

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 8(60) – 2017

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. (05.23.05), проф. (КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:

Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН, д.т.н. (05.23.05), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Николенко Илья Викторович, д.т.н. (05.02.0.2), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:

Абдулгазис У.А., д.т.н. (05.02.02), проф. (КИПУ, Симферополь)

Бакаева Н.В., д.т.н. (05.23.19), проф. (ЮЗГУ, Курск);

Бекиров Э.А., д.т.н. (05.14.08), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Беспалов В.И., д.т.н. (05.23.19), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

Боровский Б.И., д.т.н. (05.07.05), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Ветрова Н.М., д.т.н. (05.23.19), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая безопасность»;

Графкина М.В., д.т.н. (05.23.19), проф. (МГМУ, Москва);

Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н. (05.01.2001) проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Дьяков И.М., к.т.н. (05.23.02), доц. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Зайцев О.Н., д.т.н. (05.14.06), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное обеспечение»;

Кукунаев В.С., советник РААСН, д.т.н. (05.23.01), с.н.с. (КФУ им.В.И. Вернадского, Симферополь);

Маилян Д.Р., советник РААСН, д.т.н. (05.23.01), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Нагаева З.С., советник РААСН, д.арх. (05.23.22), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела «Градостроительство»

Несветаев Г.В., д.т.н. (05.23.05), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Пищулина В.В., д.арх. (05.23.21), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Серпокрылов Н.С., д.т.н. (05.23.04), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Толстой М.Ю., к.т.н. (05.23.04), доц. (ИРНТУ, Иркутск);

Федорова Н.В., советник РААСН, д.т.н. (05.23.01) проф. (ЮЗГУ, Курск);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н. (08.00.04), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Чемодуров В.Т., д.т.н. (20.02.14), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Чеботарев В.И., д.т.н. (05.23.03), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Шаленный В.Т., д.т.н. (05.23.08), проф. (КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;

Шейна С.Г., советник РААСН, д.т.н. (05.23.08), проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 8(60) – 2017

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 6 от 18.12.2017)

Координатор выпуска *И.В. Николенко*
Редактор *Н.А. Степанцова*
Корректор *А.Н. Нестерова*
Верстка *К.А. Янушковский*

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

Адрес редакции: 95000, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 410, e-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 08.12.2017.

Формат 70x108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 15,8.

Тираж 100 экз.

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

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

<http://cfuv.ru>, io_cfuv@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 катлогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

© Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2017

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или частично допускается с письменного разрешения Издателя.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

Кашина И.В., Левенко А.Д., Самойлова Ю.А. ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	7
Кашина И.В., Забейворота В., Симакова А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СОВРЕМЕННОМ МЕГАПОЛИСЕ	15
Нестерова А.Н., Шеина С.Г., Федоровская А.А. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ МЕМОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ	23
Шеина С.Г., Миненко Е.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕШЕНИЙ НА ПРОЕКТНОЙ ФАЗЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ	29

Раздел 2. Строительство

Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В. КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА	35
Языева С.Б., Языев С.Б., Зотов И.М., Языев Б.М. ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИНЫ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА	43
Стасева Е.В., Пушенко С.Л. РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ПЛОЩАДКАХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ.	49
Синцов А.В. СОСТАВНЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ БАЛКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ ПО КАРКАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	55
Митрофанов С.В. ОГНЕСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОЧАГАХ ВОЗГОРАНИЯ	61
Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗВЕСТКОВО-КАРБОНАТНОКАЛЬЦИЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ	67

Раздел 3. Инженерное обеспечение

Асанов М.М., Бекиров Э.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПУТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ИМИ ЭНЕРГИИ	75
Боровский Б.И., Дихтярь Т.В. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧНОСТИ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ И МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ	81
Субботкин Л.Д., Урецкий Е.А., Мороз В.В. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО И ПОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВ	87
Крылов В.С., Кудрявцев А.А. КОНСТРУКТИВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	93
Муровский А.П., Купленный В.О., Тараненко Б.И. ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	97
Быков М.А., Бекиров Э.А. МОДЕЛЬ ТОКОПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ТОНКИХ ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ПЛЕНКАХ НА ОСНОВЕ α -Si:H.	105

Зайцев О.Н., Степанцова Н.А., Аверкова О.А., Логачев К.И., Уваров В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУИ С ПРЕЦЕССИРУЮЩИМ ВИХРЕВЫМ ЯДРОМ	109
Амбросова Г.Т., Матюшенко Е.Н., Синева Н.В. КОМПАКТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	115
Раздел 4. Экологическая безопасность	
Ефремов А.В. РОЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕРРИТОРИИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ	123
Тимченко З.В. ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ ДЖАРДЖАВЫ	133
Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э., Ветрова Н.М. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО БЕРЕГОЗАЩИТЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА	141
Афоница М.И., Князева О.Л. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РЕКРЕАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРНОЛЫЖНОГО КУРОРТА «ПУЖАЛОВА ГОРА»)	147
Руководство для авторов	157

Content

Section 1. Town planning

<i>Kashina I.V., Levenko A.D., A.Y. Samoilova A.Y.</i> THE PROBLEM OF ENVIRONMENTAL BUILDING MATERIALS. ANALYSIS OF THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS AND FACILITIES	7
<i>Kashina I.V., Zabeyvorota V., Simakova A.</i> INVESTIGATION OF REASONS FOR USE OF KINETIC ARCHITECTURE IN MODERN MEGAPOLIS	15
<i>Nesterova A.N., Sheina S.G., Fedorovskaya A.A.</i> APPLICATION OF GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES WITH THE PURPOSE OF PRESERVING THE MEMORIAL COMPLEXES OF G. ROSTOV-NA-DON	23
<i>Sheina S.G., Minenko E.N.</i> OPTIMIZATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES' SELECTION DURING DESIGN OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS	29

Section 2. Construction

<i>Chemodurov V.T., Litvinova E.V.</i> FLUCTUATIONS OF THE FLAT PLATE IN THE AIR STREAM	35
<i>Yazyeva S.B., Yazyev S.B., Zotov I.M., Yazyev B.M.</i> ESTIMATION OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE VARIABLE THICKNESS PLATE IN CONDITIONS OF BENDING	43
<i>Staseva E.V., Pushenko S.L.</i> DEVELOPMENT OF THE METHOD OF INTEGRATED ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT AT THE SITE OF ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY	49
<i>Sintsov A.V.</i> COMPOSITE WOODEN BEAMS FOR CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON FRAMED TECHNOLOGY	55
<i>Mitrofanov S.V.</i> FIRE RESISTANCE OF METAL STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDING UNDER VARIOUS FIRE PARAMETERS	61
<i>Lyubomirskiy N.V., Bakhtina T.A., Bakhtin A.S.</i> CHANGES OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FORCE-CARBONATED LIME-CARBONATE-CALCIUM MATERIALS OVER TIME	67

Section 3. Engineering Support

<i>Asanov MM, Bekirov E.A.</i> INCREASING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES BY ACCUMULATING THE ENERGY GENERATED BY THEM	75
<i>Borovsky B.I., Dikhtyar T.V.</i> THE ECONOMIC EFFICIENCY OF SINGLE-STAGE AND MULTISTAGE CENTRIFUGAL PUMPS	81
<i>Subbotkin LD, Uretskiy EA, Moroz V.V.</i> DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF JOINT WASTEWATER TREATMENT OF GALVANIC AND PETROCHEMICAL MANUFACTURE	87
<i>Krylov V.S., Kudryavtsev A.A.</i> CONSTRUCTION OF ELEMENTS OF DIRECT TRANSFORMATION OF LIGHT ENERGY TO ELECTRICALLY BASED ON USE OF PLASMA TECHNOLOGIES	93
<i>Murovsky AP, Purchased VO, Taranenko BI</i> INTRODUCTION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF POWER SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES	97

Bykov MA, Bekirov E.A. MODEL OF CARRIER TRANSMISSION OF MEDIA IN THIN FILM-FILTERING FILMS BASED ON -Si: H	105
Zaitsev O.N., Stepanstova N.A, Averkova O.A., Logachev K.I., Uvarov V.A. INVESTIGATION OF A FREE TURNED JET WITH A PRECESSING VORTEX NUCLEI	109
Ambrosova G.T., Matyushenko E.N., Sineva N.V. COMPACT PLANT FOR CLEANING THE STOCK OF THE ENTERPRISE OF THE FOOD INDUSTRY	115
Section 4. Environmental safety	
Efremov A. V. THE ROLE OF STATISTICAL METHODS FOR EVALUATING BEHAVIOR OF CONSTRUCTION WHILE PREPARING THE TERRITORY FOR CONSTRUCTION	123
Timchenko Z. V. HYDROGRAPHIC AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE JARJAVA RIVER	133
Ivanenko T.A., Sadykov G.E., Vetrova N.M. ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT ENGINEERING SOLUTIONS FOR PERIGOSAMENTE COASTAL AREAS OF THE CRIMEA	141
Afonina M.I. , Knyazeva O.L. COMPREHENSIVE ANALYSIS OF A RECREATIONAL FACILITY TO PROVIDE ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF THE PILGRILA MOUNTAIN RESORT)	147
Guidelines for Authors	157

ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кашина И.В.¹, Левенко А.Д.², Самойлова А.Ю.³

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

1 e-mail: akbcf84@yandex.ru,

2e-mail: uminekono@yandex.ru;

3e-mail: anastasiya.samoilova-arfanidi@mail.ru

Аннотация. Строительная промышленность оказывает наибольшее влияние на окружающую среду. Здания, возведённые в период индустриализации, не только не соответствуют сегодняшним представлениям о здоровой окружающей среде, но и потребляют слишком много энергии и производят большое количество отходов, приводящее к ухудшению качества жизни населения. Данная статья расскажет о некоторых проблемах в области экологии, возникающих при современном строительстве. В работе показано, как с точки зрения экологичности оценить здание на протяжении всего его жизненного цикла.

Ключевые слова: жизненный цикл здания; экологические строительные материалы; экостроительство.

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль в мире, и в частности в России, с каждым новым днём претерпевает существенные изменения. Строительство жилья является неотъемлемой частью развития экономики и социальной политики нашей страны.

С ошеломляющей быстротой учеными изобретаются новые способы возведения зданий, новые строительные и отделочные материалы. В погоне за быстротой и простотой строительных работ забывается, что лишь одна ошибка, допущенная в массовом жилищном строительстве, станет практически неисправима, и на протяжении многих поколений придется с ней жить, губя своё здоровье и большие средства на устранение её последствий. Поэтому очень важно выбрать правильные экологические материалы для строительства. *Предмет исследования данной статьи* – оценка жизненного цикла здания для определения наиболее подходящего с точки зрения экологичности материала. *Объект исследования* – строительные материалы.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

При разработке статьи был проведён обзор различных этапов жизненного цикла здания на примере исследований отечественных и зарубежных специалистов. Анализ существующих публикаций выявил, что экологическая оценка здания должна проводиться, учитывая все стадии жизни строительного объекта.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – Провести анализ всех этапов существования здания и найти наиболее подходящие строительные материалы, оказывающие минимальное негативное или нейтральное воздействие на окружающую среду.

Задачи исследования:

1. Обозначить периоды жизни зданий и сооружений и выявить их особенности;
2. Определить значимость выбора правильных строительных материалов;
3. Отметить критерии наиболее подходящих стройматериалов для соблюдения экологической безопасности.

Актуальность данной статьи состоит в значимости использования экологически чистых строительных материалов при современном количестве выбрасываемых в атмосферу Земли вредных веществ. Загрязнение воздуха в наше время достигает катастрофических масштабов и сказывается на уровне жизни человека и состоянии природы, что не могло не повлиять на все отрасли промышленности.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в возможности правильно выбрать подходящий строительный материал при возведении зданий и сооружений;
- в определении влияния материалов на окружающую среду в течение всех этапов существования здания или сооружения.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Применяя экологически чистые стройматериалы, можно значительно улучшить атмосферу внутри здания, поэтому главным и необходимым шагом на пути к экологически чистой среде в доме и целом городе является экологически и экономически правильный выбор строительных и отделочных материалов. Данная задача весьма своевременна: плохой воздух в помещениях, способствующий развитию многих болезней, выявлен почти в 35 % старых и вновь построенных зданиях по всему миру. Так же при проведении строительных работ

возникает проблема с утилизацией отходов, которые способствуют загрязнению воды и воздуха.

Часто экологичные стройматериалы недоступны для применения в зданиях и сооружениях из-за несоответствия своих прочностных характеристик и качества современным стандартам. К примеру, невозможно применить при строительстве высотного дома такие массово используемые экологически чистые строительные материалы, как кирпич или древесина. Такие дома надёжней возводить с использованием менее экологичного железобетона. Чтобы не возросла стоимость построенного здания, экологические и экономические показатели должны быть сбалансированы. Даже более сознательный в экологическом плане застройщик или производитель стройматериалов в конце концов будет нацелен к экологическим выгодам в том случае, если при этом не потребуются значительно больших затрат.

К полностью экологически чистым строительным материалам можно отнести материалы, созданные из возобновляемого природного сырья, которые оказывают благоприятное или нейтральное воздействие на состояние и здоровье человека, не разрушают природную среду и требуют незначительных затрат энергии при их производстве, полностью разлагаются после утилизации наподобие биоматериалов. Таким требованиям в полном размере соответствуют немногие природные материалы: солома, древесина, бамбук, торф, песок, камень, натуральный хлопок, шёлк, натуральный клей и каучук и т.д.

К приемлемым с точки зрения экологичности строительным материалам можно отнести те, что получены из большого разнообразия полезных ископаемых, спрятанных внутри земной коры, или те, что могут быть вторично использованы (как следствие, претерпевающие небольшую убыль и позволяющие сэкономить до 80 – 90 % энергии при их изготовлении) и не могут негативно влиять на окружающую среду и человека. К таким материалам относят керамические изделия (кирпич, плитка, черепица), стекло, бетон, алюминий.

Неэкологичные строительные материалы – это синтетические лаки, некоторые пластмассовые изделия, краски, материалы для гидроизоляции, выделяющие такие вредные летучие вещества, как толуол ($C_6H_5-CH_3$), фенолформальдегид, оксид и диоксид углерода (CO и CO_2), сероводород (H_2S), серный и сернистый ангидрид (SO_3 и SO_2), аммиак (NH_3), оксид азота (N_2O), ртуть, хлор (Cl), фтор (F), синильную кислоту (HCN) и др.

Экологичность различных строительных материалов сравнивают при помощи оценки

жизненного цикла строительного объекта. Данная оценка основывается на том, что на протяжении всего жизненного цикла (добыча и обработка сырья, производство, установка, эксплуатация и содержание, утилизация и переработка) материалы воздействуют на экологическое состояние окружающей среды. Анализ невозможно считать полным, если он исключает хоть один из этапов жизни.

Оценка жизненного цикла состоит из четырёх шагов. Первым шагом является определение количества продукции (выбросы в воздух, воду, землю) и вкладов в экологию (энергия, вода, земля и другие ресурсы), связанных с материалом на протяжении всего жизненного цикла. Вторым шагом является характеристика вкладов в глобальные воздействия на экологию. На третьем шаге объединяют воздействия на экологию. Четвёртым шагом является определение и оценка возможности улучшить экологическую характеристику материала. Проведение данного анализа позволяет облегчить выбор более экономичных и экологичных материалов из огромного разнообразия альтернативных стройматериалов.

Для оценки стоимости жизненного цикла необходимо сложение всех затрат. Некоторое число альтернативных стройматериалов, имеющих одно и то же функциональное назначение, может быть сравнено по стоимости жизненного цикла с целью определения, какой из них обладает наименьшим объёмом и стоимостью. Таким методом предусматривается отслеживание начальных вложений (покупка), затрат на замену, обслуживание, эксплуатацию и ремонт. Период оценки может быть изменён по усмотрению каждой из заинтересованных сторон. К примеру, временно проживающий в доме человек выбрал бы тот период, на протяжении которого он будет проживать в этом доме, в то время как постоянный житель – период всего существования здания.

