном, межгосударственном, федеральном уровнях и на уровне субъектов РФ, а также регламентов,

стандартов, правил, положений отраслевого и корпоративного уровня, нормативных актов, принимаемых руководством предприятий. Исходя из сказанного, задача определения перечня руководящей документации, минимально необходимой и достаточной специалисту для грамотного проведения им своей профессиональной деятельности, в том числе в области ПЭК, может быть решена разработкой Системы технического регулирования предприятия (СТР). Использование СТР открывает предприятию возможность формирования нормативно – справочной базы, позволяющей четко очертить область правового пространства в целях организации им правового регулирования и управления своей деятельностью в экологической сфере [11].

Основными **формами ПЭК** в строительной организации являются инспекционный контроль (визуальные наблюдения), инструментальный контроль (измерение уровня шума, радиации), экоаналитический контроль (измерение содержания ЗВ в пробах компонентов окружающей среды). При применении двух последних форм контроля необходимо обеспечить соблюдение установленных требований в области единства измерений. Если в строительной организации нет собственной лаборатории, эколого-аналитические измерения могут проводить привлекаемые на договорной основе лаборатории, имеющие необходимую аккредитацию и лицензию на деятельность.

Особую значимость при строительстве имеют инспекционные проверки, поскольку они позволяют оценить выполнение установленных требований и предусмотренных проектом строительства природоохранных мероприятий, адекватность усилий организации по контролю экологических аспектов, а также оценить масштаб имеющего место воздействия на окружающую среду и здоровье персонала, установить причины допущенных нарушений в ходе опроса строителей и разработать организационно-технические мероприятия по устранению их отрицательных последствий. Плановые инспекционные проверки могут проводиться на ежедневной, еженедельной основе (по усмотрению организации). Внеплановые проверки проводят с целью контроля исполнения предписаний об устранении ранее выявленных нарушений, при возникновении неблагоприятных метеоусловий (НМУ), аварийных ситуаций. Инспекционный контроль целесообразно дополнять фотосъемкой, ее результаты способны наглядно характеризовать существующую экологическую ситуацию, например, состояние нарушенных территорий, видимые изменения состояния окружающей среды, аварийное и «ночное» воздействие на окружающую среду, неорганизованные источники сброса и выброса загрязняющих веществ, несанкционированное, неорганизованное размещение и захоронение отходов (рис. 2-3).



Рис. 2. Несоблюдение экологических требований при накоплении отходов строительства

Fig. 2. Non-compliance with the environmental requirements by accumulation of construction waste



Рис. 3. Размытие грунта в месте подводного перехода газопровода через реку

Fig. 3. Soil erosion in the crossing place of the river and the underwater gas pipeline

Особой проработки в рамках проведения ПЭК в строительной организации требует вопрос **взаимоотношений между заказчиком и подрядчиком** строительства. Часто ПЭК при строительстве производится не только со стороны строительной организации (подрядчика), но и со стороны заказчика строительства. Бывает более сложная схема соподчинения организаций, задействованных при строительстве: инвестор – заказчик – генподрядчик – субподрядчик. При этом требования в области ПЭК на различных уровнях могут существенно отличаться, особенно, если одна из заинтересованных организаций является иностранной. В этом случае строительной организации (в приведенной цепочке это субподрядчик) целесообразно разработать программу ПЭК, ориентирующуюся на наиболее жесткие в плане критериев, периодичности и направлений контроля в данной цепочке

требования, даже если они выходят за рамки требований национального законодательства Российской Федерации.

Организацию проведения ПЭК строительного предприятия необходимо начинать с **распределения ответственности и обязанностей должностных лиц в области ПЭК**. В таблице приводится рекомендуемая схема распределения обязанностей для организации, в которой имеется специализированное подразделение по ООС численностью от 3-х человек. Если численность экологов в штате меньше, обязанности сотрудников отдела по ООС должны совмещаться. В случае, когда строительная организация одновременно ведет строительные работы на нескольких объектах, необходимо закрепить ответственного по ПЭК за каждым объектом строительства, чтобы обеспечить его проведение на всех площадках.

Таблица. Рекомендуемая схема распределения обязанностей в области ПЭК в строительных организациях [12]

Table. The recommended scheme of personal duties distribution in the field of PEK in the building companies [12]

Должностное лицо	Обязанности
Руководитель объекта строительства	Общее управление ПЭК, организация и техническое обеспечение ПЭК; организация совещаний по результатам ПЭК; заслушивание отчетов по осуществлению ПЭК, его результатам, принятым мероприятиям.
Начальники участков	Контроль за исполнением работниками законодательства в области ООС, внутренних планов и распоряжений в экологической сфере; подготовка отчетов для руководителя объекта.
Начальник отдела ООС	Планирование проведения ПЭК; разработка и реализация его программы; анализ результатов ПЭК; установление обязанностей сотрудников отдела ООС в части экоконтроля.
Заместитель начальника отдела ООС	Содействие начальнику отдела ООС в разработке и реализации программы ПЭК; выдача поручений сотрудникам отдела ООС.
Инженеры по ООС	Осуществление инструментального контроля в рамках ПЭК; документирование полученной по результатам ПЭК информации и доведение ее до сведения вышестоящих лиц; разработка мероприятий по ООС; предоставление отчетности по ПЭК в компетентный госорган.
Прочие работники	Обеспечение выполнения мероприятий, направленных на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области ООС, обеспечение соблюдения при производстве строительных работ требований нормативов и нормативных документов, федеральных норм и правил в области ООС; выполнение поручений инженеров по ООС по выполнению предписаний, выданных по итогам ПЭК.

Следующим шагом должно быть **планирование ПЭК**, включая составление графика проведения плановых проверок, обоснование бюджета. Если на промышленных предприятиях график мероприятий в составе ПЭК разрабатывается, как правило, на календарный год, то в строительной организации он должен быть увязан с графиками строительства конкретных объектов. При составлении графика ПЭК необходимо учесть, что некоторые виды строительных работ требуют отложенного по времени контроля. Например, результаты биологической рекультивации земель лучше отслеживать не вскоре после высадки растений, а по прошествии времени, достаточного для того, чтобы убедиться в формировании растительного покрова с определенным набором видов растений и определенной минимальной площадью проективного покрытия.

При строительстве может возникнуть следующая специфическая ситуация. В случае, когда строительные работы осуществляются круглые сутки (при посменной работе строителей), визуальный инспекционный контроль осуществляется экологами не в круглосуточном режиме, а лишь в течение 8-часового рабочего дня. Вместе с тем, как показывает практика, большое количество нарушений обнаруживается именно после работы ночной смены. Возникает необходимость обязать мастеров или руководителей строительных бригад строго вести контроль соблюдения экологических требований при производстве работ. Для этого требуется обеспечить знание ими экологических требований и разъяснить им важность их исполнения (о подготовке персонала см. ниже).

Для повышения результативности контроля целесообразно вести **реестр предписаний**, выданных по итогам проверок, ежемесячно или ежеквартально проводить анализ собранной информации, пересматривать мероприятия по устранению выявленных нарушений в случае их недостаточной эффективности. Результаты анализа следует доводить до руководства предприятия.

Проблемы ПЭК должны решаться не только на локальном уровне, но и на уровне всей организации. Генеральный директор организации, руководители строительных площадок, отдел ООС должны контролировать вопросы ПЭК в рамках своих должностных обязанностей. Для этого необходимо периодически **проводить собрания и заслушивать отчеты** по результатам ПЭК и принимать решения, необходимые для обеспечения выполнения законодательства в сфере ООС. Можно разработать систему дисциплинарных взысканий и/или создать **систему мотивации** и премирования работников, не допускающих в своей деятельности экологических нарушений.

Безусловно, может быть полезна разработка **типового регламента или типовой программы ПЭК для строительной организации** подобно

СТО Газпром 2-1.19-275-2008 «Охрана окружающей среды на предприятиях ОАО "Газпром". Производственный экологический контроль. Общие требования». Такой регламент мог бы быть разработан в форме отраслевого стандарта под эгидой торгово-промышленной палаты, отраслевых союзов в сфере строительства (появление подобного документа сделало бы ПЭК более доступным для строительных предприятий), либо же в индивидуальном порядке строительной организацией. В типовом регламенте целесообразно отразить требования к организации, этапам, формам, объектам и режиму ПЭК в строительных организациях, разработанные на основе действующих нормативных актов с привлечением рекомендаций нормативных документов необязательного характера по вопросам ПЭК (см. рис. 1).

Впоследствии на основе типового регламента можно разрабатывать регламенты ПЭК на конкретные объекты строительства, учитывая технологии строительства и решения, заложенные в проекте строительства объектов, особенности природных условий территории, результаты оценки фонового состояния природной среды, инженерно-экологических изысканий по объекту, и прочую специфичную информацию. Наличие типового регламента особенно удобно в случае, когда продолжительность строительных работ на одном объекте невелика (она может быть меньше, чем период, требуемый на оформление необходимой организационно-распорядительной документации по ПЭК или сравнима с ним).

При размещении объектов строительства в пределах или в непосредственной близости жилой застройки местное население, как правило, проявляет озабоченность вопросами соблюдения экологической безопасности строительства. Одной из актуальных тенденций развития общественной экологической деятельности в Российской Федерации является формирование института общественных экологов. На взгляд авторов, целесообразно организовать **информационное взаимодействие между общественными экологами, заинтересованными в том, чтобы строительство объекта производилось с соблюдением требований экологической безопасности, и экологами (службой ПЭК) предприятия**, осуществляющего строительные работы, либо заказчика.