А.Н. Тетиор в своей книге «Городская экология» дал следующее определение жизненному циклу здания: «Цикл жизни здания (жизненный цикл здания) (рис. 1) – это полный и непрерывный процесс его создания, эксплуатации и разборки, включающий в себя такие стадии, как добыча полезных ископаемых и производство строительных материалов, сооружение здания, его функционирование (в том числе снабжение водой, газом, электроэнергией, удаление отходов), периодический ремонт, возможная реконструкция, разборка после окончания срока эксплуатации с возвращением территории в состояние «зелёной лужайки», вторичное использование полученных при разборке материалов».

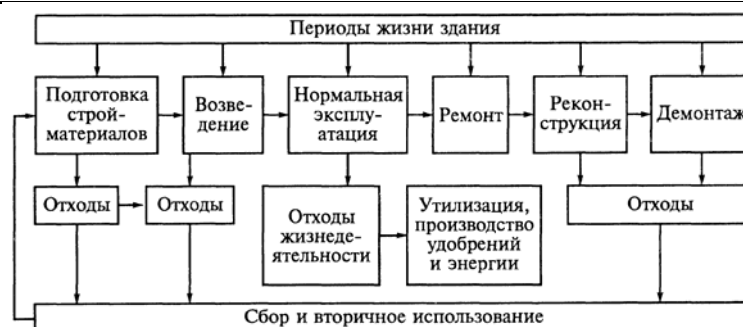


Рис. 1. Типичный жизненный цикл здания, включающий управление отходами

Оценка жизненного цикла и его стоимости является параметром, по которому отбирается наиболее эффективный материал и объект, удовлетворяющий основные требования устойчивого строительства. При оценке жизненного цикла необходимо учитывать образовавшиеся в ходе строительства, эксплуатации, реконструкции, ремонта и демонтажа отходы, которые следует отправлять на вторичное использование или переработку. В ходе разработки вариантов проекта следует учитывать обширный комплекс мероприятий по архитектурно-строительной экологии, городской экологии, экологии материалов и др. для того, чтоб обеспечить устойчивое строительство.

При оценке рассматриваются экономические, экологические, культурные и социальные факторы устойчивого строительства. Её целями могут являться альтернативное сопоставление вариантов для выбора подходящего или улучшения единственного варианта процесса или объекта. Наиболее грамотная стратегия состоит в том, чтобы приумножить влившуюся в здание энергию (сделать конструкции прочнее, использовать дополнительную изоляцию, сложные ограждения), уменьшив затраты на дальнейшую эксплуатацию, обслуживание и реконструкцию объекта.

Очень важным вопросом является назначение типа внутренней отделки. Отделка, которую трудно снять, может спровоцировать выделение вредных веществ, от которых сложно избавиться в ходе ремонта (очистки) и потребовать частой замены, а это значительно увеличивает пагубное воздействие на экологию. Если отделка легко удаляется, то стоимость жизненного цикла сокращается.

Каждый проектировщик обязан понимать, при каких условиях лучше использовать (не использовать) какой-либо материал (сталь, древесина, бетон), откуда и как лучше подвести инженерные коммуникации (централизованные сети, местные поставки или возобновляемые источники), утилизировать и перерабатывать жидкие и твёрдые бытовые отходы (централизованно или при помощи местных установок) и т.д.

Сложность оценки жизненного цикла объясняется довольно продолжительной эксплуатацией зданий и сооружений (более ста лет). Анализ жизненного цикла подразумевает

прогнозируемую стоимость различных материалов и энергетических ресурсов спустя десятки и сотни лет после введения в эксплуатацию. Таким образом, такие стоимости могут не соответствовать настоящим, которые зависят от различных сценариев (путей) развития мира, страны и города. В особенности это имеет отношение к стоимости энергетических ресурсов, так как их запасы ограничены. Данный анализ оправдывает только то, что он применяется для всех сопоставляемых вариантов материалов и зданий (сооружений) в целом. Одно из важнейших мест в ходе оценки жизненного цикла занимают проблемы, связанные с экологией, которые зачастую не могут быть расценены количественным способом. К примеру, сохранение при строительных работах поверхности земли, поддержание биологического разнообразия на территории строительства, экономия ресурсов не всегда можно оценить в экономическом ключе, либо такая оценка имеет случайный характер и определяется уровнем развития страны и экологическим мышлением. Оценка экологических проблем в ходе выбора варианта объекта помогает определить нагрузку на окружающую среду от тех или иных работ и уровень влияния различных этапов жизненного цикла на эти нагрузки.

Как уже было замечено, в выборе материалов следует стремиться их экономических и экологических характеристик. При этом необходимо обращать внимание на два параметра экологической оценки жизненного цикла материала: создание безопасного для здоровья и удобного места проживания (окружающей среды) и уменьшение объёма используемых природных ресурсов.

Строительные материалы, которые сокращают объём используемых природных ресурсов и имеют продолжительный период эксплуатации либо имеют возможность использоваться многократно, вносят свою долю в устойчивое строительство и формирование благоприятной для здоровья среды проживания. Выделяют следующие параметры для выбора материалов:

1). Требуемый объём для строительства. При выборе материалов предпочтение нужно отдать тем, требуемое количество которых меньше количества альтернативных, то есть покупать следует меньшее число изделий.

2). Возможность многократного использования. Сборно-разборные элементы, окна, двери и другие

изделия, которые легко демонтируются, а также некоторые архитектурные элементы из стекла и металла могут быть отложены и использоваться не один раз.

3). Способность подвергаться переработке. Существует как минимум три типа переработанного материала:

- материал, потерявший возможность работать по первоначальному назначению;
- промышленные отходы, не способные многократно использоваться в аналогичном процессе, к примеру, шлак, который получают при плавлении металлов и минералов;
- излишки материалов, полученные при производстве той или иной работы, к примеру, остатки после отделки.

4). Возобновляемость. К возобновляемым материалам относят древесину, растительные волокна, шерсть и другие материалы, являющиеся воспроизводимыми в течение ограниченного временного промежутка (пару десятков лет или даже меньше).

5). Целесообразность использования в данной местности. Различные типы зданий и материалов предпочтительней использовать при тех или иных климатических характеристиках разных регионов. К примеру, возводить массивные стены необходимо в тех регионах, где каждый день можно заметить большие колебания температуры.

6). Стоимость жизненного цикла и требования при обслуживании. На протяжении всего периода эксплуатации объекта, который может достигать ста и более лет, необходимо обслуживать и менять некоторые материалы. В связи с этим первоначальное применение более дорогих материалов, способных в дальнейшем избавить от дополнительных затрат при обслуживании, может быть более целесообразно.

7). Возможность восстановления и рециркуляции. После окончания нормативного срока эксплуатации материалы должны быть восстановлены или переработаны. Следовательно, очень значима потенциальная пригодность пластмассы, металла, древесины, стекла, каменной кладки к переработке.

Изделия из металла могут подойти для повторного использования, если их можно демонтировать (отделить от здания) для рециркуляции.

Пластмассы в большей степени пригодны для повторного использования, но при их разнообразии сложно выделить определённый вид, что существенно затрудняет их сбор.

Изделия из чистого стекла легко определить на повторное использование.

Твёрдая древесина также пригодна для этого при условии, что столярные изделия и деревянные элементы можно легко разобрать.

Бетон, глина, каменная кладка и керамические изделия реже подвергается повторному использованию. Некоторая рециркуляция данных материалов может производиться только после

поломки изделий из них. Таким способом полученный щебень можно использовать при прокладке тротуаров и дорог или в качестве заполнителя в бетоне низкой прочности.

Строительные материалы оказывают большое влияние на атмосферу внутри помещения. Плохой воздух в помещениях можно объяснить различными загрязнителями, которые поступают снаружи и изнутри, в том числе в виде частиц размером меньшим, чем отверстия в фильтрационных установках. Загрязнение атмосферы является следствием разнообразной деятельности человека, работы устройств и оборудования, а часть загрязняющих веществ выделяют строительные материалы, в том числе:

- летучие органические вещества, которые выделяют внутренние отделочные материалы и их составляющие;
- летучие вещества, которые испускают время от времени используемые чистящие средства для плитки, ковров, пола и т.д.
- волокна, которые попадают в атмосферу от текстильных изделий, изоляционных материалов и т.д.
- биоматериалы (грибки, бактерии), почва, газы, образовавшиеся в ходе жизнедеятельности;
- микрочастицы средств личной гигиены, в том числе различные распылители.

Эти загрязняющие вещества влияют на здоровье и производительность труда человека. Не следует подвергать возможной угрозе, связанной с выделением вредных веществ материалами, строителей, работников обслуживающих организаций, жителей ни на одном из этапов жизненного цикла здания или инженерного сооружения (строительство, реконструкция, эксплуатация, разрушение). Информировать об опасности в процессе строительства какого-либо материала обязана фирма-изготовитель. В соответствии с законом, такая информация должна быть известна о любом материале, опасном для здоровья. Сведения о риске для проживающих в здании людей на протяжении нескольких месяцев после завершения строительства получить довольно затруднительно, так как информацию о выделении вредных веществ в это время производитель зачастую не знает.

Еще одни проблемы, относящиеся к загрязнению окружающей среды строительными материалами, появляются после разрушения объекта.

Одна из них является следствием, так называемого эффекта оседания. Материалы, обладающие грубой поверхностью и пористой структурой, имеют микроскопические впадины и выпуклости, которые имеют возможность поглощать частицы, содержащиеся в воздухе. Оседание загрязняющих веществ на такого рода поверхности может быть весомым. Материалы с твердой и гладкой поверхностью и плотной структурой обладают низким эффектом оседания.

Высокая температура и влажность материалов, как правило, оказывают негативное влияние на их

свойства и увеличивают эмиссию загрязнителей. Кроме того, влажность способствует росту числа микробов.

Неверные способы чистки могут разрушить поверхностный слой материала и ввести частицы изделий для чистки в него. Мягкое покрытие полов (к примеру, ковролин) восприимчиво к этому. Покрытия с высокой плотностью малыми размерами швов не требуют частого обслуживания, так как не особо склонны к загрязнениям.

Есть предположение, что природные традиционные строительные материалы – это лучший экологический выбор, они не так опасны для здоровья, как искусственно полученные синтетические материалы. Согласиться или не согласиться с таким высказыванием возможно после проведения изучения эмиссии от этих материалов.

В соответствии с принципами экологичного домостроения выбор материалов должен основываться на оценке жизненного цикла и таких привычных характеристиках, как стоимость, трудоёмкость при монтаже, эстетика, пригодность и т.д.

Главенствующее место по экологичности занимает древесина и изделия из неё как наиболее распространённый природный строительный материал, который позволяет получать прочные, лёгкие, не гниющие и негорюемые (после обработки специальными составами) конструкции. До того, как стать строительным материалом, дерево так же приносит пользу окружающей среде. Во время роста оно служит естественным фильтром, выделяя в атмосферу полезные для людей вещества (фитонциды) и обогащая её кислородом, создаёт благоприятные условия проживания для различных видов живых существ. Лесные массивы, которые используются (в разумных пределах) для производства строительных материалов, можно полностью восстановить, так как природа не обращает внимания на вырубку небольшого количества лесопосадок. Модифицированная древесина является достаточно высокопрочным материалом, который возможно армировать. Ограждающие конструкции из древесины пропускают воздушный поток, тем самым обеспечивая в помещениях благоприятный микроклимат. В связи с этим дерево следует отнести к одному из наиболее перспективных природных строительных материалов.

На второе место по экологичности по праву принадлежит керамическим строительным материалам и изделиям из глины: необожжённый кирпич из глины соломы и песка, обожжённый кирпич, крупные по размеру пустотелые керамокамни, используемые для стен и перекрытий, плитка, черепица и т.д. Самыми энергоёмкими из них являются кирпичи из сухой глины, где армирующим материалом служит солома, которые уже много столетий применяются при постройке зданий и сооружений с разным количеством этажей в засушливых климатических зонах или в условиях надёжной защищённости от влаги. Главное

преимущество данного строительного материала состоит в его полном вторичном использовании, например, как добавку в почву для роста растений. Но при применении таких кирпичей возникает проблема: как обеспечить долговечность построенного из них здания. Её можно решить при помощи надёжной кровли и гидроизоляционных материалов, защищающих от грунтовых вод.

Последние десятилетия можно считать временем второго рождения кирпичей, черепицы и больших тонкостенных керамоизделий для стен, колонн, перекрытий. Созданы автоматические линии по изготовлению большеразмерных (высотой 2,5-3 м) керамических камней с большой теплозащитной способностью и керамоизделий для оставляемой опалубки в монолитных перекрытиях и железобетонных колоннах. Керамические изделия и кирпич относятся к рециклируемым материалам, пусть и не в полном размере (при их производстве и переработки необходимы большие энергозатраты).

Из числа не возобновляемых материалов можно особо отметить стекло и алюминий как практически полностью (на 90%) рециклируемые материалы. При их вторичном получении требуется существенно меньше энергии, чем при первичном.

Уменьшить расход энергии при изготовлении экологически чистых строительных материалов – это очень важная задача, так как её решение позволит не только снизить стоимость материала, но сократить вредное воздействие на окружающую среду. Так, для первоначального изготовления 1м³ алюминия потребуются большие затраты энергии – 7250 кВтч (при получении 1 м³ кирпича требуется 500 кВтч, древесноволокнистых плит – 800, дерева – 180). Столь существенные затраты энергоресурсов при производстве алюминия делают его неэкологичным материалом, однако для его вторичного получения энергии расходуется уже только около 600 кВтч, что в свою очередь даёт возможность отнести алюминий к условно биопозитивным материалам.

Хорошим примером применения местного природного материала является строительство малоэтажных жилых домов с соломенными стенами (возвращение к жизни давно забытого, но всем известного способа). Бескаркасный жилой дом при помощи блоков из прессованной соломы впервые был построен в XIX веке. В начале XX века в США из соломенных блоков строились не только жилые дома, но и школы, и различные постройки для хозяйственных целей. В России строительство из соломенных блоков приобрело новое начало на Урале. Первый такой дом был построен в деревне Маяк в 1994 году.

При современных требованиях стены таких домов зачастую возводят с каркасом из дерева, хотя можно применять и бескаркасный метод строительства. Высушенные соломенные блоки делают при помощи пресса. После того, как солома уплотнится, её необходимо связать пластиковыми скрепами. Небольшой вес блока (25-40 кг) даёт возможность класть его без применения

дополнительного механизма, то есть вручную. Для увеличения жёсткости стены кладку из блоков прошивают арматурой. При кладке блоки между собой соединяют цементным раствором. В местах примыкания блоков с фундаментом укладывают надёжную гидроизоляцию. Кровельное покрытие должно выступать от стены в виде навеса вылетом более 0,5 м для предохранения конструкций от увлажнения. Стены покрываются слоями штукатурки как с внешней стороны, так и с наружной, для повышения защитных, эстетических и прочностных характеристик. Штукатурка по сетке с гидроизоляцией наиболее приемлемый метод для такого рода стен.

Белорусской академией экологии разработан проект экологичного дома со стенами из соломы, которая укладывается в тюки, соединяемыми раствором. Еще один вариант – это смешение соломы с раствором из глины. Дом, построенный из такого материала не отличишь по внешнему виду от какого-либо другого. Доктор П. Даунтон, консультант по проблемам экологии городов, в 2004 году воспользовался соломенными блоками в строительстве зданий экоквартала в Австралийском городе Аделаида. Главный недостаток стен из соломы заключается в их малой прочности и

возможности оседать, поэтому лучше всего применять каркасные конструкции.