Что касается **результатов ПЭК** в строительных организациях, практический опыт авторов позволяет сделать вывод, что значительная часть допущенных строительными организациями экологических нарушений является следствием **низкого уровня экологической культуры персонала** организаций, а корни проблем часто кроются в отсутствии инструктажей, разъяснений необходимости соблюдения требований экологической безопасности. Поэтому в ходе инспекционного контроля при выявлении нарушения рекомендуется проводить инструктаж

на месте его обнаружения и разъяснять требования по ООС. Решающее значение для соблюдения законодательства по ООС на объекте имеет позиция руководства. Если нет должного внимания руководства к проблемам экологии, то подчиненные тоже будут выказывать пренебрежение к этим вопросам.

Как говорилось выше, воздействие на окружающую среду при строительстве во многом определяется принятыми проектными решениями. Поэтому его уровень может варьироваться в зависимости от качества экологического проектирования, основными целями которого должны являться минимизация сроков строительства объектов и площадей, отводимых под временное и постоянное пользование для целей строительства и последующей эксплуатации зданий или сооружений, выбор проектных решений, позволяющих сокращать НВОС при производстве строительных работ и на последующих этапах жизненного цикла объектов строительства, дифференцированный подход к оценке условий строительства (геологических, геокриологических, гидрологических и пр.), учет устойчивости, экологической ценности природных комплексов. Однако, качество исполнения проектных решений тоже важно. НВОС существенно возрастает, если строительство осуществляется с нарушением технических и технологических норм. Так, если по причине строительного брака требуется демонтаж конструкций и сооружение их заново, возрастает количество отходов, время работы техники и, соответственно, объем выбросов в атмосферу и т.д. Таким образом, с точки зрения экологии важное значение будет иметь также **уровень компетенции персонала строительной организации по своему основному профилю деятельности.**

ВЫВОДЫ

ПЭК как инструмент контроля за проведением предусмотренных при строительстве природоохранных мероприятий имеет принципиальное значение для минимизации связанных с ним негативных эффектов для окружающей среды. В сферу его охвата попадают также смежные вопросы: использование природных ресурсов, обеспечение экологической безопасности, в т.ч. защиты от чрезвычайных ситуаций.

Подавляющее большинство строительных организаций попадают в III категорию объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, следовательно, им нужна разработка программы ПЭК и его осуществление. Одной из трудностей проведения ПЭК является необходимость подготовки программ ПЭК на каждый конкретный объект строительства в сжатые сроки. Кроме того, необходим учет требований всей цепочки организаций, задействованных при строительстве: инвестор –

заказчик – генподрядчик – субподрядчик. Строительным организациям может быть рекомендована разработка типовой программы ПЭК, на основе которой впоследствии можно более оперативно разрабатывать программы экоконтроля на конкретные объекты строительства, учитывая технологии строительства и решения, заложенные в проекте строительства объектов, особенности природных условий территории и другие факторы. Так, в числе направлений экоконтроля при строительстве можно выделить универсальные, характерные для любых видов и условий строительства, а также ряд специфических направлений ПЭК при производстве строительных работ на малонарушенных землях и в условиях плотной застройки.

Поскольку значительная часть допущенных строительными организациями экологических нарушений является следствием недостаточного знания персоналом экологических требований к производству работ, необходимы регулярные инструктажи, в том числе на месте обнаружения нарушений, а также повышение исполнительской дисциплины персонала строительной организации и уровня его экологической культуры в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1999. 447 с.
2. Семечкин А.Е., Пазюк Ю.В., Фокин В.Н. Система управления окружающей средой в организациях строительной отрасли: учебное пособие. М.: ЭКЦ «МЭТ-Сертификация», 2003. 314 с.
3. Экологический мониторинг: шаг за шагом / Е.В. Веницианов, В.Н. Виниченко, Т.В. Гусева, С.Д. Дайман, Е.А. Заика, Я.П. Молчанова, В.А. Сурнин, М.В. Хотулева ; под ред. Е.А. Заика. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. 252 с.
4. Калинин В.М. Мониторинг природных сред: учебное пособие. Тюмень: Издательство ТюмГУ, 2007. 208 с.
5. Кириллов А.В., Притужалова О.А. Оценка экологической эффективности при строительстве объектов нефтегазовой инфраструктуры // Всероссийская научно-техническая конференция «Нефть и газ Западной Сибири» (Тюмень, 16-17 октября 2007 г.) : материалы. Тюмень, 2007. С. 214 – 217.
6. Притужалова О.А. Обоснование необходимости проведения производственного экологического мониторинга и контроля при строительстве объектов транспорта газа // Научно-практическая конференция молодых специалистов «Салмоновские чтения» (Тюмень, 2-3 апреля 2008 г.) : материалы. Тюмень, 2008. С. 42 – 46.
7. Кириллов А.В., Притужалова О.А. Производственный экологический мониторинг и контроль при строительстве магистральных

газопроводов // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 28 – 31.

8. Бенуж А.А., Колчигин М.А. Анализ концепции зеленого строительства как механизма по обеспечению экологической безопасности строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 161 – 165.

9. Теличенко В.И., Бенуж А.А. Состояние и развитие системы технического регулирования в области зеленых технологий // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 118 – 121.

10. Серов Г.П., Смоленцева Л.А., Парусова Н.С. Экологический контроль как предмет дополнительного профессионального обучения // Экологический вестник России. 2018. № 1. С. 50 – 55.

11. Пrituzhalova O.A., Серов Г.П. Становление экологической сферы деятельности в контексте эволюции концептуальных подходов к решению глобальных экологических проблем // Экологический вестник России. 2018. № 5. С. 64 – 69.

12. Радченко К.С. Проблемы производственного экологического контроля в строительных компаниях на примере общества с ограниченной ответственностью «Велестрой». Режим доступа: http://www.tnmlib.ru/jirbis/files/upload/books/VKR/2018/InZem/RadchenkoKS_VKR.pdf (дата обращения 11.03.2019).

REFERENCES

1. Mazur I.I., Moldavanov O.I. Kurs inzhenernoi ekologii: uchebnik dlya vuzov [Course of engineering ecology: the textbook for higher education institutions]. Moscow: Vysshaya shkola. 1999. 447 p.

2. Semechkin A.E., Pazyuk Yu.V., Fokin V.N. Sistema upravleniya okruzhayushchei sredoi v organizatsiyakh stroitel'noi otrasli: uchebnoe posobie [Environmental control system in the organizations of the construction industry: manual]. Moscow: EKTs «MET-Sertifikatsiya». 2003. 314 p.

3. Ekologicheskii monitoring: shag za shagom [Environmental monitoring: step by step] / E.V. Venitsianov, V.N. Vinichenko, T.V. Guseva, S.D. Daiman, E.A. Zaika, Ya.P. Molchanova, V.A. Surnin,

M.V. Khotuleva ; pod red. E.A. Zaika. Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva. 2003. 252 p.

4. Kalinin V.M. Monitoring prirodnykh sred: uchebnoe posobie [Monitoring of environments: manual]. Tyumen': Izdatel'stvo TyumGU. 2007. 208 p.

5. Kirillov A.V., Prituzhalova O.A. Assessment of environmental efficiency when constructing oil and gas infrastructure facilities. Oil and Gas of Western Siberia: Papers of All-Russian scientific and technical conference. Tyumen'. 2007. pp. 214 – 217. (In Russian).

6. Prituzhalova O.A. Justification of need of carrying out production environmental monitoring and control when constructing facilities transport of gas. Salmonovsky readings: Materials of the Scientific and practical conference of young specialists. Tyumen'. 2008. pp. 42 – 46. (In Russian).

7. Kirillov A.V., Prituzhalova O.A. Industrial environmental monitoring and control at construction of main gas pipelines. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2010. No. 7, pp. 28 – 31. (In Russian).

8. Benuzh A.A., Kolchigin M.A. The analysis of the concept of green construction as mechanism on ensuring environmental safety of construction activity. Vestnik MGSU. 2012. No. 12, pp. 161 – 165. (In Russian).

9. Telichenko V.I., Benuzh A.A. State and development of a system of technical regulation in the field of green technologies. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2016. No. 1, pp. 118 – 121. (In Russian).

10. Serov G.P., Smolentseva L.A., Parusova N.S. Environmental control as subject of additional vocational education. Ekologicheskii vestnik Rossii. 2018. No. 1, pp. 50 – 55. (In Russian).

11. Prituzhalova O.A., Serov G.P. Formation of an ecological field of activity in the context of evolution of conceptual approaches to the solution of global environmental problems. Ekologicheskii vestnik Rossii. 2018. No. 5, pp. 64 – 69. (In Russian).

12. Radchenko K.S. Problemy proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya v stroitel'nykh kompaniyakh na primere obshchestva s ogranichennoi otvetstvennost'yu «Velestroj» [Problems of industrial environmental control in buildings companies on the example of limited liability company «Velestroj»]. Access mode: http://www.tnmlib.ru/jirbis/files/upload/books/VKR/2018/InZem/RadchenkoKS_VKR.pdf (In Russian).

PROBLEMS OF INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL CONTROL IN BUILDING COMPANIES

Prituzhalova O.A., Radchenko K.S.

Tyumen state university, 625003, Tyumen, Ul. Volodarskogo, 6, spook191@yandex.ru

Tyumen state university, 625003, Tyumen, Ul. Volodarskogo, 6, radche-kristina@rambler.ru

Summary The considerable practical experience in the field of industrial environmental control (PEK) is accumulated in Russia, however, the issue of environmental control improving in organizations of different fields of activity remains relevance. This is due to both the latest development of the relevant regulatory framework and the need to take more fully into account the peculiarities of the activities by the planning and implementation of PEK. Construction is an activity in which all components of the natural environment undergo significant changes. Therefore, internal environmental control is extremely important throughout all stages of construction. In article recommendations concerning the directions, criteria, forms of PEK in the building companies, defining the relationship between the customer and the contractor of construction, allocation of officials responsibility for PEK and other organizational and procedural questions are given.

Subject: the specifics and methodological problems of organization and conduct of industrial environmental control in building companies.

Materials and methods: The analytical nature of the study demands usage of general scientific methods: analysis and synthesis, categorization, generalization and systematization, observation.