В России учёные разработали технологию изготовления кирпича и утеплителя из прессованного торфа. Высота здания при использовании такого материала может достигать трёх этажей.

Отбор наиболее экологически чистых материалов в наше время, когда, с одной стороны, к ним возрастают требования, а с другой, повышается рост числа вредных искусственных материалов, является сложной задачей экопроектирования и создания здоровой, экологически чистой окружающей среды. Маркетологи изготовителей, к сожалению, зачастую пытаются представить покупателям неточную или даже неверную информацию о степени экологичности того или иного материала (утверждение «экологически чистый материал» можно увидеть фактически в каждом рекламном ролике или плакате). Поэтому самостоятельный осознанный, экономически и экологически обоснованный выбор строительных материалов так важен. Для того чтоб сделать такой выбор, необходим тщательный анализ критериев материала на всех этапах изготовления и в процессе эксплуатации (таблица 1.).

Таблица 1.

Показатели, оказывающие влияние на выбор материала

Этап жизненного цикла	Показатели экологичности материала
Добыча и подготовка исходных компонентов	Наличие большого количества исходного компонента в земной коре Возобновляемый исходный материал Материал хорошо поддаётся повторному использованию, не требует больших затрат энергии при добыче и подготовке Добыча и подготовка не ведут к загрязнению окружающей среды Исходный материал (сырьё) не выделяют загрязнений
Изготовление материала	Минимальные затраты энергии при изготовлении Минимальное загрязнение среды при изготовлении Минимальное количество отходов при изготовлении
Эксплуатация, использование, ремонт	Оздоровление среды зданий Отсутствие необходимости использования вредных сопутствующих материалов (клеев, растворов и др.) Отсутствие какого-либо загрязнения среды Простые технологии при строительстве, отделке, эксплуатации Максимальная долговечность, пригодность для ремонтов
Утилизация	Простая, наиболее полная и неэнергоёмкая утилизация, в том числе с получением теплоты при сжигании
Повторное использование	Возможность повторного использования в какой-либо форме

ВЫВОД

В современных реалиях всё ещё достаточно проблематично отобрать на сто процентов экологически чистые материалы для всех конструктивных элементов здания и его отделки и при всём этом сохранить низкую стоимость строительных работ. Поэтому при отборе материалов и их сравнении преимущество отдаётся наиболее экологичным. Очень полезно использовать оценку жизненного цикла материала, позволяющую провести более подробный анализ экологической и экономической эффективности, учитывая не только единовременные затраты на приобретение

материала, но и все затраты, которые обеспечивает правильный выбор.

Экологические критерии потихоньку становятся более значимыми при выборе альтернативных вариантов стройматериалов. Строительная отрасль в рамках всего мира потребляет наибольшее число материалов, производимых человеком. Во время добычи и изготовления образуется достаточно большое количество отходов производства. Разные материалы значительно отличаются друг от друга соотношением объёма исходного сырья и

получаемого продукта. Такое соотношение – это важнейший показатель экологичности материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тетиор А.Н. Городская экология / Б.С. Истомин, Г.М. Каганов / – Москва: Академия, 2008. – 336 с.
2. Аврорин А.В. Экологическое домостроение. Строительные материалы: Аналитический обзор / И.А. Огородников, Б.В. Нестеров. – Новосибирск: СО РАН. ГПНТБ, 1999. – 72 с.
3. Строительные материалы: учебно-справочное пособие / Г.А. Айрапетова, Г.В. Несветаева. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 603 с.
4. Даунтон П. Экополис: Архитектура и города против изменения климата. Аделаида: Springer, 2009. – 607 с.
5. Попов К.Н. Строительные материалы и изделия / К.Н. Попов, М.Б. Каддо – Москва: Высшая школа, 2005. – 438 с.
6. Некрасов А.С. Эффективность комплексного использования дерева в строительстве / А.С. Некрасов, В.К. Голубев. – Москва: Стройиздат, 1985. – 335 с.
7. Викторов А.М. Природный камень в архитектуре / А.М. Викторов, Л.А. Викторова. – Москва.: Стройиздат, 1983. – 191 с.
8. Киреева Ю.И. Современные строительные материалы и изделия / Ю.И. Киреева. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 245 с.
9. Зайцева И. А. Современный ремонт дома и квартиры. Новые материалы и технологии работ /

И.А. Зайцева. – Москва: Рипол Классик, 2013. – 574 с.

REFERENCES

1. Tetior. City Ecology / B.S. Istomin, G.M. Kaganov / - Moscow: Academy, 2008. - 336 p.
2. Avrorin A.V. Ecological house construction. Building Materials: Analytical Review / I.A. Ogorodnikov, B.V. Nesterov. - Novosibirsk: SB RAS. SPSTL, 1999. - 72 p.
3. Building materials: a manual / G.A. Airapetova, G.V. Nesvetaeva. - Rostov-on-Don: Phoenix, 2004. - 603 p.
4. Downton P. Ecopolis: Architecture and cities against climate change. Adelaide: Springer, 2009. - 607 with.
5. Popov K.N. Construction materials and products / K.N. Popov, M.B. Caddo - Moscow: Higher School, 2005. - 438 p.
6. Nekrasov A.S. Efficiency of complex use of wood in construction / A.C. Nekrasov, V.K. Golubev. - Moscow: Stroiizdat, 1985. - 335 p.
7. Viktorov A.M. Natural stone in architecture / A.M. Viktorov, L.A. Viktorova. - Moscow.: Stroiizdat, 1983. - 191 p.
8. Kireeva Yu.I. Modern building materials and products / Yu.I. Kireeva. - Rostov-on-Don: Phoenix, 2010. - 245 c.
9. Zaitseva IA Modern repair of a house and an apartment. New materials and technologies of work / I.A. Zaitsev. - Moscow: Ripol the Classic, 2013. - 574 c.

Kashina I.V., Levenko A.D., Samoilova A.Y

THE PROBLEM OF ENVIRONMENTAL BUILDING MATERIALS. ANALYSIS OF THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS AND FACILITIES

Summary. The construction industry has the greatest impact on the environment. Buildings constructed in the period of industrialization, not only do not correspond to present views of environmental health, but consume too much energy and produce large amounts of waste, leading to deterioration in the quality of life of the population. This article will talk about some of the problems in the field of ecology that occurs when modern construction. It is shown, both from the point of view of environmental performance to evaluate a building throughout its life cycle.

Key words: life cycle of building, ecological building materials, green building

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ В
СОВРЕМЕННОМ МЕГАПОЛИСЕКашина И.В.¹, Забейворота В.², Симакова А.³

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

¹ e-mail: lisa.858@yandex.ru² e-mail: zabeyvorota1995@mail.ru³ e-mail: simakova000@gmail.com

Аннотация. В статье анализируется опыт использования кинетических элементов архитектуры в современном городском строительстве. Выявлены основные причины использования динамических зданий и фасадов в архитектуре мегаполисов, а так же рассмотрена проблема воздействия кинематической архитектуры на здоровье человека.

Ключевые слова: кинематическая архитектура, динамическая архитектура, кинетика, интерактивный фасад.

ВВЕДЕНИЕ

Городская среда становится все более дружелюбной для человека, заброшенные эстакады превращаются в парки, а новые здания не только отвечают высоким требованиям экологичности, но и начинают двигаться! Этому способствует интересное передовое направление - кинетическая архитектура.

Кинетическая архитектура – это архитектура к которой относятся здания, имеющие подвижные части на фасаде или этажи, способные менять свое положение, не нарушая при этом общую структуру сооружения. Иначе, это направление в архитектуре можно назвать динамическим и отнести его к архитектуре будущего.

Предметом исследования данной статьи является опыт применения кинематической архитектуры в строительстве современных мегаполисов. **Объект исследования** – кинематическая архитектура. **Актуальность** данной темы обусловлена тем, что человек нуждается в постоянном изменении окружающей среды. Кроме того в 21 веке остро стоит вопрос экологической сохранности нашей планеты.

**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ
И МЕТОДОВ**

В исследовании основных причин использования кинетической архитектуры лежит анализ публикаций отечественных и зарубежных теоретиков и практиков архитектурно-градостроительной мысли и деятельности. Исследование и структуризация теоретических концепций опирается на системный подход в описании предпосылок нового архитектурного движения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Кинетическую архитектуру от обычной отличают три особенности:

постоянно изменяющаяся форма здания, которая приспосабливается к положению солнца и направлению ветра, что позволяет, например,

просыпаться под восход солнца в спальне, а вечером в ней же наблюдать закат.

динамический метод строительства. Как правило, такие здания сделаны из сборных элементов, которые производятся на заводах и поступают на строительную площадку уже законченными. Причем, все основные элементы, создающие движение, из современных металлических материалов: стали, алюминия, карбона и прочих. Такие здания прочные и гибкие.

сочетание современных технологий с охраной окружающей среды, что позволяет кинетическим зданиям производить энергию для автономного питания. [1]

Современные архитекторы используют кинетические элементы по нескольким причинам. Первая — исследовать возможности природной энергии в строительстве. Преобразование солнечного света и воздушных потоков в движущую силу архитектуры в таких масштабах стало возможно только в последние 10 лет, и это тесно связано с развитием строительных технологий и дизайна.

Сегодня кинетика применяется не только в зрелищной архитектуре: подвижные элементы встречаются в меняющих уклон лестницах и полах, пандусах, солнечных батареях и ветряных мельницах. В 2015 году в Париже архитектором Винсентом Каллеботта была предложена концепция «Умный город» (Smart City, Paris 2050), которая включает в себя Mountain Tower (досл. Башня-гора) и другие небоскребы, вдохновленные природными формами. Во всех зданиях планируется использовать технологии «зеленого строительства» – пассивные системы солнечного отопления и охлаждения, системы переработки дождевой воды и «живые» зеленые стены, способные наполнить городскую атмосферу свежим воздухом.

Отдельного внимания в рамках данного проекта с точки зрения воплощения идей кинематической архитектуры достойны восемь подвижных экологических башен, которые будут

преобразовывать солнечную энергию в электричество и подогревать воду для городских жителей. В качестве отделочных панелей футуристических небоскрёбов используются генераторы энергии, собирающие солнечный свет и производящие биотопливо. Свет и энергию производят также ветровые турбины. Здания имеют многофункциональное назначение и поощряют интеграцию жилых и коммерческих помещений. Расположение квартир, офисов и досуговых центров в нескольких минутах ходьбы друг от друга устраняет необходимость ежедневных поездок, что в свою очередь снижает загрязнение воздуха. [2]

Отдельного внимания в рамках данного проекта с точки зрения воплощения идей кинематической

архитектуры достойны восемь подвижных экологических башен, которые будут преобразовывать солнечную энергию в электричество и подогревать воду для городских жителей. В качестве отделочных панелей футуристических небоскрёбов используются генераторы энергии, собирающие солнечный свет и производящие биотопливо. Свет и энергию производят также ветровые турбины. Здания имеют многофункциональное назначение и поощряют интеграцию жилых и коммерческих помещений. Расположение квартир, офисов и досуговых центров в нескольких минутах ходьбы друг от друга устраняет необходимость ежедневных поездок, что в свою очередь снижает загрязнение воздуха. [2]



Рис. 1. Проект небоскрёбов в концепции «Умный город». Париж

Источник: http://mirum.ru/news/world_trend/energoberezhenie/zelyenyi_i_umnyy_parizh_2050_glazami_arkhitekora/



Рис. 2. Проект небоскрёбов в концепции «Умный город». Париж

Источник: <http://mymodernmet.com/vincent-callebaut-paris-smart-city/>

Еще одним примером масштабного кинетического проекта можно назвать небоскрёб Дэвида Фишера (David Fisher), идею на который он запатентовал еще в 2004 году. Это 59-этажное вращающееся чудо динамической архитектуры. Здание представляет собой сборную

конструкцию из стальных, алюминиевых конструкций, нанизанных на бетонный стержень. Оно постоянно будет находиться в движении, меняя форму, т.к. каждый этаж будет вращаться независимо, придавая зданию новый вид с каждым поворотом. Согласно Фишеру именно эта

особенность здания обеспечит высокую устойчивость к землетрясениям.

В данном проекте предусмотрен характерный для кинематической архитектуры динамический метод строительства: новый небоскреб будет первым зданием такого размера, произведённым на заводе. Каждый этаж, состоящий из 12 отдельных

секций, снабженный водопроводом, электрическими соединениями, системами кондиционирования воздуха, и т.д. – все это будет изготовлено на заводе. Эти модульные элементы будут установлены на определенной основе или стержне здания в центре башни



Рис. 3. Проект небоскребов Д. Фишера

Источник:

http://www.dynamicarchitecture.net/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=86&lang=eng



Рис. 4. Модульные элементы небоскреба Д.Фишера

Источник:

http://www.dynamicarchitecture.net/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=86&lang=eng

80-этажное здание будет полностью питаться энергией солнца и ветра. И архитектор утверждает, что оно будет способно генерировать в 10 раз больше энергии, чем потребуется для его снабжения, таким образом, превращаясь в здание

позитивной энергии. На крыше планируется установить солнечные панели, кроме того, все 48 ветровых турбин будут размещены между вращающимися этажами, таким образом, что будут практически невидимы. [3]

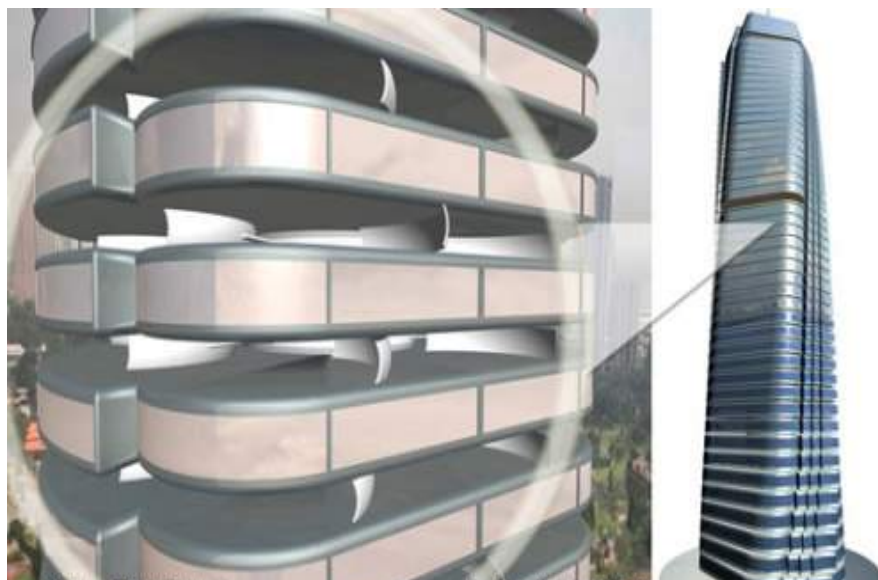


Рис. 5 Конструкция вращающихся этажей небоскреба Д.Фишера

Источник:

http://www.dynamicarchitecture.net/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=86&lang=eng

Второй причиной использования элементов кинетической архитектуры в современном строительстве является эстетика. Примером совместной работы синтеза искусства и новых технологий будет динамическая инсталляция «Риф», созданная Робом Леем и Джошуа.