Results: The article describes the main difficulties by implementation of PEK during construction. Requirements of the legislation of the Russian Federation concerning PEK in building companies are specified. The main directions, criteria, forms of PEK in building companies are defined, the standard scheme of personnel duties distribution in the field of PEK is developed. Recommendations on optimization of PEK taking into account organizational, technical and technological features of industrial construction, in particular concerning PEK planning, documenting and the analysis of its results are given. The issue of interaction between the executors of PEK on behalf of the company and public inspectors was touched upon.

Conclusions: The key problems of PEK implementation by construction are related to the need for timely preparation of the PEK program for each specific construction object, taking into account the requirements of not only Russian legislation, but also higher organizations (general contractor, customer, construction investor). The magnitude of the construction impact on the environment depends on nature of the work performed, the design decisions taken, as well as on the level of executive discipline and environmental responsibility of company's personnel, in particular, management. To optimize the process of planning and carrying out PEK during construction, it is recommended to develop a standard PEK program, which includes the main methodological aspects: directions, criteria, forms of control, requirements for its implementation.

Key words: industrial environmental control, industrial construction, industrial environmental control program, environmental aspects of construction.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ ЗАРУБЕЖНЫХ И РОССИЙСКИХ БАЗ ДАННЫХ

Рыкова В.В.

Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук, 630200, Новосибирск, ул. Восход, 15, Rykova@gpntbsib.ru

Аннотация. Автор анализирует информационные массива по проблемам геотехнического мониторинга в России и мире с использованием международной базы данных Web of Science компании Thomson Reuters, Российского индекса научного цитирования (e-Library) и региональной базы данных собственной генерации Государственной публичной научно-технической библиотекой Сибирского отделения Российской академии наук «Научная Сибирика».

Информационные массивы отобраны из выше означенных баз данных, которые являются базама библиографического типа, свободный доступ к полным текстам в них возможен только для части документов, большая часть информации доступна по лицензии.

Библиометрический анализ информационных массивов проведен с использованием аналитических сервисов баз данных, результаты анализа наглядно представлены в виде графиков и таблиц.

Прослежены тренды развития исследований по проблеме в России и мире; продемонстрирован вклад разных стран и научных организаций в развитие данного направления исследования; составлен перечень самых продуктивных периодических и сериальных изданий, включающих материалы по геотехническому мониторингу. Проведен анализ публикационной активности авторов, показаны наиболее цитируемые статьи англоязычного и русскоязычного корпуса документов по означенной теме, а также российские диссертационные исследования последних лет.

Сделаны выводы и перспективности и актуальности данной области научных исследований, свидетельством чего является активный рост числа публикаций по теме как в России, так и в ведущих экономически развитых государствах мира.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, информационное сопровождение, БД Web of Sciences, Российского индекса научного цитирования e-Library, база данных «Научная Сибирика».

ВВЕДЕНИЕ

Геотехнический мониторинг (геомониторинг) — система слежения за параметрами геологической среды в основании зданий или сооружений, которая обеспечивает безопасное и эффективное осуществление строительно-технологических процессов, ввод и последующую эксплуатацию объектов строительства [1]. Его актуальность обусловлена большим скоплением инженерных коммуникаций, подземных сооружений, постоянно изменяющейся геологической средой и внедрением технологий производства новых типов фундаментов и укрепления оснований. Задачами геомониторинга как комплекса наблюдений за состоянием техногенных, грунтовых и природных условий, возникающий вокруг исследуемого объекта, являются:

- определение состояния геосреды в конкретный момент времени;
- прогноз возможных изменений;
- разработка мер по обеспечению безопасности зданий и сооружений.

Вопросам обеспечения безопасности жизнедеятельности уделяется пристальное внимание политиков, специалистов, ученых в последнее десятилетие

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мировые тренды научных исследований по вышеозначенной проблематике прослежены с использованием базы данных (БД) Web of Science (WoS) компании Thomson Reuters, Российского индекса научного цитирования (e-Library), региональной БД «Научная Сибирика», генерированной Государственной публичной научно-технической библиотекой Сибирского отделения Российской академии наук (ГПНТБ СО РАН). Исходные данные для анализа были получены из путем формулирования поискового запроса по теме. Анализ корпуса документов в БД проводился с использованием их аналитических сервисов и библиометрических методов анализа потоков документов, взятыми на вооружение крупными информационными центрами [2].

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО МАССИВА БД WEB OF SCIENCE ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В поисковой платформе WoS найдено свыше 2000 записей по геотехническому мониторингу на конец февраля 2019 г., из которых более 300 работ представлены в открытом доступе (Open Access), полные тексты остальных документов можно получить по лицензионному соглашению.

Аналитические сервисы WoS позволяют получить количественные данные по отдельным параметрам выборки.

В динамике публикаций (Рис. 1) прослеживается устойчивый прирост массива информации с конца прошлого столетия, отмечается интенсификация научных исследований в последнее десятилетие. Во временной структуре массива прослеживаются следующие закономерности:

- до 90-х годов XX века – единичные публикации,

- 90-е – начало 2000-х – рост документального потока с ежегодным приростом публикаций от 20 до 50 документов,

- 2010-2019 гг. – активный рост информационного массива с связи с повышением интереса к проблеме, годовой объем документов составляет 100 и более записей, пиковое количество - 199 статей приходится на 2017 г. Поскольку документы 2018 и 2019 годов издания еще не полностью проиндексированы в БД, то эти результаты не окончательные и следует ожидать дальнейшего увеличения потока информации по теме.

Основной язык публикаций – английский (96% - 2013 документов), работы немецком языке составили 1% (23 документов), статьи на китайском, русском, португальском и других европейских языках немногочисленны и представлены в информационном массиве долями процента.

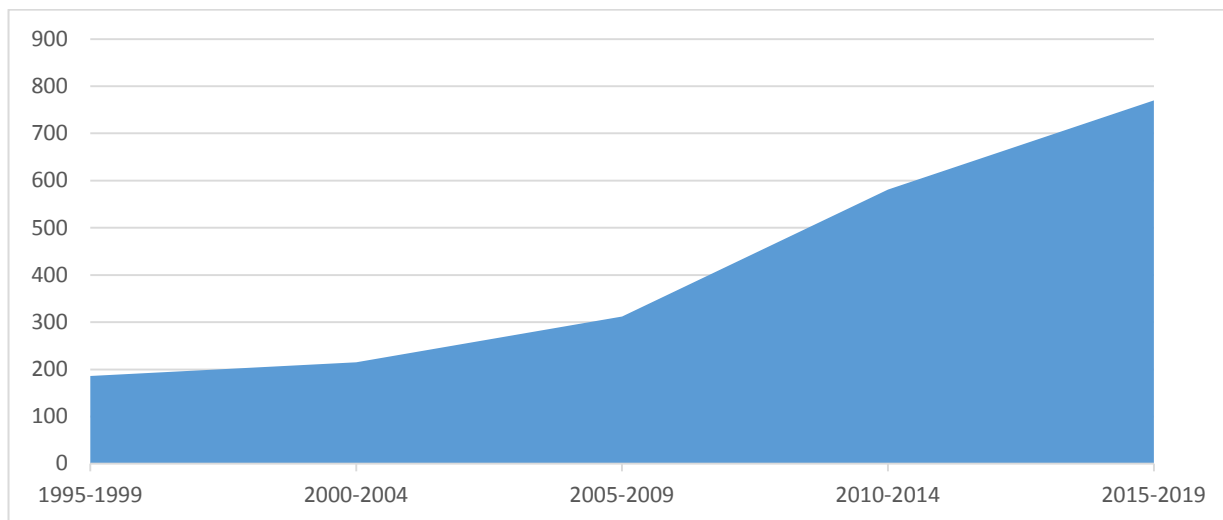


Рис. 1. Временная структура информационного массива по теме в БД WoS

Fig. 1. Temporal structure of the information array on the topic in DB WoS

В таблице 1 показаны Топ-10 стран, активно развивающих исследования по геотехническому мониторингу, с которыми аффилированы авторы публикаций, где наибольшей публикационной активностью по теме отличаются США, Китай, Италия (более 200 работ). Россия делит 10 строчку в данном

рейтинге с Японией, но поскольку российские журналы проводят активную работу по включению в крупнейшие мировые индексы цитирования, очевидно, что доля публикаций российских авторов в них будет расти.

Таблица 1. Топ-10 стран-лидеров публикационной активности по теме

Table 1. Top 10 countries-leaders of publication activity on the topic

№	Страна	Количество документов
1	США	297
2	Китай	258
3	Италия	215
4	Англия	148
5	Канада	132
6	Германия	131
7	Австралия	99
8	Бразилия	72
9	Чехия	63
10	Россия Япония	62

В таблице 2 приведены сведения о количестве публикаций организаций-лидеров, с которыми аффилированы авторы исследуемого корпуса документов. Среди них первенство удерживают

научные учреждения Китая (как академические, так и вузовские), также следует отметить активную работу в данной области науки университетов Италии.

Таблица 2. Топ-10 организаций-лидеров по числу публикаций

Table 2. Top-10 organizations-leaders in number of publications

№	Название учреждения	Количество документов
1	Chinese Academy of Sciences, China	24
2	Nanjing University, China	21
3	Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland	19
4	University of Cambridge, UK	19
5	Tongji University, China	18
6	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy	17
7	University of Florence, Italy	15
8	University of Bologna, Italy	15
9	University Naples Federico II, Italy	15
10	Rensselaer Polytechnic Institute, USA	15

Среди организаций, финансирующих исследования по проблемам геотехнического мониторинга, лидируют National Natural Foundation of China (Национальный фонд изучения природы Китая), Engineering and Physical Sciences Research Council (Научный совет по исследованиям в области инженерии и физики (Великобритания), Fundamental Research Funds for the Central Universities (Фонды фундаментальных исследований центральных университетов, Китай), National Science Foundation (Национальный научный фонд, США), National Science Foundation of China (Национальный научный фонд Китая), Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (Совет по естественным наукам и

инженерным исследованиям Канады). Наиболее продуктивными с точки зрения публикационной активности научными коллективами являются American Society of Mechanical Engineering (ASME), Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE), Institute of Physics (IoP), International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (SMGE), Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM).

Наибольшей публикационной активностью по теме отличаются следующие авторы: B. Shi и H. H. Zhu (Nanjing University, China), T. Abdoun и V. Bennett (Rensselaer Polytechnic Institute, USA), S. M. Springman (Institute for Geotechnical

Engineering, Switzerland), более 10 публикаций которых включены в анализируемый массив БД.

БД WoS создает отчет по цитированию, в котором указано, что 2 105 отобранных документов процитированы 11 068 раз (без самоцитирования) в

9 532 работах. Таблица 3 представляет самые цитируемые по теме статьи (за минимальный порог ранжирования принято цитирование более 100 раз) с ключевыми словами авторов и дополнительными ключами от WoS.

Таблица 3. Самые цитируемые статьи по теме в БД WoS

Table 3. The most cited articles on the topic in DB WoS

Кол-во цитирований	Ключевые слова автора и дополнительные Key Words Plus WoS	Публикация
316	Bio-mediated; bio-soil; soil improvement; ground improvement; geotechnical engineering; calcite precipitation; microbes; microbial induced calcite precipitation WoS: stiffness; sand; precipitation; shear	DeJong J. T., et al. Ecological Engineering, 2010, 36(2), 197-210 [3]
288	landslide; satellite remote sensing; synthetic aperture radar; interferometry; permanent scatterers; Liechtenstein WoS: permanent scatterers technique; surface deformation; displacement-fields; landers earthquake; ground deformation; topographic maps; interferograms; subsidence; areas	Colesanti C., Wasowski J. Engineering Geology, 2006, 88(3/4), 173-199 [4]
269	Rock mass strength; brittle failure; cohesion loss; deviatoric stress; stress path WoS: bonnet granite; borehole breakouts; in-situ stress; fracture; lac; deformation; criterion; cavities	Martin, C. D. Canadian Geotechnical Journal, 1997, 34(5), 698-725 [5]
252	European permafrost; climate change; geothermal monitoring; geothermal modelling; geophysics; slope stability; permafrost hazards; permafrost engineering WoS: western Arctic coast; eastern Swiss alps; Holocene glacier fluctuations; ground-penetrating radar; Northern-hemisphere temperatures; creeping mountain permafrost; layer detachment failures; mean annual temperature; alpine rock glacier	Harris Ch., et al. Earth-Science Reviews, 2009, 92(3/4), 117-171 [6]
149	Chemical properties; environmental engineering; ground improvement; remediation; soil stabilisation Wos: induced calcite precipitation; carbonate precipitation; hydraulic conductivity; ureolytic bacteria; ground improvement; urease activity; porous-media; soil; sand; microorganisms	DeJong J. T., et al. Geotechnique, 2013, 63(4), 287-301 [7]
122	Instrumentation; Italy; landslides; warning system Wos:-	Angeli M.G., Pasuto A., Silvano S. Engineering Geology, 2000, 55(3), 133-147 [8]
114	multi temporal interferometry; satellite; landslides; unstable slopes; technical constraints; interpretation issues wos: permanent scatterers technique; differential sar interferograms; slow-moving landslides; small base-line; x-band; radar interferometry; surface deformation; time-series; generation; accuracy	Wasowski J., Bovenga F. Engineering Geology, 2014, 174, 103-138 [9]

В видовой структуре документов преобладают журнальные статьи и материалы конференций (соответственно 52% и 49%), остальные виды изданий представлены обзорами (20 работ), главами из книг (15 документов), 2

репринтами и редакторскими материалами. В таблице 4 названы периодические издания с максимальной публикационной активностью по теме «геотехнический мониторинг».

Таблица 4. Топ-5 продуктивных периодических изданий

Table 4. Top-5 productive periodicals

№	Название издания, страна	Квартили журналов по тематическим разделам	Кол-во работ
1	Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotechnical engineering	engineering, geological – Q4; geosciences, multidisciplinary – Q4	85
2	Engineering Geology	engineering, geological – Q1; geosciences, multidisciplinary – Q1	64
3	Soils and Foundations	engineering, geological – Q3; geosciences, multidisciplinary – Q3	32
4	Canadian Geotechnical Journal	engineering, geological – Q2; geosciences, multidisciplinary – Q2	28
5	Geotechnical Testing Journal	engineering, geological – Q3; geosciences, multidisciplinary – Q3	25
6	Tunnelling and Underground Space Technology	Construction & building technology – Q2; engineering, civil – Q1	24
7	Geotechnique	engineering, geological – Q1	22
8	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	engineering, geological – Q1; geosciences, multidisciplinary – Q1	22
9	Landslides	engineering, geological – Q1; geosciences, multidisciplinary – Q1	20

Значительное количество материалов по теме опубликовано в сериальных изданиях, наиболее популярными по теме являются следующие серии, каждая из которых включает не менее 10 документов по теме: *Geotechnical Special Publications, Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences, Australian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series, Advances in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, American Society for Testing and Materials Special Technical Publications, Procedia Engineering, Proceedings of SPIE* и другие.

Конференции, будучи трибуной для обсуждения научных проблем и обмена мнениями между учеными и специалистами, вносят значительный вклад в информационных массив опубликованных материалов по теме (почти половина документов в БД WoS), причем все перечисленные ниже научные форумы проводятся на постоянной основе: *International IAEG Congress, International Conference on Underground Construction, World Tunnel Congress, International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical*

Engineering, World Landslide Forum, International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, International Multidisciplinary Scientific Geoconference, International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, International Pipeline Geotechnical Conference и другие.

Тематические отобранные по теме документы распределены по 25 категориям WoS, причем основная масса работ включена в категории: *Engineering Geological* (982 – 47%), *Geosciences Multidisciplinary* (651 – 31%), *Engineering Civil* (541 – 26%) (рис. 2). Такие категории как, *Mining Mineral Resources, Construction Building Technology, Geochemistry, Geophysics, Engineering Environmental, Water Resources, Instruments, Instrumentation, Environmental Sciences, Engineering Mechanical* включают по 5-8% документов информационного массива, что составляет 100 и более работ в каждой. Прочие категории вмещают от 20 до 70 статей или 1-4% информационного массива.

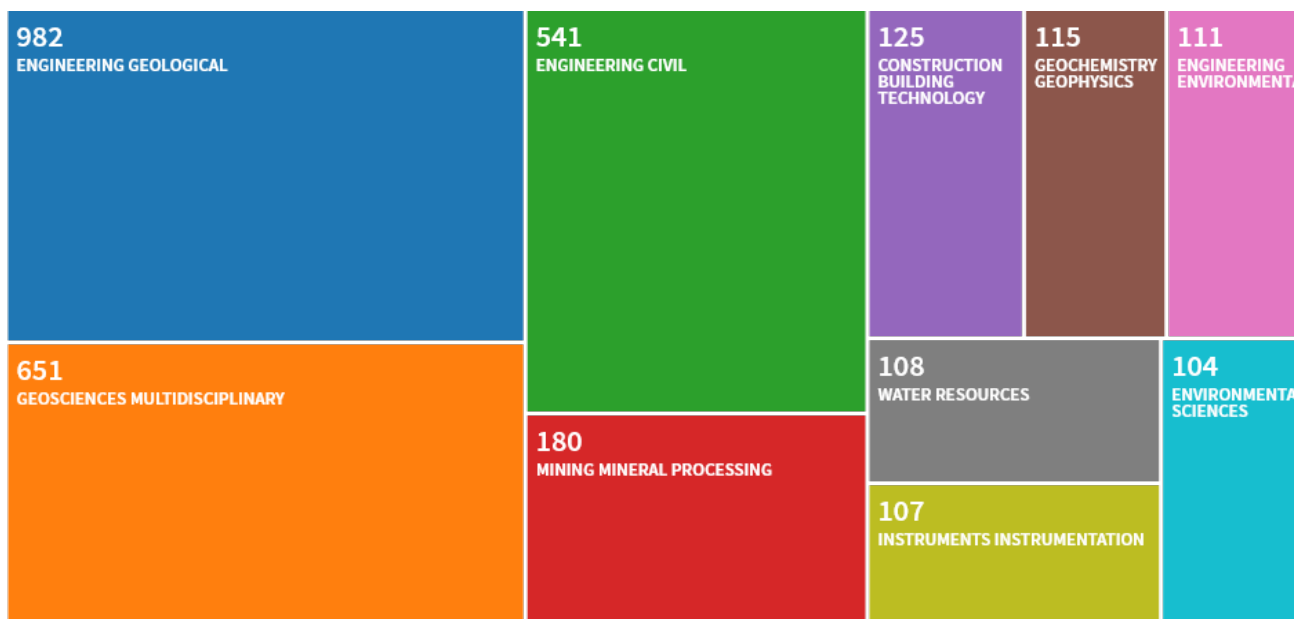


Рис. 2. Распределение документов по категориям WoS (первые 10 тематических рубрик)

Fig. 2. Distribution of documents by WoS categories (first 10 thematic headings)

АНАЛИЗ РУССКОЯЗЫЧНОГО КОРПУСА ДОКУМЕНТОВ, ПОСВЯЩЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯМ ГЕОМОНИТОРИНГА

Как уже отмечалось работы российских авторов пока мало представлены в международных БД научного цитирования, потому что, во-первых, процесс размещения материалов российских изданий в этих БД только начался, во-вторых, русскоязычные публикации отражаются

преимущественно в российских БД: e-Library (3801), Киберленинка (662 документа), ВИТИНИ РАН (только платный доступ) и другие, у которых отсутствуют аналитические сервисы, что затрудняет анализ информационных массивов в них. Согласно данным Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) в тематическом массиве по геомониторингу БД e-Library наиболее часто цитируются работы (монографии и журнальные статьи), указанные в таблице 5.