Эта протяженная конструкция была собрана из металлических чешуйчатых элементов, которые

способны воспроизвести естественные движения обитателей морских глубин. Такой эффект достигается тем, что некоторые металлы способны менять свою конфигурацию под воздействием температуры. Действие происходит на молекулярном уровне, поэтому процесс изменения конфигурации конструкции получился близким движению растений. [4]

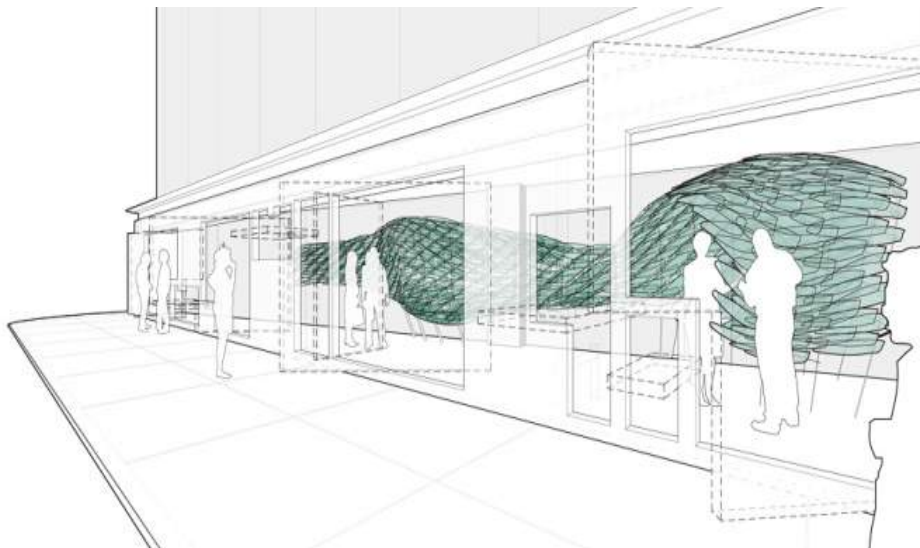


Рис. 6. Проект конструкции из металлических чешуйчатых элементов инсталляции «Риф»

Источник: http://architime.ru/specarch/rob_ley_/reef.htm#1.jpg



Рис. 7. Динамическая инсталляция «Риф»

Источник: http://architime.ru/specarch/rob_ley_/reef.htm#1.jpg

Человек нуждается в постоянном изменении окружающего пространства (смена времен года, климата, места жительства и т.п.). Несмотря на то, что здания динамической архитектуры имеют экологический посыл, эти сооружения обладают высокой зрелищностью. Такие здания новая ступень развития архитектурного искусства, своеобразная философия, меняющая наш взгляд на внешний вид городов, рутинность их образов и быт. [5]

Рассмотрим здание «Май-Сентябрь» архитектора Роба Лей. Сооружение способно менять цвет фасада с синего на желтый. Эффект стал возможным благодаря линзовидным фотографиям, которые создают иллюзию изменения, поэтому такой стрит-декор не нуждается в электроэнергии. При помощи написанного программного обеспечения Роб Лей смог вычислить, каким образом расположить 7000 алюминиевых панелей, имеющих только два цвета так, чтобы оттенки и рисунок фасада могли меняться, когда люди проходят мимо. Идею смены цвета архитектор позаимствовал у окружающей природы. [6]

Третьей причиной использования элементов кинетической архитектуры является здоровье человека. В современных мегаполисах атмосфера города оказывает огромное влияние на психическое и физическое здоровье человека. Атмосфера спальных районов становится гнетущей, а в

социальной среде преобладает идея «прямого угла». Монотонность городского ландшафта, преобладание серого цвета наводит на человека тоску, усталость, безысходность. Здания, лишённые каких-либо деталей могут вызывать депрессию, а также способствовать развитию эпилепсии, в то время как яркие краски, интересные детали повышают работоспособность, поднимают настроение, снимают стресс.

Основываясь на статистических данных современных городов можно сделать вывод, что на физическое здоровье человека влияет его окружающая среда и образ жизни. Архитектура, не отражающая в себе принцип золотой пропорции, плотный электромагнитный смог, в котором буквально вынужден купаться человек, загрязнённый воздух, шум в широком спектре частот, включая инфразвуковую составляющую и т.д. На сегодняшний день свыше 60 процентов людей, проживающих в мегаполисе, испытывает чрезмерное звуковое, ультразвуковое, инфразвуковое воздействие, а уровень шума только возрастает. Шумовое загрязнение одна из более актуальных проблем экологии города. Человек воспринимает шум улиц, машин, населения и самого здания. [7]



Рис. 8. Динамическая инсталляции «Май-Сентябрь»
 Источник: <http://archi-work.ru/rob-ley-designs-an-interactive-art-facade/>

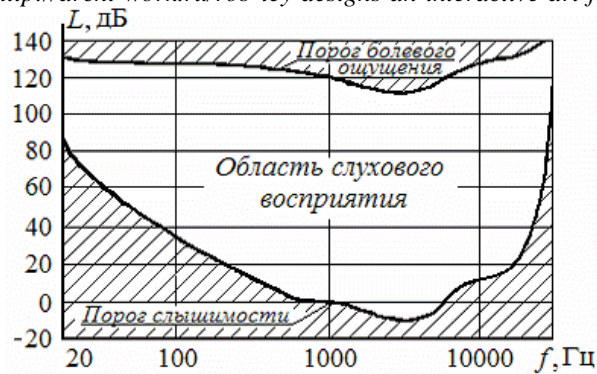


Рис. 9. Область слухового восприятия человека



Рис.10. Средства коллективной защиты от шума

В современной кинематической архитектуре активно используются архитектурно-планировочный и акустические средства коллективной защиты от шума, что минимизирует шумовое загрязнение окружающей среды.

Изучив статистические данные в районах типовой застройки, мы наблюдаем самый высокий процент самоубийств, несчастных случаев и криминальных происшествий. Кроме того, специалистами давно уже замечено, что детская преступность в «спальных районах» Москвы примерно в 7 раз выше, чем в её центре. Неблагоприятная визуальная среда, а также шум и вибрации ухудшают ситуацию.

Поэтому кинетическая архитектура обладает современными технологиями, которые учитывают как физическое, так и психологическое состояние жителей мегаполиса. Человек желает стать ближе к природе, что проявляется в дизайне, выборе материалов, архитектурных технологиях.

ВЫВОДЫ

Применение кинетических принципов в архитектуре современных мегаполисов обусловлено возможностями использования «зеленой энергии» для обеспечения зданий, а так же все более искушенными эстетическими требованиями человека к городской застройке. Несмотря на то что сегодня кинетические проекты по большей части остаются на бумаге, будущее — за архитектурой, преобразующей энергию солнца, воды или света в городское зрелище. Уже в скором времени динамическая архитектура объединит в себе интеллектуальные инженерные решения, грамотную проектировку и привлекательный внешний вид.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Asefi, Transformable and Kinetic Architectural Structures, VDM Verlag Dr. Müller, Germany, 2010. pp.150-155
2. Зелёный и умный: Париж-2050 глазами архитектора [Электронный ресурс]// Mirum, 2016-Режим доступа: http://mirum.ru/news/world_trend/energoberezhenie/ze-lyenyu_i_umnyu_parizh_2050_glazami_arkhitektora

3. Dynamic project UAE [Электронный ресурс]// Dynamic Architecture, 2017 – Режим доступа: http://www.dynamicarchitecture.net/index.php?option=com_content&view=article&id=7%3Auae&catid=6%3Adynamic-projects&Itemid=15&lang=eng

4. Кинетическая инсталляция "Риф" - уникальный пример синтеза искусства и новых технологий [Электронный ресурс]//Особая архитектура, 2017-Режим доступа: http://architime.ru/specarch/rob_ley_/reef.htm#1.jpg

5. M. Schumacher, O. Schaeffer, M. Vogt, Move: architecture in motion-dynamic components and elements, Birkhauser, Germany, 2010.pp.40-48

6. Rob Ley designs an interactive art facade [Электронный ресурс]// archi-work.ru, 2017-Режим доступа: <http://archi-work.ru/rob-ley-designs-an-interactive-art-facade/>

7. J. Moloney, Designing Kinetics for architectural facades, Routledge, USA, 2011. pp. 78-84

REFERENCES

1. M. Asefi, Transformable and Kinetic Architectural Structures, VDM Verlag Dr. Müller, Germany, 2010. pp.150-155
2. Green and clever: Paris-2050 architect's eyes [An electronic resource]//Mirum, 2016 Mode of access: http://mirum.ru/news/world_trend/energoberezhenie/ze-lyenyu_i_umnyu_parizh_2050_glazami_arkhitektora
3. Dynamic project UAE [An electronic resource]//Dynamic Architecture, 2017 – Access mode: http://www.dynamicarchitecture.net/index.php?option=com_content&view=article&id=7%3Auae&catid=6%3Adynamic-projects&Itemid=15&lang=eng
4. Kinetic installation "Reef" - a unique example of synthesis of art and new technologies [An electronic resource]//Special architecture, 2017 Mode of access: http://architime.ru/specarch/rob_ley_/reef.htm#1.jpg
5. M. Schumacher, O. Schaeffer, M. Vogt, Move: architecture in motion-dynamic components and elements, Birkhauser, Germany, 2010.pp.40-48
6. Rob Ley designs an interactive art facade [An electronic resource]//archi-work.ru, 2017 - access Mode: <http://archi-work.ru/rob-ley-designs-an-interactive-art-facade/>
7. J. Moloney, Designing Kinetics for architectural facades, Routledge, USA, 2011. pp. 78-84

Kashina I.V., Zabeyvorota V. , Simakova A

INVESTIGATION OF REASONS FOR USE OF KINETIC ARCHITECTURE IN MODERN MEGAPOLIS

Summary. In article experience of use of kinetic elements of architecture in modern city construction is analyzed. Vyyalena the main reasons for use of dynamic buildings and facades in architecture of megalopolises, and the problem of impact of kinematic architecture on health of the person is also considered.

Key words: kinematic architecture, dynamic architecture, kinetics, interactive facade.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ МЕМОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ

Нестерова А.Н.¹, Шеина С.Г.², Федоровская А.А.³

¹ Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

^{2,3} Донской государственный технический университет,

Адрес: Площадь Гагарина 1, Ростов-на-Дону, 344000, Россия

*e-mail*¹: Lisa.858@yandex.ru,

*e-mail*²: rgsu-gsh@mail.ru,

*e-mail*³: bina-87@mail.ru

Аннотация. Геоинформационные системы (ГИС) давно стали универсальной средой для интеграции различных информационных технологий и построения многофункциональных информационно-аналитических и управляющих систем. Одним из основных элементов таких систем являются базы данных, строящиеся по совокупности взаимосвязанных показателей геоданных и возможностей пространственного анализа территории. В статье рассматривается процесс создания ГИС-проекта и использование результатов комплексного подхода к анализу территории для сохранения мемориальных комплексов.

Ключевые слова: мемориальный комплекс, геоинформационные технологии, мониторинг, градостроительный анализ, пространственный анализ, ГИС, базы данных, реконструкция, памятник, комплексная оценка.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы сохранения мемориальных комплексов, мониторинг их технического состояния и анализ местоположения тесно связаны с картографированием, которое может включать множество функций и блоков, несущих богатую информацию непосредственно о самих объектах, а также о состоянии окружающей среды рассматриваемой территории. Задачей картографирования объектов историко-культурного наследия, таких как мемориальные комплексы, является отображение общего ценного достояния, создание пространственного образа элементов социально-культурной и окружающей среды. Особенно важен тот факт, что ГИС-картографирование объектов историко-культурного наследия для создания базы данных о мемориальных комплексах Великой Отечественной войны и других памятных событий города с целью организации их учета и принятия мер для их сохранения и дальнейшего использования.

В г. Ростове-на-Дону, несмотря на богатое культурно-историческое наследие, ни карт, ни соответствующих ГИС и Интернет-ресурсов не предусмотрено. Поэтому разработка содержания, методики и технологии создания карт, ГИС-проекта «Мемориальные комплексы г. Ростова-на-Дону» и, в перспективе, ее Интернет-версии является актуальной задачей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

ГИС-технологии далеко не новый научно-информационный инструмент в градостроительстве и при решении задач реконструкции и сохранения историко-культурного

наследия. Они применяются как инструмент для обработки и анализа исследовательских данных и визуализации результатов исследований.

Геоинформационная система (ГИС) – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений, включает в себя соответствующий набор функциональных возможностей, средствами которых реализуются технологические операции, поддерживаемые программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением. ГИС характеризуются предметной областью информационного моделирования. Проблемная или объектная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами (научными и прикладными), среди них – инвентаризация ресурсов (в том числе реестр база данных), анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений. Интегрированные ГИС совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений (данных дистанционного зондирования) в единой интегрированной среде.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования – создание геоинформационной базы данных мемориальных комплексов для г. Ростова-на-Дону.

Задачи исследования:

- разработка структуры «геопаспорта» мемориального комплекса;
- создание базы данных в среде ArcGIS ESRI;

- нанесение мемориальных комплексов на электронную карту г. Ростова-на-Дону;
- оценка результатов проведенного исследования и возможностей ГИС-проекта.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Создание ГИС-проекта «Мемориальные комплексы г. Ростова-на-Дону», основанного на геоинформационных технологиях картографирования и создания баз данных, позволяет организовать комплекс геоданных историко-культурного наследия. Важным является обоснование выбора базовой и специальной тематической информации, а также разработка алгоритма геоинформационно-картографического исследования с целью пространственного анализа размещения мемориальных комплексов. Используемый подход, включает следующие составляющие:

- базы данных, строящиеся по совокупности взаимосвязанных показателей геоданных о расположении мемориальных комплексов и т.д.;

- картографические модели, основывающиеся на пространственном анализе размещения мемориальных комплексов посредством методов геоинформационного картографического моделирования;

- сопоставления местоположения мемориальных комплексов с результатами комплексного градоэкологического анализа территории, для выявления проблем и разработки проектных решений и мероприятий по сохранению объектов историко-культурного наследия.

Экологический мониторинг имеет немаловажную роль в оценке состояния мемориального комплекса, претерпевшего изменения под воздействием природных и антропогенных факторов. Цель экологического мониторинга - получение достоверной информации, которая используется в дальнейшем для предотвращения и уменьшения влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на мемориальный комплекс в целом.

Система мониторинга включает в себя основные процедуры, представленные на рисунке 1:

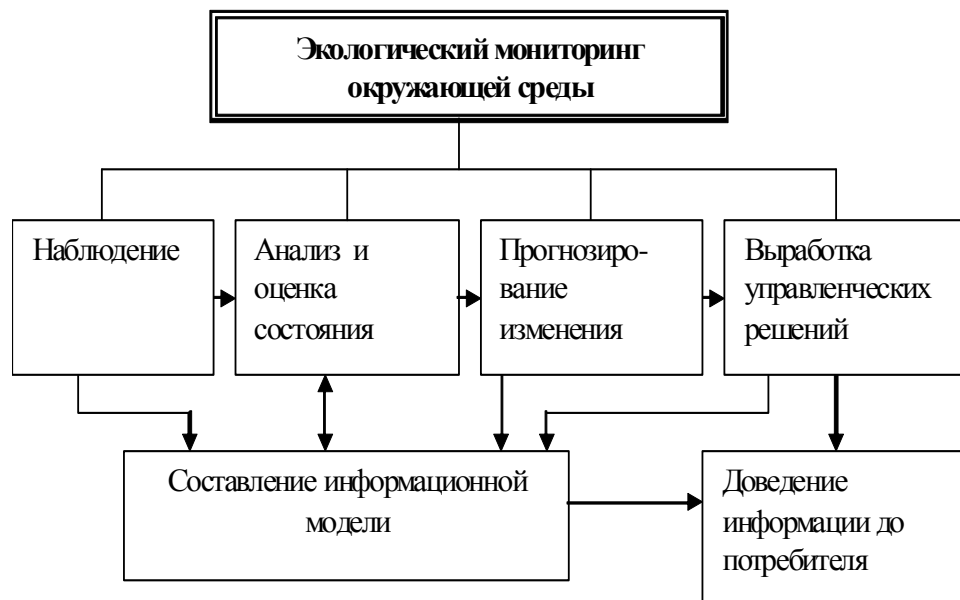


Рис. 1 – Система экологического мониторинга окружающей среды

Экологические факторы приводят к ускоренному разрушению, имеющему физико-химический и механический характер, что свою очередь приводит к снижению несущей способности отдельных конструкций и всего сооружения в целом. Ухудшение технического состояния мемориальных комплексов, соответственно, происходит в результате изменения физико-химических свойств материалов, а также изменения их размеров и форм. В таком случае комплексный градоэкологический анализ территории позволяет производить оценку воздействия природных и антропогенных факторов, а также разработать комплекс мероприятий по снижению их влияния.

Информация о состоянии компонентов городской среды должна быть представлена количественными оценками концентрации вредных веществ, уровней шумового, магнитного и радиационного воздействий в соответствии с видами нормируемых параметров качества компонентов окружающей среды. Устранение разнохарактерности, несопоставимости результатов, выраженных в натуральных единицах (загрязнение воздушного и водного бассейнов и превышение ПДК; шум – в децибелах; электромагнитный фон – в в/м и т. п.), обеспечивается при расчете комплексных нагрузок на окружающую среду по укрупненным показателям. Для сопоставления

таких разных компонентов окружающей среды можно использовать метод балльной оценки.

Для проведения пространственного анализа размещения архитектурно-мемориальных комплексов (далее - АМК) на территории города

Ростова-на-Дону, в среде ArcGIS ESRI разработан проект «Мемориальные комплексы г. Ростова-на-Дону» содержащий в себе тематические слои электронной карты с базой данных основных мемориальных комплексов.

Таблица 1.

Состав базы данных ГИС-проекта «Мемориальные комплексы»

Наименование мемориального комплекса, фото
Место расположение, адрес
Архитектор, скульптор
Признаки функционального назначения
Признаки градообразующей значимости
Признаки характера использования
Признаки происхождения памятника
Материальные и нематериальные особенности мемориальных сооружений



Рис.2 – Электронная карта размещения АМК на территории города Ростова-на-Дону

Электронная карта проекта представлена на рис. 2. База данных включает в себя 12 АМК с привязкой к карте. Каждый такой объект имеет «геопаспорт», включающий многоплановую информацию: населенный пункт, административная принадлежность, точные географические координаты, описание привязки к местности, тип объекта, его название, текст на объекте, состояние объекта, фотографии, карта местоположения. По каждому из объектов в базу данных проекта в ArcGIS ESRI внесены основные характеристики:

Разработанный проект позволит:

- произвести комплексную оценку территории города Ростова-на-Дону по определенным параметрам;
- оценить условия территориально-пространственного размещения АМК;
- произвести классификацию АМК по всем признакам;

- выделить приоритетные территории для создания новых и/или реконструкции существующих АМК;

- разработать ряд предложений по сохранению и реконструкции АМК на территории Ростова-на-Дону, основанных на результатах комплексной оценки.

ВЫВОДЫ

Одним из приоритетов современной градостроительной науки является комплексный подход к анализу территории, ее состояния с точки зрения экологического и геологического риска, опирающийся не только на традиционные источники информации в виде инженерных изысканий и отчетов о состоянии окружающей среды, но и на использование естественнонаучных методов и информационных технологий. Исследовательский аспект данного проекта строится на системном подходе и опирается на теоретические и методологические основы тематического,

комплексного, топографического картографирования, пространственного анализа территории и результатов экологического мониторинга.

ГИС-технологии в данном исследовании выступают в качестве инструмента мониторинга технического состояния МК, учитывая его местоположение. Сформированная методика обследования МК, мониторинга и сопровождения в системе ArcGIS позволяет производить пространственный анализ всех памятников, комплексный анализ территории города для разработки мероприятий по обеспечению комфортной среды жизнедеятельности. Пространственный анализ позволяет определить существующую потребность в строительстве новых АМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хамавова А.А. Комфортная городская среда - условие устойчивого развития территории/ В сборнике: Научные аспекты современных исследований. Сборник статей международной научно-практической конференции. 2015. С. 25-27.
2. Щербина Е.В., Данилина Н.В. Градостроительные аспекты проектирования устойчивой городской среды/ Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11. С. 183-186.
3. Немтинов В.А., Горелов А.А., Горелов И.А., Немтинов К.В. Представление знаний в информационной модели объектов культурно-исторического наследия // Современные проблемы науки и образования. - 2011. - № 5.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4866> (дата обращения: 28.09.2017).
4. Шеина С.Г., Хамавова А.А., Псеунова С.Р. Концептуальные исследования проблем повышения качества городской среды/БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. № 6 (982). С. 50 -51.
5. Зильберова И.Ю. Особенности принятия организационно-технологических решений в условиях неопределенности//Научное обозрение. 2013. № 9. С. 586-589.
6. Сеферян Л.А., Зильберова И.Ю. Реформирование жилищно - коммунального хозяйства региона// «Строительство-2013»: Материалы Международной научно-практической конференции. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т. -С. 125 -127.
7. Цопа, Н. В. Особенности управления энергосбережением в инвестиционно-строительном комплексе// Строительство и техногенная безопасность. - 2016. - № 2 (54). - С. 54-59.
8. Осипов А. Ф. Разработка организационно-технологических моделей замены перекрытий в объектах недвижимости исторической застройки/А. Ф. Осипов, С. Ф. Акимов// Строительство и техногенная безопасность. -2009. -Вып. № 29. -С. 101-108.

9. Соколов Л.И., Щербина Е.В. Урбанистика и архитектура городской среды: учебник для студ. Учреждений высш. образования/Л.И. Соколов, Е.В. Щербина, Г.А. Малоян и др.]; под редакцией Л.И. Соколова. -М.: Издательский центр «Академия», 2014. -272 с.

10. Зильберова И.Ю., Героева А.М. Прогнозирование и диагностика технического состояния объектов коммунальной инфраструктуры//Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (ч.1) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074/

11. Хамавова А.А. Методика формирования инвестиционного паспорта муниципального образования субъекта РФ//Инженерный вестник Дона.-2013.-Т. 25.-№ 2 (25).

12. Матвейко Р. Б., Хамавова А. А. Геоинформационные инструменты развития территории//TERRA ECONOMICUS. -2012. -Вып. 2 -№ 12.

REFERENCES

1. AA Khamavova. Comfortable urban environment - a condition for sustainable development of the territory / In the collection: Scientific aspects of modern research. Collection of articles of the international scientific and practical conference. 2015. P. 25-27.
2. Shcherbina EV, Danilina NV Urban planning aspects of designing a sustainable urban environment / Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2014. No. 11. P. 183-186.
3. Nemtinov VA, Gorelov AA, Gorelov IA, Nemtinov K.V. Representation of knowledge in the information model of objects of cultural and historical heritage // Modern problems of science and education. - 2011. - No. 5 ; URL: <https://www.science-education.ru/en/article/view?id=4866> (reference date: September 28, 2017).
4. Sheina SG, Khamavova AA, Pseunova SR Conceptual studies of the problems of improving the quality of the urban environment / BLS: Bulletin of construction equipment. 2016. No. 6 (982). Pp. 50 -51.
5. Zilberova I.Yu. Features of the adoption of organizational and technological solutions in conditions of uncertainty // Scientific Review. 2013. № 9. P. 586-589.
6. Seferyan LA, Zilberova I.Yu. Reforming the housing and communal services of the region // "Construction-2013": Materials of the International Scientific and Practical Conference. Rostov n / a: Growth. state. builds. un-t. -FROM. 125 -127.
7. Tsopa, N. V. Features of energy-saving management in the investment and construction complex // Building and technogenic security. - 2016. - No. 2 (54). - P. 54-59.
8. Osipov AF Development of organizational and technological models for replacement of overlappings in real estate objects of historical buildings / A. F. Osipov, S. F. Akimov // Building and technogenic security. - 2009. -Vyp. No. 29.-С. 101-108.

9. Sokolov LI, Shcherbina EV Urbanistics and the architecture of the urban environment: a textbook for stud. Institutions of higher education. Education / LI. Sokolov, E.V. Shcherbina, G.A. Maloyan, etc.]; Edited by L.I. Sokolov. -M .: Publishing Center "Academy", 2014. -272 p.

10. Zilberova I.Yu., Geroyeva A.M. Forecasting and Diagnostics of the Technical Condition of Public Utilities Infrastructure // Engineering Bulletin of the

Don, 2012, №4 (Part 1) URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/n4p1y2012/1074/

11. AA Hamavova. Methodology for the formation of the investment passport of the municipal entity of the subject of the Russian Federation. / Engineering Bulletin of the Don.-2013.-Т. 25.-No. 2 (25).

12. Matveyko RB, Khamavova AA Geoinformation tools of territory development // TERRA ECONOMICUS. -2012. -Vyp. 2-No. 12

Nesterova A.N., Sheina S.G., Fedorovskaya A.A.

APPLICATION OF GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES WITH THE PURPOSE OF PRESERVING THE MEMORIAL COMPLEXES OF G. ROSTOV-NA-DON

Summary. Geoinformation systems (GIS) have long become a universal environment for the integration of various information technologies and the construction of multifunctional information-analytical and control systems. One of the main elements of such systems are databases, built on the basis of a set of interrelated geodata indicators and the possibilities of spatial analysis of the territory. The article considers the process of creating a GIS project and the use of the results of an integrated approach to the analysis of the territory for the preservation of memorial complexes.

Key words: memorial complex, geoinformation technologies, monitoring, town planning analysis, spatial analysis, GIS, databases, reconstruction, monument, integrated assessment.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕШЕНИЙ НА ПРОЕКТНОЙ ФАЗЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ

Шейна С.Г., Миненко Е.Н.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

e-mail: rgsu-gsh@mail.ru; minenkoevgenija@rambler.ru*

Аннотация. В статье представлена целевая функция формирования плана организационно-технологического обеспечения ресурсосбережения строительного объекта, а также математическая модель выбора оптимальных энергоресурсосберегающих решений в жилых зданиях на этапе проектирования. Описан алгоритм методики комплексной оценки эффективности реализации и выбора на этой основе энергоресурсосберегающих решений, обеспечивающих достижение наименьшей стоимости жизненного цикла здания при максимальной степени его экологичности, энергосбережения и комфортности.

Ключевые слова: энергоресурсосбережение, устойчивое развитие, жизненный цикл здания, оценка эффективности ресурсосберегающих решений.

ВВЕДЕНИЕ

Проектная фаза в большей мере в отличие от других этапов жизненного цикла (ЖЦ) здания определяет эффективность намеченного строительства: закладывает экономичность строительно-монтажных работ, обеспечивает надежность и требуемый уровень энергоэффективности здания.

Важным направлением проектирования, учитывающим положения концепции устойчивого развития, является разработка мероприятий, направленных на:

- снижение уровня потребления материальных и энергетических ресурсов;
- управление строительными отходами и отходами эксплуатации здания;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду [1]

как в процессе выполнения строительно-монтажных работ, так и в ходе дальнейшей эксплуатации здания.

Существующее на сегодняшний день разнообразие энергоресурсосберегающих решений (ЭРР) делает актуальным и значимым разработку новых и совершенствование существующих подходов к оценке эффективности ЭРР и выбору среди них наиболее оптимальных вариантов с учетом имеющихся ограничений (финансовых, технических и др.) по проекту.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы оценки эффективности реализации энергоресурсосберегающих решений в зданиях находятся в центре внимания ведущих российских ученых. Актуальность этого вопроса связана, прежде всего, с ограниченностью финансовых ресурсов у государства и собственников жилых домов, а также высокой стоимостью затрат на реализацию программ по ресурсосбережению и повышению энергетической эффективности объектов жилищного фонда.

Эффективность реализации энергоресурсосберегающих решений оценивается рядом показателей, наиболее распространенными из которых являются экономические.

Экономическая эффективность, критерием которой выступает получение наибольшего эффекта при минимуме затрат, является одним из важнейших аспектов принятия на практике решения о реализации мер, направленных на повышение эффективности потребления зданием ресурсов.

Одним из первых вопросов технико-экономического обоснования (ТЭО) выбора энергосберегающих мероприятий в инженерных системах здания исследовал Богуславский Л.Д. [2]. В работах Дмитриева А.Н. и Табунщикова Ю.А. предложена методика ТЭО решений по снижению энергопотребления в зданиях с применением дисконтирования и компаундинга [3].

Вопросы оптимизации параметров теплозащиты жилых зданий по экономическому критерию поднимаются в работах Монастырева П.В., Езерского В.А., Самарина О.Д., Клычникова Р.Ю. и др. [4, 5].

Для расчета сроков окупаемости мероприятий по утеплению ограждающих конструкций зданий, реализуемых за счет использования заемных средств, можно использовать методику, предложенную Гагариным В.Г. В его работах [6, 7] предложены формулы для расчета совокупных дисконтированных затрат, связанных с реализацией на практике ЭРР, и отмечено условие их окупаемости, состоящее в том, что годовой процент за взятый кредит не должен превышать получаемую экономию эксплуатационных затрат на тепловую энергию.

Последние годы все большее распространение получает методика выбора энергоресурсосберегающих решений на основе оценки и анализа изменения стоимости жизненного цикла здания. В основе такого подхода лежит следующий принцип: энергетическая эффективность здания и экономические аспекты принимаемых мер должны

быть сбалансированы, т.е. экономически оптимальный уровень затрат на реализацию ресурсосберегающих решений должен соответствовать такому уровню энергетической эффективности здания, при котором стоимость его жизненного цикла будет минимальна.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Современные энергоресурсосберегающие мероприятия должны не только решать задачу экономии ресурсов, но и повышать уровень комфортности жилых зданий, способствовать сохранению окружающей среды и здоровья человека в течение всего срока службы здания [8, 9]. Такой подход к ресурсосбережению затрагивает основные принципы устойчивого развития: баланс экономических, экологических и социальных интересов общества.

К сожалению, на практике последние два аспекта редко учитываются при принятии решения о реализации ресурсосберегающих решений. Кроме того, довольно слабо разработаны методики оценки социальных и экологических последствий реализации данных мероприятий, а также совместного учета всех трех составляющих понятия эффективности.

Цель данного исследования – разработать теоретико-методологические основы комплексной оценки эффективности реализации и выбора энергоресурсосберегающих решений, реализуемых на этапе проектирования жилых зданий.

Задачи исследования:

- выполнить анализ существующих методик и показателей, используемых для оценки эффективности ЭРР;
- разработать целевую функцию выбора организационно-технологических энергоресурсосберегающих решений на проектной фазе ЖЦ здания;
- разработать методику комплексной оценки эффективности ЭРР.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

На основе анализа существующих методик оценки эффективности реализации ресурсосберегающих решений в жилищном строительстве, а также поставленных задач, нами предложена следующая целевая функция выбора оптимальных организационно-технологических энергоресурсосберегающих решений (ОТ ЭРР) на этапе проектирования здания:

$$F(\sum_{i=1}^n A_{px} \cdot \sum_{j=1}^k O_{б-пл} \cdot \sum_{m=1}^f K_{онстр} \cdot \sum_{y=1}^z I_{инж}) = \frac{P_{ж.ц.}}{S_{уст}} \rightarrow \min \quad (1)$$

где F – целевая функция выбора архитектурных (A_{px}), объемно-планировочных ($O_{б-пл}$), конструктивных ($K_{онстр}$) и инженерных ($I_{инж}$) энергоресурсосберегающих решений (ЭРР), реализация которых, при существующих ограничениях, обеспечит достижение наименьшей стоимости ЖЦ здания при максимальной степени его экологичности, уровня энергосбережения и комфортности;

$P_{ж.ц.}$ – стоимость ЖЦ здания, складывающаяся из совокупных затрат финансовых, материальных и трудовых ресурсов на стадии проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации;

$S_{уст}$ – интегральный показатель устойчивости здания.