Таблица 5. Цитирование русскоязычных работ по РИНЦ (данные РИНЦ на февраль 2019 г.)

Table 5. Citing Russian works according to the Russian Science Citation Index (RSCI data, February 2019)

Кол-во цит.	Публикация	Ключевые слова автора
101	Коновалов П. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М., 2000, 318 с. [10]	упрочнение оснований, усиление фундаментов, деформации, нагрузки, реконструкция зданий, давление на грунты оснований, несущая способность оснований, упрочнение грунта, уплотнение грунта, механические свойства грунтов оснований, инженерно-геологические изыскания, обследование фундаментов, геомониторинг, щелевые фундаменты, разрядно-импульсная технология, закрепление грунтов оснований, разрушение старых фундаментов, гидроизоляция, водопонижение, водоотлив
91	Потапов А. Д. и др. Справочник геотехника М., 2014. 728 с. [11]	справочник геотехника, основания и фундаменты, подземные сооружения

Продолжение таблицы 5

Continuation of table 5

77	Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг. Науки о земле, 2012, № 4, 54-58 [12]	геотехническая система, геомониторинг, геотехнический мониторинг, ключевые показатели мониторинга, системный подход, поле мониторинга
59	Коновалов П.А. и др. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований. М., 2009. 336 с. [13]	промышленное строительство, специальные промышленные сооружения, резервуары, осадки оснований резервуаров, аварии резервуаров
52	Маркелов В.М., Цветков В.Я. Геомониторинг. Славянский форум. 2015, № 2, 177-184 [14]	геоинформатика, геоданные, геоинформационный мониторинг, геоинформационные технологии
52	Бедов А. И., Знаменский В. В., Габитов А. И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. М., 2014. 704 с. [15]	железобетонные, каменные, армокаменные, металлические, деревянные конструкции, биоповреждения, основания зданий, свайные фундаменты, обследование оснований, геотехнический мониторинг, надежность, основания и фундаменты

Региональные материалы по геомониторингу на отдельных территориях Сибири, Дальнего Востока и Арктики включены в БД собственной генерации ГПНТБ СО РАН «Научная Сибири», которая в свободном доступе находится на сайте библиотеки (опции «Каталоги и базы данных» → «Библиографические БД» → «Научная Сибири»). Материалы вышеозначенной БД систематизированы по предметным рубрикам, которые в свою очередь организованы в крупные тематические разделы, что позволяет осуществить поиск релевантной информации по теме исследования. Публикации, связанные с вопросами геотехнического мониторинга размещены в следующих разделах БД:

- Проблемы Севера: рубрики - «Проблемы строительства в условиях Севера» с подрубриками «Гражданское и жилищное строительство», «Промышленное строительство» и «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых в условиях Севера»;

- Природа и природные ресурсы Сибири и дальнего Востока, их охрана и рациональное использование: рубрика «Геология», подрубрики «Гидрогеология. Инженерная геология. мерзлотоведение» и «Охрана недр и рациональное использование минеральных ресурсов».

БД создается в автоматизированной информационно-библиотечной системе IRBIS, в которой сервис «Статистика» позволяет провести краткий анализ количественных показателей. Объем публикаций по региональному геомониторингу составил более 1200 документов преимущественно на русском языке. Анализ информационного массива БД «Научная Сибири» выявил те же закономерности распределения документов по видам публикаций и во времени,

которые были прослежены в тематической подборке БД WoS, что является свидетельством схожих трендов развития научных исследований по теме в России и за рубежом:

- рост информационного массива по теме с начала нынешнего столетия, особенно интенсивный - в последнее десятилетие,

- превалирование статей из периодики и материалов конференций в информационном массиве,

- тематически информационные массивы структурированы одинаково: Инженерная геология, Строительство, Охрана недр, Методика и инструментарий исследований.

Самыми продуктивными российскими журналами с материалами по проблемам геотехнического мониторинга являются следующие издания: Инженерные изыскания, Геотехника, Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, Трубопроводный транспорт: теория и практика, Геодезия и картография, Разведка и охрана недр, Инженерная геология, Горный информационно-аналитический бюллетень, Основания, фундаменты и механика грунтов.

Среди авторов, работающих в области регионального геомониторинга азиатской территории России, следует упомянуть А. И. Березнякова, Л. Н. Решетникова, Л. К. Зятькову (более 100 публикаций в БД). Вопросам геотехнического мониторинга на месторождениях и строительных площадках Сибири, Арктики и Дальнего Востока посвящено значительное число диссертационных работ, часть из которых, защищенных в 2016-2018 гг., представлены в таблице 6. Перечень тем, выносящихся на защиту достаточно обширен, свидетельствует об активной

разработке исследователями данного научного направления.

Таблица 6. Тематика российских диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидатов и докторов наук (2016-2018 гг.)

Table 6. Subjects of Russian dissertation research for the degree of candidates and doctors of sciences (2016-2018)

Год	Автор	Тема диссертации, номер специальности
2016	Борисов А.А.	Газогеохимические методы мониторинга геологической среды Верхнекамского месторождения солей: дис. ... канд. техн. наук
	Грязнев Д.Ю.	Создание и научное обоснование технологии автоматизированного мониторинга магистральных нефтепроводов на оползнеопасных участках: дис. ... канд. техн. наук
	Сергеев С.А.	Нестационарные модели компонентов системы автоматизированного мониторинга технического состояния искусственных сооружений: дис. ... канд. техн. наук
	Андраде Э.Р.М.	Методы повышения безопасности движения и предупреждения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте с использованием средств аэрокосмического мониторинга: дис. ... канд. техн. наук
	Венкова Ю.А.	Мониторинг технического состояния нефтегазопроводов по индуцированной и остаточной намагниченности: дис. ... канд. техн. наук
2017	Макаров В.С.	Разработка научно обоснованных технических решений по созданию подвижных комплексов мониторинга береговых зон: дис. д-ра техн. наук
	Гаврилов В.А.	Воздействие переменных электромагнитных полей на геоакустические процессы: эмпирические закономерности и физические механизмы: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. <i>О методах комплексного геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды</i>
	Верхотуров А.А.	Разработка методики комплексного мониторинга земель в условиях воздействия активных тектонических и магматических процессов: дис. ... канд. техн. наук
2018	Антоновская Г. Н.	Сейсмический мониторинг состояния антропогенных объектов и территорий их размещения, включая Крайний Север: дис. д-ра техн. наук
	Черепанов А.О.	Пространственный геоэлектрический мониторинг состояния многолетнемерзлых пород вблизи эксплуатационных скважин на нефтегазовых месторождениях Западной Сибири дис. ... канд. техн. наук
	Пономаренко М.Р.	Разработка метода деформационного мониторинга открытых горных работ в условиях Крайнего Севера с использованием космического радиолокационного зондирования: дис. ... канд. техн. наук
	Лепехин П.П.	Комплексный мониторинг земель объектов Сахалинского нефтегазового комплекса: дис. ... канд. геогр. наук
	Исламов Р.Р.	Совершенствование системы мониторинга технического состояния протяженных участков магистральных нефтегазопроводов применением волоконно-оптических сенсоров деформаций: дис. ... канд. техн. наук

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе представлен анализ документального массива для информационного сопровождения научных исследований по теме «Геотехнический мониторинг»; прослежены тренды развития исследований по проблеме в России и мире с использованием международной базы данных Web of Science компании Thomson Reuters, Российского индекса научного цитирования (e-Library) и региональной БД собственной генерации ГПНТБ СО РАН «Научная Сибирика», являющихся надежной информационной базой научных исследований по проблеме. Перечень продуктивных периодических и сериальных изданий, авторов с высокой публикационной активностью, наиболее цитируемых статей по означенной теме является

ядром информационной компоненты перспективных научных работ по теме. Следует отметить перспективность и актуальность данной области научных исследований, о чем свидетельствует рост публикаций как в России, так и в ведущих экономически развитых государствах мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геотехнический мониторинг во время строительства* [Электронный ресурс] // Библиотека Санкт-Петербургского университета высоких технологий. Режим доступа: <http://tehlib.com/ispytaniya-i-obsledovaniya-zdaniy-i->

sooruzhenij/geotehnicheskij-monitoring-vo-vremya-stroitelstva/ (дата обращения: 28.02.2019).

2. Бусыгина Т.В., Мандрина Л.А., Рыкова В.В. Практика библиометрических исследований в Отделе научной библиографии ГПНТБ СО РАН // Труды ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, 2015. Вып. 9. С. 20-29

3. DeJong J.T., Mortensen B.M., Martinez B.C., Nelson D.C. Bio-mediated soil improvement // *Ecological Engineering*. 2010. Vol. 36, N 2. P. 197-210. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.029>.

4. Colesanti C., Wasowski J. Investigating landslides with space-borne synthetic aperture radar (SAR) interferometry // *Engineering Geology*. 2006. Vol. 88, N 3/4. P. 173-199. DOI: 10.1016/j.enggeo.2006.09.013

5. Martin C.D. Seventeenth Canadian geotechnical colloquium: the effect of cohesion loss and stress path on brittle rock strength // *Canadian Geotechnical Journal*. 1997. Vol. 34, no. 5. P. 698-725. DOI: <https://doi.org/10.1139/t97-030>.

6. Harris Ch., Arenson L.U., Christiansen H.H., Etzelmüller B., Frauenfelder R., Gruber S., Haeblerli W., Hauk C., Hölzle M., Humlum O., Isaksen K., Kääb A., Kern-Lütschg M.A., Lehning M., Matsuoka N., Murton J.B., Nötzli J., Phillips M., Ross N., Seppälä M., Springman S.M., Vonder Mühll D. Permafrost and climate in Europe: monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses // *Earth-Science Reviews*. 2009. Vol. 92, N 3/4. P. 117-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.12.002>.

7. DeJong J.T., Soga K., Kavazanjian E., Burns S., Van Paasen L.A., Al Qabany A., Aydilek A., Bang S.S., Burbank M., Caslake L.F., Chen C.Y.[et al.]. Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities and challenges // *Geotechnique*. 2013. Vol. 63, N 4. P. 287-301. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.017>.

8. Angeli M.G., Pasuto A., Silvano S. A critical review of landslide monitoring experience // *Engineering Geology*. 2000. Vol. 55, N 3. P. 133-147. DOI: 10.1016/S0013-7952(99)00122-2.

9. Wasowski J., Bovenga F. Investigating landslides and unstable slopes with satellite multi temporal interferometry: current issues and future perspectives // *Engineering Geology*. 2014. Vol. 174. P. 103-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.003>.

10. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. 4-е изд. Москва: ВНИИТПИ, 2000. 318 с.

11. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / ред. В. А. Ильичев, Р.А. Мангушев. Москва: АСВ, 2014. 728 с.

12. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // *Науки о земле*. 2012. № 4. С. 54-58.

13. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований / П. А. Коновалов, Р.А. Мангушев, С. Н. Сотников, А.А. Землянский, А.А. Тарасенко. Москва: АСВ, 2009. 336 с.

14. Маркелов В.М., Цветков В.Я. Геомониторинг // *Славянский форум*. 2015. № 2. С. 177-184.

15. Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие. Москва: АСВ, 2014. 704 с.

REFERENCES

1. Geotechnical monitoring during construction [Electronic resource]. Библиотека Санкт-Петербургского университета высших технологий. URL: <http://tehlib.com/ispy-taniya-i-obsledovaniya-zdanij-i-sooruzhenij/geotehnicheskij-monitoring-vo-vremya-stroitelstva/> (accessed: 02.02.2019). (In Russian)

2. Busygina T.V., Mandrinina L.A., Rykova V.. Practice of Bibliometric Studies in the Department of Scientific Bibliography of SPSTL SB RAS. Study GPNTB SO RAN. Novosibirsk, 2015. Vol. 9, pp. 20-29. (In Russian)

3. DeJong J.T., Mortensen B.M., Martinez B.C., Nelson D.C. Bio-mediated soil improvement // *Ecological Engineering*. 2010. Vol. 36, N 2. P. 197-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.029>.

4. Colesanti C., Wasowski J. Investigating landslides with space-borne synthetic aperture radar (SAR) interferometry // *Engineering Geology*. 2006. Vol. 88, N 3/4. P. 173-199. DOI: 10.1016/j.enggeo.2006.09.013.

5. Martin C.D. Seventeenth Canadian geotechnical colloquium: the effect of cohesion loss and stress path on brittle rock strength // *Canadian Geotechnical Journal*. 1997. Vol. 34, no. 5. P. 698-725. DOI: <https://doi.org/10.1139/t97-030>.

6. Harris Ch., Arenson L.U., Christiansen H.H., Etzelmüller B., Frauenfelder R., Gruber S., Haeblerli W., Hauk C., Hölzle M., Humlum O., Isaksen K., Kääb A., Kern-Lütschg M.A., Lehning M., Matsuoka N., Murton J.B., Nötzli J., Phillips M., Ross N., Seppälä M., Springman S.M., Vonder Mühll D. Permafrost and climate in Europe: monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses // *Earth-Science Reviews*. 2009. Vol. 92, N 3/4. P. 117-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.12.002>.

7. DeJong J.T., Soga K., Kavazanjian E., Burns S., Van Paasen L.A., Al Qabany A., Aydilek A., Bang S.S., Burbank M., Caslake L.F., Chen C.Y.[et al.]. Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities and challenges // *Geotechnique*. 2013. Vol. 63, N 4. P. 287-301. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.017>.

8. Angeli M.G., Pasuto A., Silvano S. A critical review of landslide monitoring experience // *Engineering Geology*. 2000. Vol. 55, N 3. P. 133-147. DOI: 10.1016/S0013-7952(99)00122-2.

9. Wasowski J., Bovenga F. Investigating landslides and unstable slopes with satellite multi temporal interferometry: current issues and future perspectives // *Engineering Geology*. 2014. Vol. 174. P.

103-138.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.003>.

10. Konovalov P.A. Osnovaniya i fundamenty rekonstruiroemykh zdaniy [Bases and foundations of reconstructed buildings]. 4th ed. Moscow: VNIINTPI, 2000. 318 p. (In Russian)

11. Il'ichyov V.A., Mangushev R.A. (eds.) Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Handbook of geotechnical engineering. Bases, foundations and underground structures]. Moscow: ASV, 2014. 728 p. (In Russian)

12. Tsvetkov V.Y. GIS geotechnical monitoring. Nauki o zemle. 2012. N 4, pp. 54-58. (In Russian)

13. Konovalov P.A., Mangushev R.A., Sotnikov S.N., Zemlyanskii A.A., Tarasenko A.A. Fundamenty

DOI:

stal'nykh rezervuarov i deformatsii ikh osnovanii [Foundations of steel tanks and deformation of their bases]. Moscow: ASV, 2009. 336 p. (In Russian)

14. Markelov V. M., Tsvetkov V. Ya. Geomonitoring. Slavyanskii forum. 2015. N 2, pp. 177-184.

15. Bedov I.A., Znamenskii V.V., Gabitov A.I. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya, vosstanovlenie i usilenie osnovanii i stroitel'nykh konstruktssii ekspluatiruemyz zdaniy i sooruzhenii : ucheb. posobie [Evaluating technical condition, rehabilitation and strengthening foundations and building structures of exploited building and structures]. Moscow: ASV, 2014. 704 p. (In Russian)

GEOTECHNICAL MONITORING: DOCUMENTS ANALYSIS OF RUSSIAN AND FOREIGN DATABASES

Rykova V.

State Public Scientific Technoloical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 15, Voskhod Str.,
Novosibirsk, 630200, Russia, Rykova@gpntbsib.ru

Summary The author analyzes information arrays on problems of geotechnical monitoring in Russia and the worldwide using the international database Web of Science of Thomson Reuters, the Russian Science Citation Index (e-Library) and the regional database "Scientific Sibirika" of the State Public Scientific Technological Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences' own generation using bibliometric methods.

Information arrays are selected from the above mentioned databases, which are bibliographic databases, free access to the full texts in them is possible only for a part of the documents, most of the information is available under license.

Bibliometric analysis of information arrays is carried out using the databases' analytical services, the analysis results are presented in the form of graphs and tables.

The paper reveals trends in the research development on the problem in Russia and the world; demonstrates the contribution of different countries and scientific organizations in the development of this research field; compiles a list of the most productive periodicals and serials, including materials on geotechnical monitoring. The article carries out the analysis of publication activity of authors, shows the most cited articles of the English-speaking and Russian-speaking corpus of documents on the designated subject, and as well the topics of Russian dissertation researches for the last three years.

The concludes on prospects and relevance of this research area, as evidenced by the active growth in the number of publications on the topic both in Russia and in the leading economically developed countries of the world.

Key words: geotechnical monitoring, information support, database Web of Sciences, Russian science citation index e-Library, database "Scientific Sibirika".

УДК 504.6.349.6.504.61

СТАТУС И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (ЛЭМ) ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Можейко М.В., Слепнев П.А.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ) 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, kanz@mgsu.ru

Аннотация. В исследовании проведен анализ нормативно-правовой базы экологического законодательства Российской Федерации, выявлен статус локального экологического мониторинга градостроительных объектов, выполнен анализ структуры и взаимодействия между участниками системы государственного экологического мониторинга, а также произведена оценка мероприятий локального экологического мониторинга градостроительных объектов. На основе полученных данных в ходе исследования было предложено повысить статус локального экологического мониторинга в системе экологического законодательства РФ, а также разработана двухступенчатая модель проведения локального экологического мониторинга градостроительных объектов, направленная на определение точной экономической оценки градостроительных объектов, а также на улучшение качества городской среды в целом.

Предмет исследования: статус и методы проведения локального экологического мониторинга градостроительных объектов в системе экологического законодательства РФ

Материалы и методы: анализ нормативно-правовой базы экологического законодательства Российской Федерации, разработка эффективной градостроительной модели проведения мероприятий локального экологического мониторинга объектов в городской среде.

Результаты: в ходе исследования были выявлены острые противоречия в нормативно-правовой документации экологического законодательства РФ, в частности противоречия при распределении полномочий по осуществлению мероприятий локального экологического мониторинга объектов. Также, на основе результатов анализа состава мероприятий ЛЭМ было выявлено несоответствие таковых современным тенденциям развития градостроительной политики, что влечет за собой неадекватную экономическую оценку градостроительных объектов и препятствует развитию городов.

Выводы: результаты полученного исследования указывают на необходимость пересмотра вопросов связанных с проведением локального экологического мониторинга градостроительных объектов в условиях сложившейся в Москве ситуации по переводу большого количества промышленных территорий в жилые.

Ключевые слова: экология, градостроительная политика, экологическое законодательство, локальный экологический мониторинг, модель двухступенчатого локального экологического мониторинга градостроительных объектов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой экологического мониторинга в России является отсутствие единой структуры и взаимодействия между участниками системы государственного экологического мониторинга, кроме того причиной таких разногласий стало место в экологическом законодательстве РФ, отводимое значению локального экологического мониторинга объектов, в том числе градостроительных. Локальный экологический мониторинг градостроительных объектов позволяет определить состояние среды на застраиваемых территориях, дать точную экономическую оценку объектам, а также указывает на пути развития градостроительной деятельности городов в целом.