В процессе решения задачи оптимизации выбора ЭРР должны быть найдены такие значения проектных параметров, при которых целевая функция достигает минимума. При новом строительстве механизм выбора наилучшего варианта организационно-технологических ЭРР может быть представлен в виде следующей математической модели:

$$\begin{cases} \sum np + \sum стр + \sum экспл + \sum ликвид = P_{ж.ц.} \rightarrow \min & (2) \\ S_{уст} > S_{уст}^{min} \\ \frac{P_{ж.ц.}}{S_{уст}} \rightarrow \min \end{cases}$$

где $\sum пр$, $\sum стр$, $\sum экспл$, $\sum ликвид$ – стоимость совокупных затрат проектной, строительной, эксплуатационной и ликвидационной фаз ЖЦ строительного объекта соответственно.

С учетом принятых выше допущений предлагается следующая методика комплексной оценки эффективности и выбора на этой основе организационно-технологических энергоресурсосберегающих решений (рисунок 1). Методика комплексной оценки эффективности и выбора оптимальных ОТ ЭРР на этапе проектирования жилых зданий

Этап 1. Формирование исходных данных для выбора ЭРР: место строительства, набор параметров эксплуатационных качеств здания и эксплуатационно-технических характеристик, которые планируется достигнуть, условия выполнения строительного-монтажных работ, ожидаемые технико-экономические показатели по проекту, ограничение по стоимости строительства и (или) стоимости владения и др.

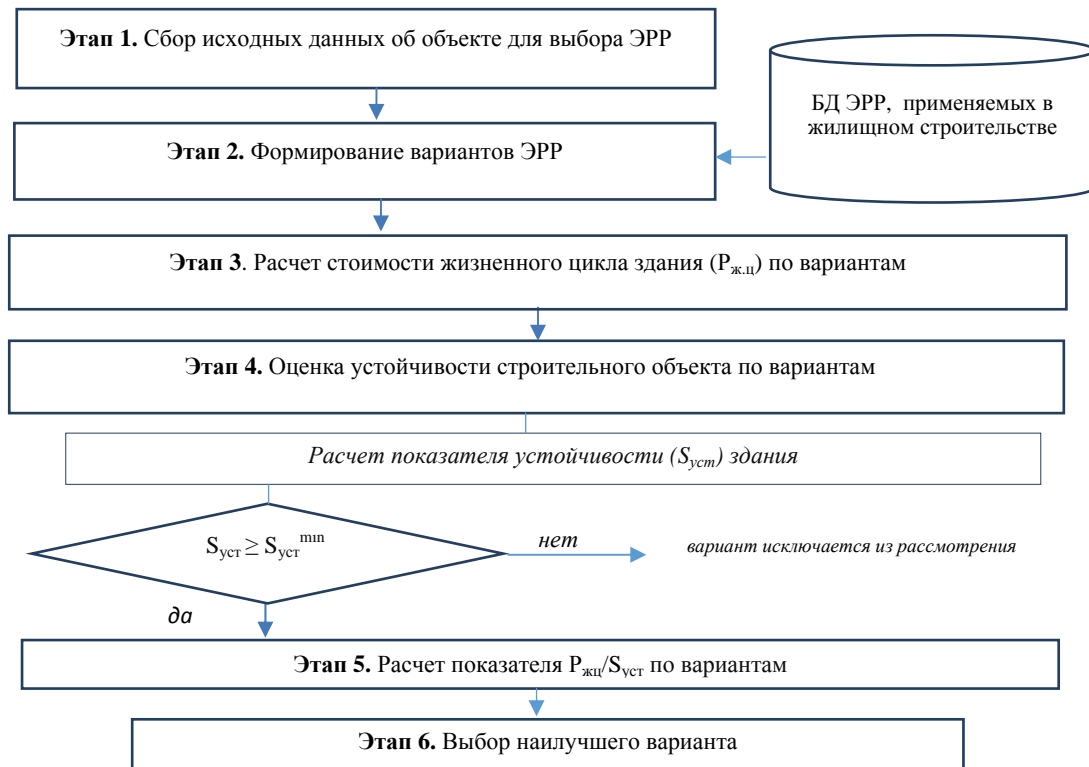


Рис.1. Алгоритм методики комплексной оценки эффективности и выбора вариантов ОТ ЭРР на этапе проектирования зданий

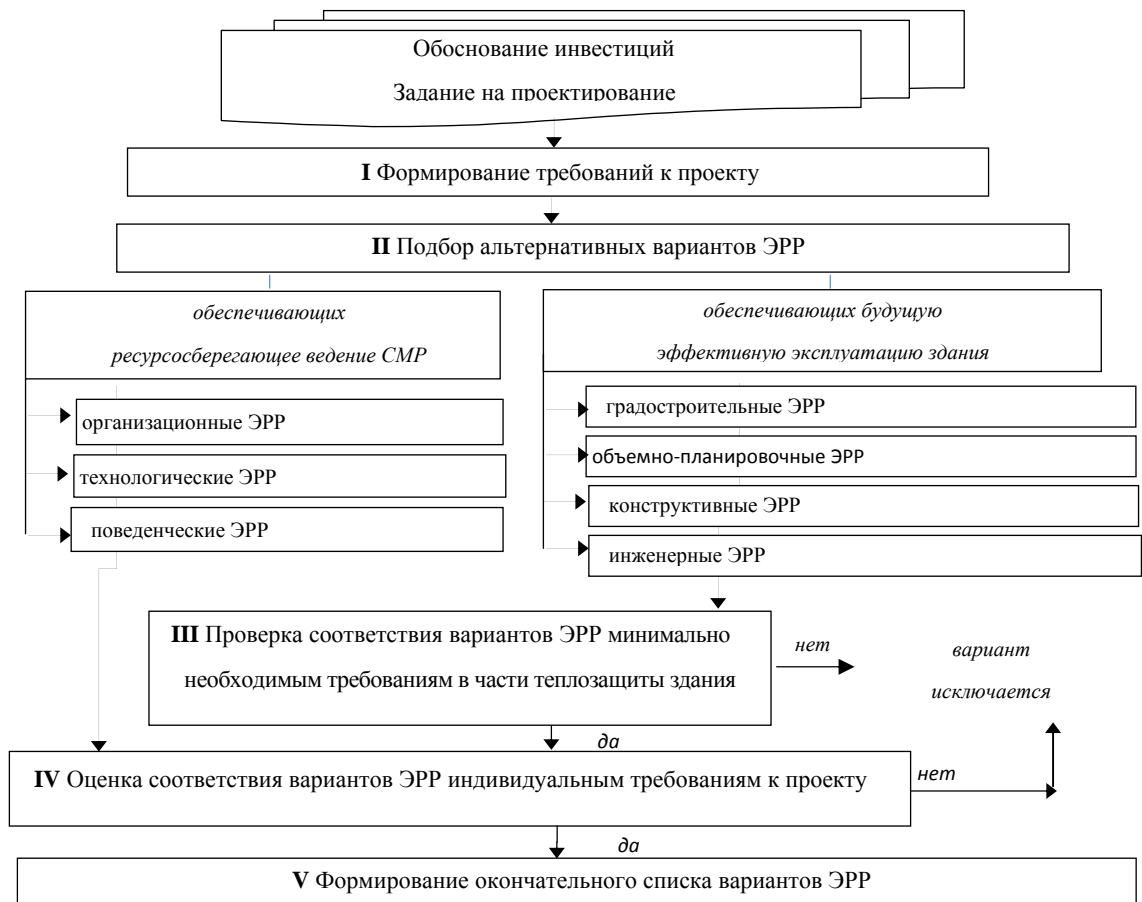


Рис. 2. Алгоритм формирования вариантов ЭРР и их предварительной оценки на проектной фазе ЖЦ

Этап 2 предусматривает подбор вариантов ландшафтных, архитектурных, объемно-планировочных, конструктивных и инженерных ресурсосберегающих решений, которые могут быть применены в конкретных условиях.

Как было отмечено выше, проектная фаза обеспечивает возможность более полной реализации задач в части энергоресурсосбережения и устойчивого развития строительного объекта. Поэтому на данном этапе должны быть предусмотрены мероприятия не только по повышению теплотехнических свойств ограждающих конструкций здания, применению солнцезащитных архитектурных элементов, оптимизации его объемно-планировочных решений и др., обеспечивающие будущую эффективную эксплуатацию здания, но и мероприятия по рациональному потреблению ресурсов в ходе строительного-монтажных работ (СМР) [12].

Подобранные альтернативные варианты ЭРР для здания и в части выполняемых СМР проходят предварительную оценку в соответствии с методикой, алгоритм которой представлен на рисунке 2.

Устанавливается их соответствие минимально-необходимым нормативным требованиям в части теплозащиты здания (по результатам расчета энергопаспорта здания) и индивидуальным требованиям, предъявляемым к проекту инвестором, заказчиком-застройщиком и др. заинтересованными лицами.

Варианты ЭРР, не отвечающие указанным выше требованиям исключаются из дальнейшего рассмотрения или направляются на доработку. Такая предварительная оценка позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения наименее эффективные варианты и упростить более сложные и трудоемкие расчеты, предусмотренные методикой комплексной оценки (рисунок 1).

Этап 3. Оценка стоимости ЖЦ здания по вариантам, складывающейся из:

- единовременных затрат на проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию и утилизацию здания;

- периодических затрат на обслуживание здания в течение его эксплуатации, отопление, горячее и холодное водоснабжение, электрическую энергию, текущий и капитальный ремонты.

На данном этапе выполняют расчет общего энергопотребления здания за весь период его ЖЦ и стоимости реализации ЭРР по каждому варианту [10]. Для упрощения расчетов затрат на реализацию ЭРР целесообразно использовать данные по объектам-аналогам, сформированным в ресурсно-технологические модели [11].

Этап 4. Для оценки устойчивости, достигаемой зданием, за счет реализации рассматриваемых вариантов ЭРР, введен интегральный показатель устойчивости строительного объекта $S_{уст}$, рассчитываемый по формуле:

$$S_{уст} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times w_i \times 100, \quad (3)$$

где X_{ij} – оценка в баллах j -го показателя i -й группы факторов устойчивости;

n – количество показателей устойчивости;

w_i – весомость i -го фактора устойчивости;

m – количество факторов устойчивости.

В соответствии с положениями концепции устойчивого развития выделены 3 группы факторов устойчивости: социальные, экологические и экономические. На основе метода экспертных оценок при помощи парного сравнения получены значения весомости каждого фактора: $w_1=0,314$ – вес экономической группы факторов в общей устойчивости здания, $w_2=0,267$ – вес социальной и $w_3=0,419$ – вес экологической группы факторов.

Для каждой группы факторов подобраны 6 характеризующих их показателей, наиболее значимых, на наш взгляд, для оценки устойчивости здания и прилегающей к нему территории на первоначальном этапе перехода строительной отрасли на стандарты устойчивости. Полный список показателей устойчивости для каждой группы факторов и соответствующие им шкалы балльных оценок представлены в [13]. К числу показателей экологической группы факторов были отнесены: доля альтернативных источников энергии в работе инженерных систем здания, сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу, рациональное водопользование, обращение с отходами и т.д. К социальным: учет принципов эргономичности при проектировании здания, формирование безопасной среды жизнедеятельности здания, видеоэкология и т.д. К экономической группе факторов: срок окупаемости, снижение эксплуатационных затрат, эффективность энергосберегающих решений с учетом тарифов на энергию и др.[13].

В процессе выбора оптимальных вариантов ЭРР из нескольких альтернативных выполняют оценку степени соответствия проектных решений установленным требованиям и показателям, по результатам которой им присваивают баллы в соответствии с разработанной шкалой. Полученные значения оценки (X_{ij}) суммируются и умножаются на вес значимости (w_i) соответствующей группы факторов устойчивости. Далее по формуле 3 рассчитывают интегральный показатель устойчивости $S_{уст}$.

Значение интегрального показателя устойчивости здания, равное 141 баллу ($S_{уст}^{min}=141$), принято в качестве минимально допустимого уровня, при котором вариант ресурсосберегающих проектных решений допускается к дальнейшему рассмотрению и оценке. При получении итогового балла ниже 141 рекомендуется включить в проект дополнительные мероприятия по повышению его устойчивости.

Этап 5. Расчет отношения стоимости жизненного цикла проекта к показателю его устойчивости $P_{жц}/S_{уст}$.

Этап 6. Выбор наилучшего варианта энергоресурсосберегающих решений из условия: $P_{\text{жц}}/S_{\text{уст}} \rightarrow \min$.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет выбрать из нескольких альтернативных вариантов энергоресурсосберегающих решений наиболее оптимальный, обеспечивающий наименьшую стоимость жизненного цикла здания и его максимальную устойчивость.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика комплексной оценки эффективности ресурсосберегающих решений в жилищном строительстве учитывает стоимость и общее энергопотребление здания за весь его жизненный цикл. Обеспечивает баланс экономических, экологических и социальных интересов общества при выборе организационно-технологических ресурсосберегающих решений на этапе проектирования здания. Применение данной методики будет способствовать внедрению в строительную практику современных экологических технологий и материалов, принципов устойчивого развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Умнякова, Н.П. Возведение энергоэффективных зданий в целях уменьшения негативного воздействия на окружающую среду [Текст] / Н.П. Умнякова // Вестник МГСУ. – 2011. – №3-1. – С. 459-464.
2. Богуславский, Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции: учеб. пособие для вузов / Л.Д. Богуславский – М.: Стройиздат, 1986. – 191 с.
3. Табунщиков, Ю.А. Оценка экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия [Текст] / Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2005. – №7.
4. Самарин, О.Д. О методике оценки энергоэффективности зданий [Электронный ресурс] // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2008. – № 4. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2008_4/art156.htm.
5. Клычников, Р.Ю. Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность [Текст] / Р.Ю. Клычников, В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 27-31.
6. Гагарин, В.Г. Об окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] // Новости теплоснабжения. – 2002. – №1. – С. 3-12.
7. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Электронный ресурс] // АВОК. – 2009. – №1. – Режим доступа: <http://www.c-o-k.ru/articles/energoberezhenie-i-energo-effektivnost-strategiya-i-realizaciya>.
8. Шеина, С.Г. Экологическая составляющая концепции устойчивого развития в проектах энергетической санации жилых зданий [Текст] / С.Г.

Шеина, Д. Виганд, А.Н. Миненко // Научное обозрение. – 2014. – № 7-2. – С. 583-586.

9. Drongelen, W. Sustainable Urban Development / W. Drongelen, St. M. Wheeler, T. Beatley. – Third ed. – Great Britain: Routledge, 2014. – 392 p.

10. Опарина, Л.А. Результаты расчета энергоемкости жизненного цикла зданий [Текст] / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2013. – №11. – С.50-52.

11. Петров, К.С. Повышение тепловой защиты зданий различных назначений в условиях городской застройки [Текст] / К.С. Петров, А.О. Вонгай, К.А. Саковская // Наукоедение: интернет-журнал. – Том 7. – № 3. – 2015.

12. Чемисов, Н.Д. Солнцезащитные средства в архитектуре – путь к энергосбережению [Текст] / Н.Д. Чемисов // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – №3 (55). – С.13-15.

13. Шеина, С.Г. Методика выбора организационно-технологических ресурсосберегающих решений в жилищном строительстве по многокритериальной системе оценки [Текст] / С.Г. Шеина, Е.Н. Миненко // Жилищное строительство. – 2016. – №6. – С.42-45.