Исследование содержит в себе анализ нормативно-правовой базы экологического законодательства РФ, оценку содержания нормативной документации локального экологического мониторинга объектов, анализ состава мероприятий локального экологического мониторинга и оценка соответствия данных мероприятий современным тенденциям развития городов.

Цель исследования состоит в том чтобы повысить статус ЛЭМ в экологическом законодательстве и усовершенствовать мероприятия локального экологического мониторинга градостроительных объектов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время мероприятия по охране окружающей среды и природопользования в РФ осуществляются по средству проведения государственного экологического мониторинга (ГЭМ), определенного действующим №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1]. ГЭМ — это комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды (ст. 1 Федерального закона № 7-ФЗ) [2].

Согласно №7-ФЗ «Об охране окружающей среды», проведение ГЭМ осуществляют непосредственно органы государственной власти РФ, компетенция которых определяется Единой государственной системой экологического мониторинга (ЕГСЭМ). ЕГСЭМ – это система наблюдения, оценки, прогноза состояния окружающей среды и информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений по охране природы, защите от опасных экологических факторов и повышения экологической безопасности жизнеобеспечения горожан [3].

ЕГСЭМ включает в себя следующие основные компоненты:

- мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду;
- мониторинг загрязнения абиотического компонента окружающей природной среды;
- мониторинг биотической компоненты окружающей природной среды;
- социально-гигиенический мониторинг;
- обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем [3].

Важнейшей составной частью по организации ЕГСЭМ является организация мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую природную среду (локального мониторинга). Однако в настоящее время действующим №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» не предусматривается проведение локального экологического мониторинга (ЛЭМ).

Локальный экологический мониторинг – это система непрерывных наблюдений за воздействием конкретного объекта хозяйственной и иной деятельности на состояние окружающей среды. В настоящее время ЛЭМ является подзаконным актом, поэтому состав мероприятий по его проведению определяют органы региональной власти, однако реально проведение ЛЭМ осуществляется природопользователями, что противоречит №7-ФЗ «Об охране окружающей среды», так как данный ФЗ предусматривает в качестве компетенции природопользователей проведение производственного экологического контроля (ПЭК) [4].

Производственный экологический контроль в соответствии со статьей 67 ФЗ Российской Федерации от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», осуществляется в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды [5].

Также в исследовании рассматриваются материалы статей, посвященных проблематике исследования, выпущенных ранее, а именно: Алымова В., Государственный и локальный экологический мониторинг: проблемы разграничения понятий и определения субъектов осуществления.

В качестве примера в исследовании также рассматриваются и сравниваются между собой закон г. Москвы от 20 октября 2004г. №65 «Об экологическом мониторинге в г. Москве», закон Санкт-Петербурга №155-21 «Об экологическом мониторинге на территории Санкт-Петербурга (с изменениями на 28 июня 2010 года)» и закон Краснодарского края N 2124-КЗ «ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ» (с изменениями на: 05.07.2018).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные, полученные природопользователями в ходе проведения ЛЭМ передаются региональным органам в Единый государственный фонд данных. Таким образом, региональные органы перекадывают ответственность по проведению дорогостоящих мероприятий ЛЭМ на природопользователей, что полностью противоречит положениям №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» о полномочиях природопользователей и в последствие приводит к халатному отношению последних в осуществлении мероприятий ЛЭМ.

Как говорилось выше, локальный экологический мониторинг не является законным актом, устав ЛЭМ определяют региональные органы в зависимости от особенностей исследуемой территории. Так, к примеру, в законе г. Москвы от 20 октября 2004г. №65 «Об экологическом мониторинге в г. Москве» определяется локальный экологический мониторинг объектами которого являются:

- компоненты природной среды, в том числе атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, грунты, зеленые насаждения, животные и другие организмы, находящиеся в пределах административных границ города Москвы, физические воздействия на окружающую среду (шумы, вибрации и другое воздействие), а также природные процессы;
- природные и природно-антропогенные объекты, находящиеся в пределах административных границ города Москвы;
- природно-климатические условия;

- воздействие антропогенных объектов на состояние окружающей среды [6].

Для сравнения рассмотрим закон Санкт-Петербурга №155-21 «Об экологическом мониторинге на территории Санкт-Петербурга (с изменениями на 28 июня 2010 года)» в тексте которого сказано, что:

«Объектами экологического мониторинга на территории Санкт-Петербурга являются атмосферный воздух, почвы, зеленые насаждения, городские леса, водные объекты, объекты животного и растительного мира, особо охраняемые природные территории, состояние недр, источники антропогенного воздействия и природные факторы».

Рассмотрим мероприятия, предлагаемые для выполнения настоящим законом:

- организация и осуществление государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) в порядке, установленном Правительством Российской Федерации;

- формирование и обеспечение функционирования территориальных систем наблюдения за состоянием окружающей среды на территории Санкт-Петербурга;

- разработка и утверждение комплексной системы наблюдений за состоянием окружающей среды; оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов;

- ведение учета объектов и источников негативного воздействия на окружающую среду на территории Санкт-Петербурга;

- осуществление экологической паспортизации;

- информирование населения о состоянии окружающей среды на территории Санкт-Петербурга, выполнении соответствующих программ и мероприятий;

- использование информации о состоянии окружающей среды, ее изменении, полученной в результате осуществления государственного экологического мониторинга в целях принятия мер по охране окружающей среды Санкт-Петербурга, а

также защиты населения при чрезвычайных ситуациях;

- иные полномочия в сфере экологического мониторинга, предусмотренные федеральным законодательством.

Особое место в рассматриваемом документе занимает контроль за зелеными насаждениями. Однако, как и в законе г. Москвы от 20 октября 2004г. №65 «Об экологическом мониторинге в г. Москве»

ни слова не сказано о застраиваемых территориях и контроля за качеством среды на них соответственно.

Также, к примеру, в Краснодарском Крае выпущен закон Краснодарского края N 2124-КЗ «ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ» (с изменениями на: 05.07.2018). Рассмотрим объекты, которые регламентирует данный документ:

Объектами экологического мониторинга на территории Краснодарского края являются:

- 1) атмосферный воздух;

- 2) земли, недра, почвы;

- 3) водные объекты;

- 4) леса и иная растительность, животные и другие организмы;

- 5) природные процессы и явления, способные повлечь негативные экологические последствия для территории и (или) населения Краснодарского края;

- 6) территории природоохранного и иного назначения на территории Краснодарского края, имеющие особый правовой статус, в том числе объекты, имеющие научное, историко-культурное, эстетическое, рекреационное, оздоровительное и иное ценное значение, а также редкие или находящиеся под угрозой исчезновения почвы, леса и иная растительность, животные и другие организмы и места их обитания;

- 7) объекты, оказывающие или способные оказать прямое или косвенное негативное воздействие на состояние окружающей среды или здоровье населения на территории Краснодарского края.

Как и в предыдущих рассматриваемых документах. Данный закон не учитывает контроль застраиваемых территорий.

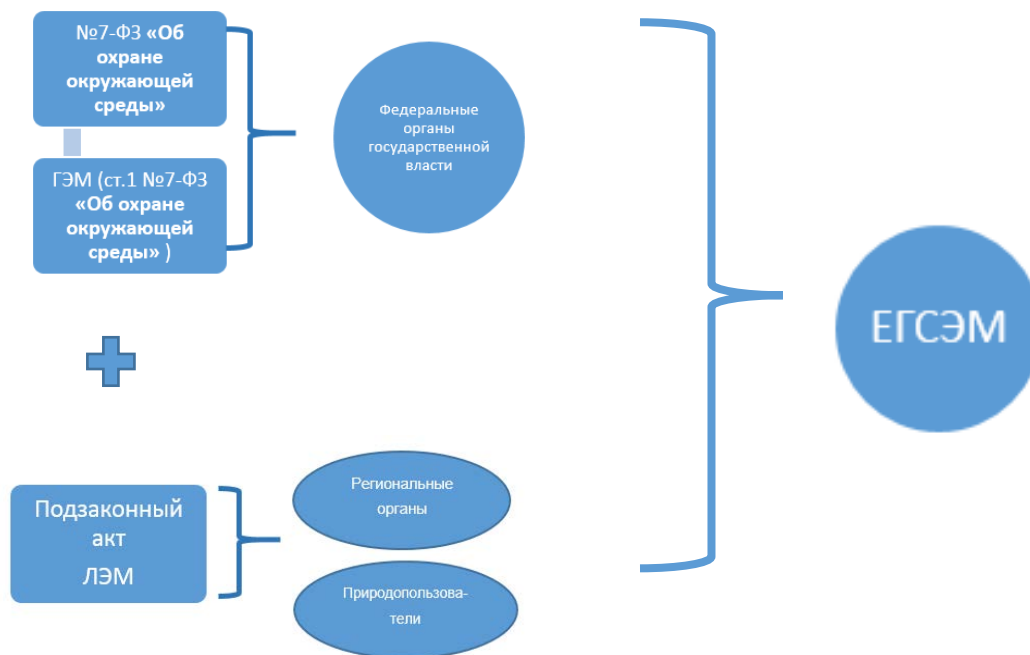


Рис.1. Схема существующей иерархии при организации экологического мониторинга объектов

Fig.1. Scheme of the existing hierarchy in the organization of environmental monitoring of objects



Рис.2. Схема проектной иерархии при организации экологического мониторинга объектов

Fig.2. Scheme of the project hierarchy in the organization of environmental monitoring of objects

Первая схема (рис.1.) наглядно отражает отсутствие единой структуры и взаимодействия между участниками системы государственного экологического мониторинга, как говорилось выше. В то время как на предлагаемой схеме (рис.2.) отражено более четкое структурированное взаимодействие между вышеописанными участниками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Из вышесказанного видно, что система ЛЭМ на данный момент не предусматривает контроль за объектами градостроительной деятельности, а именно контроль качества среды застраиваемых территорий, что в дальнейшем приводит к ухудшению состояния городской среды и установлению нецелесообразных цен на недвижимость.

Для обеспечения комфортной городской среды необходимо проводить оценку состояния застраиваемых территорий до начала строительства и после соответственно [7]. В качестве решения данного вопроса можно предложить двухступенчатую модель локального экологического мониторинга. Такая модель позволит определять ущерб, нанесенный территориям в ходе строительства, и обеспечить переход к использованию экологических материалов для благоустройства территорий.

Первый этап мониторинга направлен на оценку состояния территории до начала проектирования и определяет варианты ее использования. Полная оценка состояния территории перед вводом объектов градостроительной деятельности в эксплуатацию позволит установить адекватные цены на аренду помещений и покупку недвижимости на данной территории.

Двухступенчатая модель предполагает под собой расчет (на обеих ступенях) концентраций таких веществ, как:

- Диоксид азота
- Оксид азота
- Сажа
- Диоксид серы
- Оксид углерода
- Керосин
- Пыль неорганическая: 20-70% диоксида кремния
- Группа суммации 6204 (Азота диоксид, серы диоксид)
- Группа суммации 6046 (Углерода оксид и пыль цементного производства)

Также необходимо учитывать, что после ввода объекта в эксплуатацию, данные выбросы суммируются с выбросами и акустической нагрузкой от потока автотранспорта, проходящего по близлежащим магистралям.

Значения концентраций вышеперечисленных веществ соотносятся с нормативными показателями и на основе данного сравнения производится оценка состояния среды на исследуемой территории.

В рамках двухступенчатой модели предлагается производить расчет трижды: до начала производства работ, во время производства работ и по окончании производства работ.

Данные сводятся в таблицы и по окончании расчетов на всех трех этапах производится подбор мероприятий по улучшению состояния среды, которые послужат основанием для составления устава локального экологического мониторинга региональными органами.

В дальнейшем, данные, полученные в ходе мониторинга объектов градостроительной деятельности позволят сформировать единую базу данных, охватывающую большие части территории, которая отразит общее состояние городской среды и задаст направление для развития территорий, отвечающее современным потребностям населения и направлениям градостроительной политики

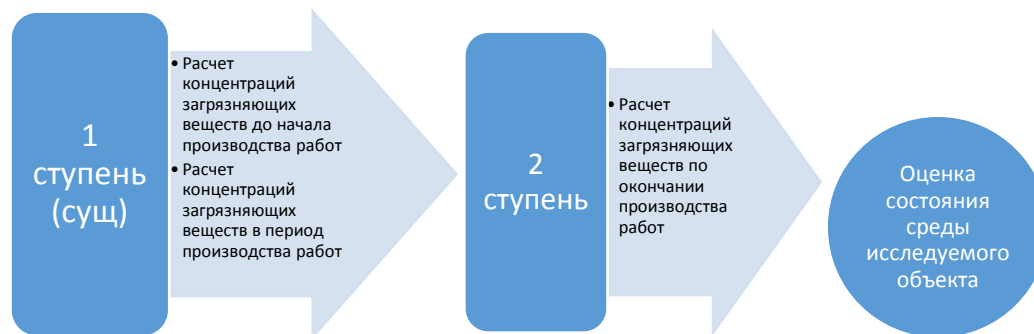


Рис.3. Модель двухступенчатого локального экологического мониторинга

Fig.3. Model of two-stage local environmental monitoring

ВЫВОДЫ

На основе выше сказанного, для повышения эффективности мероприятий по охране окружающей среды и природопользования в РФ предложено следующее:

- включить проведение ЛЭМ в №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- передать полномочия по проведению мероприятий ЛЭМ региональным органам;
- включить в состав объектов ЛЭМ градостроительные объекты;
- использовать двухступенчатую модель ЛЭМ градостроительных объектов для получения точных данных о состоянии исследуемых территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымова В., Государственный и локальный экологический мониторинг: проблемы разграничения понятий и определения субъектов осуществления // Справочник эколога. –2013. –№9. – С. 18–22.
2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ
3. ЕГСЭМ:
<https://fireman.club/inseklodepia/edinaya-gosudarstvennaya-sistema-ekologicheskogo-monitoringa-egsem/>
4. Зайцев О.Б., Котельникова Е.А. Производственный экологический контроль на предприятии: что, где и как? // Справочник эколога. – 2013. – № 6. –С. 73–77;
5. ПЭК:
<http://www.acmsu.ru/services/monitoring-i-nauchnie-issledovaniya/proizvodstvenniy-ekologicheskii-monitoring-i-kontrol>
6. Закон г. Москвы от 20 октября 2004г. №65 «Об экологическом мониторинге в г. Москве»
7. Закон Санкт-Петербурга №155-21 «Об экологическом мониторинге на территории Санкт-Петербурга (с изменениями на 28 июня 2010 года)»

8. Закон Краснодарского края N 2124-КЗ «ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ» (с изменениями на: 05.07.2018)

9. Маршалкович А.С., Алешина Т.А. Управление качеством городской среды. 2 гл. «Информационные методы управления качеством окружающей среды»: учебное пособие. – Москва: МГСУ, 2008. – С. 47-77.

REFERENCES

1. Alymova V., State and local environmental monitoring: problems of differentiation of concepts and definitions of subjects of implementation // Ecologist's Handbook. –2013. –№9. - P. 18–22.
2. Federal Law "On Environmental Protection" dated January 10, 2002 No. 7-FZ
3. EGSEM: <https://fireman.club/inseklodepia/edinaya-gosudarstvennaya-sistema-ekologicheskogo-monitoringa-egsem/>
4. Zaitsev, O.B., Kotelnikova, E.A. Industrial environmental control at an enterprise: what, where and how? // Handbook of ecologist. - 2013. - № 6. –С. 73–77;
5. PEK: <http://www.acmsu.ru/services/monitoring-i-nauchnie-issledovaniya/proizvodstvenniy-ekologicheskii-monitoring-i-kontrol>
6. The law of Moscow dated October 20, 2004. №65 "On environmental monitoring in Moscow"
7. The Law of St. Petersburg No. 155-21 "On Environmental Monitoring in St. Petersburg (as amended on June 28, 2010)"
8. The Law of the Krasnodar Territory N 2124-K3 "ON ENVIRONMENTAL MONITORING ON THE TERRITORY OF KRASNODAR TERRITORY" (as amended on 05.07.2018)
9. Marshalkovich A.S., Aleshina T.A. Quality management of the urban environment. 2 ch. "Information methods of environmental quality management": a training manual. - Moscow: MGSU, 2008. - p. 47-77.

STATUS AND METHODS OF LOCAL ENVIRONMENTAL MONITORING (LEM) OF URBAN PLANNING OBJECTS IN THE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Mozheyko M.V., Slepnev P.A.

FGBOU VO "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU) 129337, Moscow, Yaroslavskoye Highway, 26, kanz@mgsu.ru¹

Summary The study analyzes the legal framework of environmental legislation of the Russian Federation, reveals the status of local environmental monitoring of urban planning objects, analyzes the structure and interaction between participants of the state environmental monitoring system, and evaluates the activities of local environmental monitoring of urban planning objects. On the basis of the received data in the course of the study it was proposed to raise the status of local environmental monitoring in the system of environmental legislation of the Russian Federation, as well as to develop a two-stage model of local environmental monitoring of urban development projects, aimed at determining the exact economic assessment of urban development projects, as well as to improve the quality of the urban environment as a whole.

Subject: status and methods of local environmental monitoring of urban development objects in the system of environmental legislation of the Russian Federation

Materials and methods: analysis of the regulatory framework of environmental legislation of the Russian Federation, development of an effective urban planning model of local environmental monitoring of objects in the urban environment.

Results: in the course of the study, acute contradictions were revealed in the regulatory documents of environmental legislation of the Russian Federation, in particular, contradictions in the distribution of powers for the implementation of local environmental monitoring of objects. Also, on the basis of the results of the analysis of the composition of power transmission line measures it was revealed inconsistency of such measures to the modern tendencies of development of town-planning policy that entails inadequate economic assessment of town-planning objects and prevents the development of cities.

Conclusions: the results of the research indicate the need to review the issues related to the local environmental monitoring of urban planning facilities in the current situation in Moscow on the transfer of a large number of industrial areas in the residential areas.

Key words: ecology, town-planning policy, environmental legislation, local environmental monitoring, model of two-stage local environmental monitoring of town-planning objects.

СПИСОК АВТОРОВ

Ангелюк И.П., ассистент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Асанов М.М., ассистент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Бекиров Э.А., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Калинюк И.В., кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Государственного автономного учреждения «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Институт сейсмологии и геодинамики, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Кульчинский В.Е., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного автономного учреждения «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Институт сейсмологии и геодинамики, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Леоненко Ю.С., аспирантка, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Нагаева З.С., доктор архитектуры, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Николенко И.В., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Рыкова В.В., старший научный сотрудник отдела научной библиографии, Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук

Погребницкая А.М., кандидат математических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Попов А.Г., старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Пустовитенко Б.Г., доктор физико-математических наук, научный сотрудник Государственного автономного учреждения «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Институт сейсмологии и геодинамики, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Тимин В.С., студент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Эреджепов Э.Э., младший научный сотрудник Государственного автономного учреждения «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Институт сейсмологии и геодинамики, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Черкас М.В., студентка, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Шаленный В.Т., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Шейна С.Г., доктор технических наук, профессор, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Чемодуров В.Т., доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. 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 и по электронному адресу stepancova.natal@mail.ru.

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.

Так же прием статей на рассмотрение и рецензирование можно направить по электронной почте по адресу stepancova.natal@mail.ru. Все вопросы и пожелания необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции. (смотреть пункт 1.3).

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 stepancova.natal@mail.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 lisa.858@yandex.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 lisa.858@yandex.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 stepancova.natal@mail.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 stepancova.natal@mail.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.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавливаются 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):** 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 **четырех 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.