REFERENCES

1. Umnyakova N. P. The construction of energy efficient buildings to reduce negative impacts on the environment [Text] / N. P. [] // Vestnik MGSU. – 2011. – No. 3-1. – Pp. 459-464.
2. Boguslavsky, L. D. Reduced energy consumption during operation of the heating and ventilation: textbook. manual for universities / L. D. Boguslavskiy, M.: stroiizdat, 1986. – 191 p
3. Tabunschikov, Y. A. Assessment of economic efficiency of investments in energy saving measures [Text] / Y. A. tabunschikov, N. In. Shilkin]. – 2005. – No. 7.
4. Samarina O. D. About the methodology of evaluating the energy performance of buildings [Electronic resource] // Electronic journal of energy service company "Ecological systems". – 2008. – № 4. – Mode of access: http://esco-ecosys.narod.ru/2008_4/art156.htm.
5. Klychnikov, R. Y. a Sequence of thermal modernization of residential buildings and its influence on economic efficiency [Text] / R. J. Klychnikov, Ezersky V. A., Monastirev P. V. // Housing construction. – 2015. – No. 6. – P. 27-31.
6. Gagarin, V. G. About the cost to increase thermal protection of buildings and constructions [Text] // Novosti teplosnabzheniya. – 2002. – No. 1. – S. 3-12.
7. Gagarin, V. G. Methods of economic analysis of increasing the level of thermal protection of enclosing structures of buildings [Electronic resource] //]. – 2009. – No. 1. – Mode of access: <http://www.c-o-k.ru/articles/energoberezhenie-i-energo-effektivnost-strategiya-i-realizaciya>.
8. Sheina, S. G. Ecological component of the sustainable development concept in projects of energy rehabilitation of residential buildings [Text] / S. G.

Sheina, D. Wiegand, A. N. Minenko // Scientific review. – 2014. No. 7-2. – S. 583-586.

9. Drongelen, W. Sustainable Urban Development / W. Drongelen, St. M. Wheeler, T. Beatley. – Third ed. – Great Britain: Routledge, 2014. – 392 p.

10. Oparina, L. A. the results of calculating the intensity of the life cycle of buildings [Text] / L. A. Oparina // Housing construction. – 2013. – No. 11. – P. 50-52.

11. Petrov, K. S. improving the thermal protection of buildings of different purposes in terms of urban development [Text] / K. S. Petrov, A. O. Wangi, K. A.

Sekowska // sociology of Science: an Internet magazine. – Volume 7. – No. 3. – 2015.

12. Chemesov, N. D. Sunscreen in architecture – a path to energy efficiency [Text] / N. D. Chemesov // Construction and industrial safety. – 2016. – №3 (55). – S. 13-15.

13. Sheina, S. G. Method of selection of organizational-technological resource-saving solutions in housing construction for multi-criteria rating system [Text] / S. G. Sheina, E. N. Minenko // Housing construction. – 2016. – No. 6. – S. 42-45.

Sheina S.G., Minenko E.N.

OPTIMIZATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES' SELECTION DURING DESIGN OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary. The article presents the results of investigation in the field of assessment the efficiency of energy saving technologies in residential building. The authors describe a mathematical model and the objective function of selection the optimal resource-saving solutions in residential buildings during its design. The article sets out the main aspects of methodology prepared by the authors for comprehensive assessment the efficiency of energy-saving solutions implementation. This methodology is based on the life cycle cost assessment and evaluation of sustainability that building'll reach after realization different resource-saving technologies.

Key words: energy and resource saving, sustainable development, life cycle of the building, the assessment of resource-saving technologies' efficiency.

КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,

295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

E-mail: chens_mu1@mail.ru, ella_litvinova_2015@mail.ru

Аннотация. Пластины, как плоские элементы конструкций, нашли широкое применение в различных областях техники и строительства. Поэтому развитие и уточнение теории колебаний пластин, привлеченной к решению новых уравнений движения, а также использование новых формулировок краевых задач, является актуальной и перспективной проблемой. Аэродинамические силы, возникающие при порывах ветра, как с постоянной скоростью, так и с переменной, относятся к категории динамических нагрузок. Наиболее опасным последствием этих сил является флаттер конструкции, который относится к категории самовозбуждающихся колебаний, упругих ее элементов, в потоке воздуха. Цель исследования – разработка математической модели колебаний плоской пластины в потоке воздуха, определение критических условий возникновения флаттера конструкции. Актуальность моделирования колебаний упругих пластин обоснована необходимостью создания на этой основе новых строительных машин и механизмов.

Ключевые слова: колебания плоской пластины, аэродинамическая сила, динамическая нагрузка, флаттер конструкции, строительные машины и механизмы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные строительные технологии выдвигают повышенные требования к исследованию в области механики деформируемого твердого тела и строительной механики, развитие точных представлений о деформационных и механических свойствах материалов в различных режимах их эксплуатации, особенно при динамических нагрузках, когда существенную роль играет геометрия рассматриваемого изделия и его вязкоупругие свойства.

Пластины, как плоские элементы конструкций, применяются в различных областях техники и строительства. Поэтому развитие и уточнение теории колебания пластин, точная формулировка краевых задач динамики, использование новых методов решения является одной из важных приоритетных частей прикладной теории упругости, способствующей повышению надежности конструкции в целом [1 – 3].

Аэродинамические силы, возникающие при порывах ветра, как с постоянной скоростью, так и с переменной, относятся к категории динамических нагрузок. Наиболее опасным последствием этих сил является флаттер конструкции, который относится к категории самовозбуждающихся колебаний, упругих ее элементов, в потоке воздуха.

Явление флаттера тесно связано с теми воздействиями, которые поток воздуха оказывает на колеблющуюся пластину (крыло).

Флаттер возникает, когда колебания в потоке воздуха приводят к дополнительной аэродинамической нагрузке. Аэродинамические силы зависят от скорости, поэтому есть некоторая критическая скорость, ниже которой (при прочих равных условиях) флаттера нет, а при ее превышении он возникает. При малых скоростях ветра флаттер невозможен, так как дополнительные демпфирующие силы больше сил, приводящих к колебаниям. Возникающие при этом колебания могут привести к

разрушению конструкции. Важно знать минимальную критическую скорость ветра, при которой возможен флаттер [4].

При достаточно высокой скорости потока пластина совершает вертикальные колебания, и одновременно происходят изменения угла наклона пластины относительно набегающего потока (угла атаки). Это пример классического флаттер-движения, происходящего с двумя степенями свободы [5].

Флаттер может возникать также у лопаток турбомашин. Условие отсутствия флаттера часто является одним из основных требований при проектировании.

Целью исследования является разработка математической модели колебаний плоской пластины в потоке воздуха, определение критических условий возникновения флаттера конструкции.

Актуальность моделирования колебаний упругих пластин обоснована необходимостью создания на этой основе новых строительных машин и механизмов.

Для вантовых конструкций, возникновение возбуждающих колебаний возможно в том случае, если линии жесткости по его длине и центров тяжести не совпадают (рис. 1).

Если эти линии совпадают, то изгибные и крутильные колебания существуют самостоятельно. Эти линии отстают друг от друга на расстояние S .

Если возбудить изгибные колебания, то возникает крутящий момент, так как силы инерции расположены в центре тяжести, а силы упругости в центре жесткости. В этом случае силы инерции имеют плечо S относительно центра жесткости. Аналогичная картина возникает при возбуждении крутильных колебаний. Формы совместных изгибных и крутильных колебаний такие же как и отдельные, то есть при $S = 0$. Поэтому при приближенном решении задач используются формы колебаний при $S = 0$.

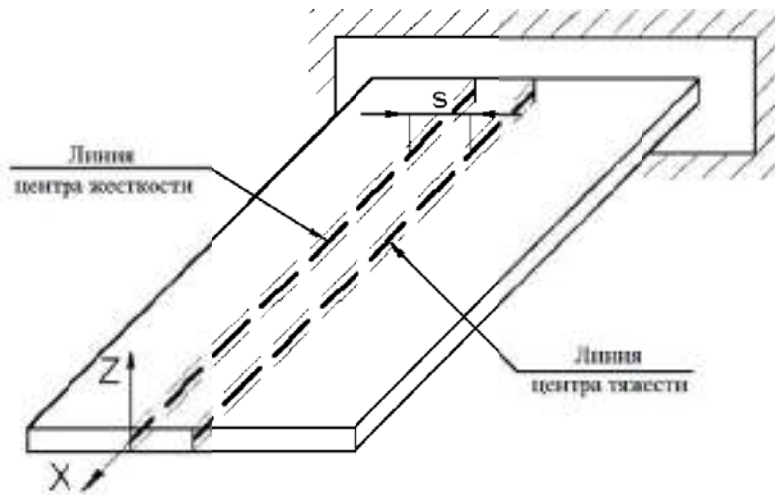


Рис. 1. Случай несовпадения линий центров тяжести и центров жесткости в пластине

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И МЕТОДОВ

В феврале 1809 года Хладни продемонстрировал свои эксперименты, относящиеся к классической задаче о колебаниях тонких изотропных прямоугольных пластин со свободными краями. Таким образом, Хладни [6] получил интересный набор фигур (рис. 2) и сделал попытку их классификации согласно количеству горизонтальных и вертикальных узловых линий на краях.

В последующие 200 лет во многих публикациях [6] сделаны первые сравнения экспериментальных и расчетных данных о собственных частотах пластины.

Ритц в 1908 году опубликовал статью [6], где дал исключительный по ясности теоретического изложения и количеству числовых данных анализ спектра собственных частот и форм колебаний квадратной пластинки со свободными краями и сравнение с экспериментами Хладни. Ритц, впервые используя вариационный алгоритм для исследования колебаний квадратной пластинки со свободными краями, сделал предположение о том, что собственные формы колебаний пластинки достаточно надежно описываются комбинациями $(u_m(x)u_n(y) \pm u_n(x)u_m(y))$, где $u(x)$ – собственные функции упругого стержня со свободными краями.

Подход, основанный на приравнивании максимальных амплитудных значений за период при выбранной заранее форме колебаний был впервые применен для определения нижней собственной частоты изгибных колебаний квадратной пластинки со свободными краями при нулевом коэффициенте Пуассона Рэлеем [6] в 1873 – метод Рэля. В последующие годы задача о колебаниях пластины со свободными краями была предметом исследований многих авторов [6]. Среди аналитических подходов к определению собственных частот и форм колебаний прямоугольной пластинки использовался метод суперпозиции – построение такого набора частных решений, который удовлетворял тождественно

уравнению движения и имел достаточно функционального произвола для выполнения нулевых граничных условий.

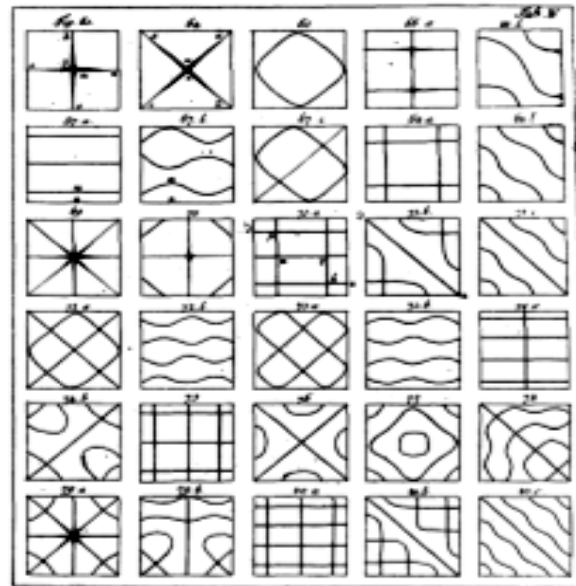


Рис. 2. Набор пластин Хладни

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Возникновение флаттера связано с выбором «формы флаттера», для которой выполняются определенные соотношения между амплитудами и фазами колебаний, соответствующих различным степеням свободы. Условие возникновения флаттера зависит от скорости потока, а также от плотности и температуры воздуха. Предположим, что скорость изменяется. От скорости потока зависит значение энергии, получаемой системой за один цикл колебаний, и значение энергии, рассеиваемой за цикл колебаний вследствие внутреннего и аэродинамического демпфирования. Когда отношение этих значений энергии становится равным единице, в системе могут установиться колебания постоянной амплитуды; соответствующая скорость называется критической

скоростью флаттера. Каждой из возможных форм флаттера соответствует своя критическая скорость, и все расчеты флаттера проводятся с целью удостовериться, что наименьшая из критических скоростей с достаточным запасом превышает максимально возможную скорость [5].

Пути борьбы с флаттером [5].

Первый способ основан на таком изменении характеристик системы, при котором достигается независимость колебаний, соответствующих различным степеням свободы, причем демпфирование всех этих различных форм колебаний положительно.

Второй способ заключается в увеличении собственных частот конструкции за счет увеличения отношений «жесткость / масса» отдельных ее частей. Этот способ основан на том, что энергия, получаемая системой при флаттере за один цикл колебаний, почти не зависит от частоты, тогда как энергия, рассеиваемая за один цикл, пропорциональна частоте.

Два рассмотренных метода обычно используются в практике самолетостроения.

Третий метод борьбы с флаттером, вызываемым аэродинамическими силами, не всегда эффективен, но часто с успехом используется для устранения других видов автоколебаний. Этот метод заключается в демпфировании системы. Увеличивая трение в системе, склонной к флаттеру (т.е. увеличивая энергию, рассеиваемую за один цикл

колебаний заданной амплитуды) можно, как правило, повысить критическую скорость системы.

При флаттере пластина совершает изгибно–крутильные колебания, поэтому для анализа этого явления необходимо учесть, по крайней мере, две степени свободы. При практических расчетах достаточно учесть движения пластины по первым формам собственных изгибных и крутильных колебаний. В еще более простом варианте расчета можно рассмотреть жесткую пластину (крыло), имеющую две степени свободы, соответствующие его вертикальному перемещению и повороту [5].

Рассмотрим сечение пластины (рис. 3) [7]. Пусть под действием импульса сечение пластины начало движение вниз. Точка центра тяжести начнет отставать от точки центра жесткости, так как возникает инерционная сила ($-mv$), что приводит к развороту сечения пластины и возникновению дополнительного угла атаки $\Delta\alpha_1$.

Вследствие этого возникнет дополнительная погонная сила

$$Y_1 = c_y^\alpha \cdot \Delta\alpha_1 \cdot q \cdot b, \quad (1)$$

где $c_y^\alpha = 2\pi$ – для пластины – производная коэффициента подъемной силы;

$q = \rho \cdot v^2 / 2$ – скоростной напор, включающий плотность воздуха ρ и скорость набегающего потока воздуха при ветре v .

Эта сила усиливает колебание (рис. 4) с переменной вертикальной скоростью \dot{y} .

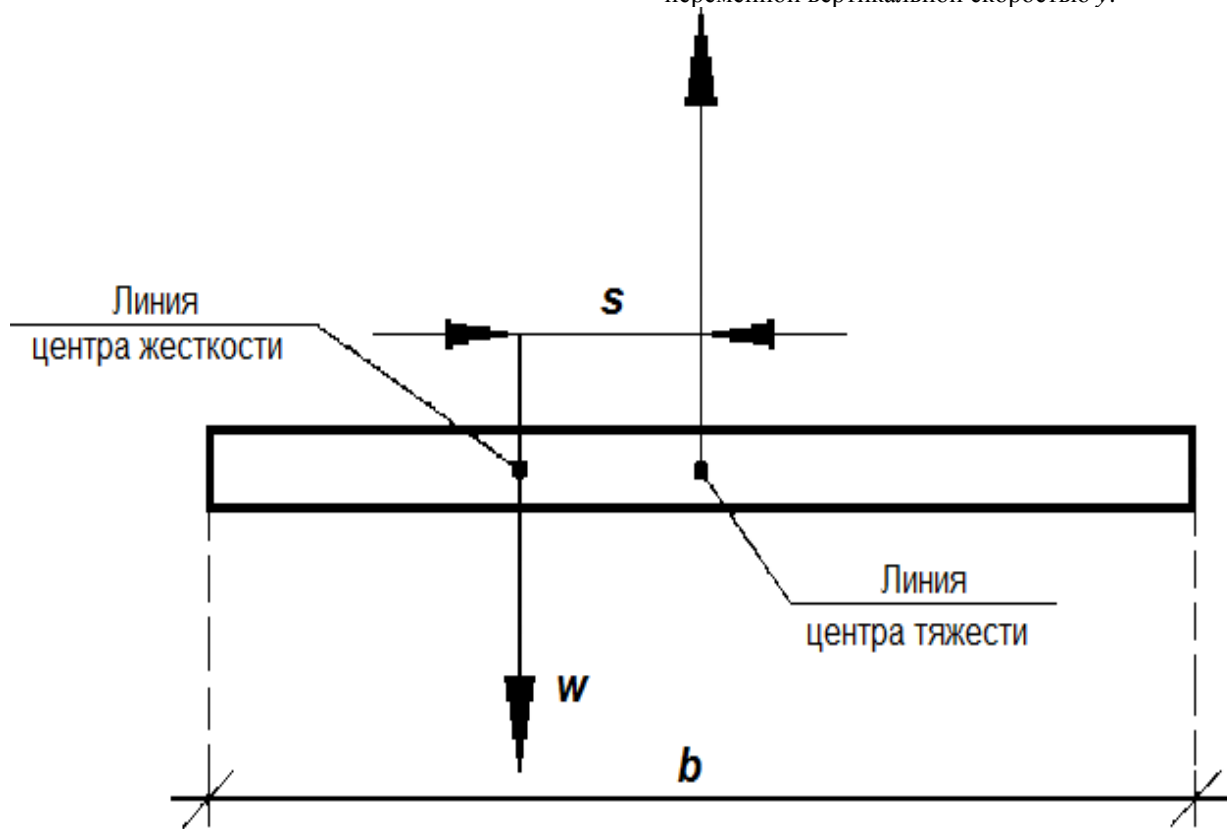


Рис. 3. Силы, возникающие в пластине

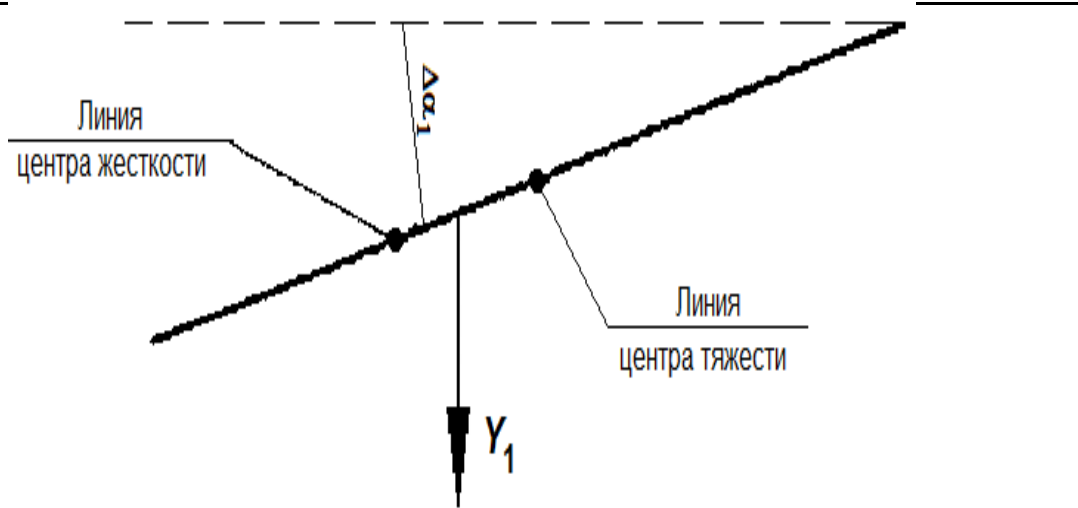


Рис. 4. Возникающая дополнительная сила За счет этой вертикальной скорости возникает дополнительный угол атаки

$$\Delta\alpha_2 = \frac{\dot{y}}{v} \quad (2)$$

которому соответствует подъемная сила (рис. 3)

$$Y_2 = c_y^\alpha \cdot \Delta\alpha_2 \cdot q \cdot s, \quad (3)$$

являющаяся демпфирующей и направленной в сторону, обратную движению профиля пластины. Таким образом, при обтекании пластины потоком воздуха на ее поверхности всегда возникает две переменные во времени силы: Y_1 усиливает процесс колебания, Y_2 демпфирует колебания. Если $Y_1 > Y_2$, то колебательный процесс бурно возрастает и может привести к разрушению конструкции, и наоборот.

Рассмотрим колебательный процесс пластины. Прогиб оси жесткости можно представить как произведение независимых функций

$$y(x, t) = q_1(t) \cdot f(x), \quad (4)$$

где $q_1(t)$ – вертикальное перемещение точки пластины;

$f(x)$ – форма изгиба в совместных изгибно–крутильных колебаниях первого тона.

Обычно за точку измерения принимают конечную точку консоли при закреплении одного края пластины, либо центральную точку на оси x для крепления обоих ее концов.

В процессе колебания пластина закручивается по закону

$$\theta(x, t) = q_2(t) \cdot \varphi(x), \quad (5)$$

где $q_2(t)$ – угол закручивания концевое сечения;

$\varphi(x)$ – форма крутильных колебаний первого тона.

Применим уравнение Лагранжа II рода для составления дифференциальных уравнений изгибно–крутильных колебаний

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i(t), \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

где кинетическая и потенциальная энергии для системы с двумя степенями свободы:

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2} (a_{11} \dot{q}_1^2 + 2a_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + a_{22} \dot{q}_2^2) \\ \Pi = \frac{1}{2} (c_{11} q_1^2 + 2c_{12} q_1 q_2 + c_{22} q_2^2) \end{cases} \quad (7)$$

где $a_{11} = \int_0^l m \cdot f^2 dx$ – приведенная масса чисто изгибных колебаний;

$a_{22} = \int_0^l I_m \cdot \varphi^2 dx$ – приведенная масса чисто крутильных колебаний;

$$a_{12} = -\int_0^l m \cdot s \cdot f \cdot \varphi dx \quad \text{– при } s = 0 \quad a_{12} = 0;$$

$c_{11} = \int_0^l EI [f''(x)]^2 dx$ – приведенная жесткость чисто изгибных колебаний;

$c_{22} = \int_0^l GI_p [\varphi''(x)]^2 dx$ – приведенная жесткость чисто крутильных колебаний;

$c_{12} = 0$, так как деформация не зависит от положения центра тяжести;

I_m – момент инерции относительно центра масс;

I_p – полярный момент инерции.

Если центр жесткости и центр масс совпадают, то средние члены в формулах (7) отсутствуют.

Обобщенные силы от дополнительной аэродинамической нагрузки при колебаниях пластины определяются по формулам:

$$\begin{cases} Q_1(t) = \int_0^l \Delta P(x, t) \cdot f(x) dx; \\ Q_2(t) = \int_0^l \Delta m(x, t) \cdot \varphi(x) dx, \end{cases} \quad (8)$$

где $\Delta P(x, t)$ – погонная дополнительная поперечная нагрузка;

$\Delta m(x, t)$ – погонный дополнительный момент:

$$\begin{cases} \Delta P(x, t) = \Delta c_y \frac{\rho \cdot v^2}{2} b; \\ \Delta m(x, t) = \Delta c_m \frac{\rho \cdot v^2}{2} b^2. \end{cases} \quad (9)$$

Для расчета применим зависимости Δc_y и Δc_m от угла атаки θ , скоростей $\dot{\theta}$ и \dot{y} в первом приближении:

$$\Delta c_y = 2\pi\alpha, \quad \Delta c_m = -\pi\alpha. \quad (10)$$

Подставив зависимости (4) и (5) в (9) и (10), выразим $\Delta P(x, t)$ и $\Delta m(x, t)$ через перемещения q_1 и q_2 . Полученный результат подставим в (8) и проинтегрируем. В результате получим:

$$\bar{Q} = \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \beta_{ij} \\ \gamma_{ij} \end{vmatrix}^2 \bar{q} + \begin{vmatrix} \gamma_{ij} \\ \beta_{ij} \end{vmatrix}^2 \bar{q}, \quad (11)$$

где β и γ – квадратные матрицы коэффициентов.

Подставим (7) и (11) в (6), получим два уравнения

$$A\bar{q} + B\dot{\bar{q}} + C\ddot{\bar{q}} = 0, \quad (12)$$

где A, B, C – матрицы инерции, демпфирования и восстановления;

$$\bar{q} = \bar{q}^0 e^{\lambda t}. \quad (13)$$

Подставим (13) в (12)

$$\bar{q}^0 (\lambda^2 A + \lambda B + C) = 0. \quad (14)$$

Получена система алгебраических уравнений для амплитуд колебаний, где для ее решения необходимо требование

$$\det(\lambda^2 A + \lambda B + C) = 0. \quad (15)$$

Это характеристическое частотное уравнение четвертой степени, которое можно представить в виде:

$$a \cdot \lambda^4 + b \cdot \lambda^3 + c \cdot \lambda^2 + d \cdot \lambda + e = 0. \quad (16)$$

При $\lambda > 0$ – процесс расходящийся, при $\lambda < 0$ – затухающий. В общем случае, при решении уравнения (16) имеем и комплексные корни. Для области устойчивости корни уравнения (16) должны быть в левой полуплоскости.

При малых скоростях набегающего потока воздуха все коэффициенты в (16) таковы, что все корни находятся в левой полуплоскости. При скорости ветра $v_{кр}$ один из корней уравнения окажется на мнимой оси, что соответствует расходящемуся колебательному процессу.

Для устойчивого процесса колебаний необходимо, чтобы все коэффициенты в (16) были одного знака (> 0) и выполнялся критерий Фауста

$$R = bcd - b^2e - d^2a \geq 0,$$

$$\text{Sign}(a, b, c, d, e) = 1.$$

При малых скоростях потока воздуха $R > 0$ и $\text{Sign} = 1$.

После расчета делают флаттерные модели, которые испытывают для сравнения с расчетными.

Рассмотрим вариант колебания пластины с грузом согласно схеме, представленной на рис. 5.

Для нахождения частот колебаний рассмотрим собственные колебания упругой пластины [8, 9]. Они описываются следующим дифференциальным уравнением [10]

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \quad (17)$$

где $c^2 = EI\mu$;

E – модуль упругости;

I – момент инерции поперечного сечения стержня;

μ – погонная масса.

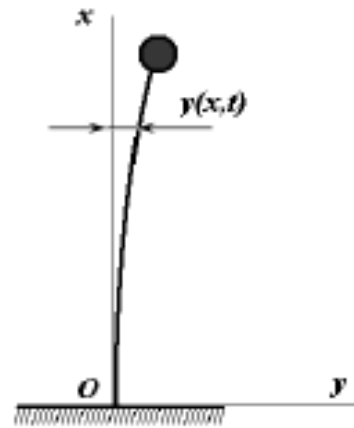


Рис. 5 Схема колебаний пластины с грузом

Частное решение для главного колебания $y(x, t) = \varphi(x) \cdot \sin(pt + \alpha)$.

Дифференцируем дважды по времени

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -p^2 \varphi(x) \sin(pt + \alpha) \quad (18)$$

и четыре раза по координате

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} \sin(pt + \alpha). \quad (19)$$

После подстановки выражений (18) и (19) в формулу (17) получим

$$\frac{\partial^4 \varphi(x)}{\partial x^4} - k^4 \varphi(x), \quad (20)$$

где $k^4 = \frac{\mu p^2}{EI}$.

Линейное уравнение (20) имеет четыре независимых частных решения:

$$\varphi_1 = \cos kx, \quad \varphi_2 = \sin kx,$$

$$\varphi_3 = \text{ch} kx, \quad \varphi_4 = \text{sh} kx.$$

Общее решение уравнения (20) есть линейная комбинация частных решений. Тогда

$$\begin{aligned} \varphi(x) = & D_1 \cos kx + D_2 \sin kx + \\ & + D_3 \text{ch} kx + D_4 \text{sh} kx, \end{aligned} \quad (21)$$

где $\operatorname{ch} kx = \frac{e^{kx} + e^{-kx}}{2}$; $\operatorname{sh} kx = \frac{e^{kx} - e^{-kx}}{2}$ – гиперболические функции.

Произвольные постоянные находятся из граничных условий:

– на границе $x = 0$:

$$x = 0; \quad \varphi(0) = 0; \quad \frac{\partial \varphi(0)}{\partial x} = 0;$$

– на границе $x = l$:

1) изгибающий момент на свободном конце

$$\frac{\partial^2 \varphi(l)}{\partial x^2} = 0;$$

2) дифференциальное уравнение движения сосредоточенной массы на конце стержня

$$EI \frac{\partial^3 \varphi(l)}{\partial x^3} = -mp^2 \varphi(l).$$

Такая задача называется краевой задачей с неголономными (неинтегрируемыми) граничными условиями. Для определения констант необходимо соотношение (21) продифференцировать три раза:

$$\begin{aligned} \varphi'(x) &= k(-D_1 \sin kx + D_2 \cos kx + \\ &\quad + D_3 \operatorname{sh} kx + D_4 \operatorname{ch} kx); \\ \varphi''(x) &= k^2(-D_1 \cos kx - D_2 \sin kx + \\ &\quad + D_3 \operatorname{ch} kx + D_4 \operatorname{sh} kx); \\ \varphi'''(x) &= k^3(D_1 \sin kx - D_2 \cos kx + \\ &\quad + D_3 \operatorname{sh} kx + D_4 \operatorname{ch} kx). \end{aligned}$$

Из первого граничного условия на границе $x = 0$ получим $D_1 + D_3 = 0$.

Из второго граничного условия на границе $x = 0$ получим $D_2 + D_4 = 0$

Из первого граничного условия на границе $x = l$

$$\begin{aligned} -D_1 \cos kl - D_2 \sin kl + \\ + D_3 \operatorname{ch} kl + D_4 \operatorname{sh} kl = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Из второго граничного условия на границе $x = l$

$$\begin{aligned} EIk^3(D_1 \sin kl - D_2 \cos kl + \\ + D_3 \operatorname{sh} kl + D_4 \operatorname{ch} kl) = \\ = -mp^2(D_1 \cos kl + D_2 \sin kl + \\ + D_3 \operatorname{ch} kl + D_4 \operatorname{sh} kl). \end{aligned} \quad (23)$$

Тогда $D_1 = -D_3$; $D_2 = -D_4$ подставляем в (22) и (23) и получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} D_3(\cos kl + \operatorname{ch} kl) + D_4(\sin kl + \operatorname{sh} kl) = 0; \\ D_3 \left[\begin{aligned} &(-\sin kl + \operatorname{sh} kl) + \\ &+ \frac{km}{\mu}(-\cos kl + \operatorname{ch} kl) \end{aligned} \right] + \\ + D_4 \left[\begin{aligned} &(\cos kl + \operatorname{ch} kl) + \\ &+ \frac{km}{\mu}(-\sin kl + \operatorname{sh} kl) \end{aligned} \right] = 0. \end{aligned}$$

Введем обозначения: $kl = \lambda$; $\frac{m}{\mu l} = \beta$.

Тогда получим однородную систему уравнений относительно λ :

$$\begin{aligned} D_3(\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) + D_4(\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) = 0; \\ D_3 \left[\begin{aligned} &(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) \end{aligned} \right] + \\ + D_4 \left[\begin{aligned} &(\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) \end{aligned} \right] = 0. \end{aligned}$$

Для существования ненулевого решения необходимо равенство нулю определителя этой системы. В результате получаем уравнение частот

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda & \sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda \\ \left[\begin{aligned} &(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) \end{aligned} \right] & \left[\begin{aligned} &(\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) \end{aligned} \right] \end{vmatrix} \\ = 0. \end{aligned}$$

Запишем его в виде

$$\begin{aligned} (\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) \left[\begin{aligned} &(\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) \end{aligned} \right] - \\ - (\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) \left[\begin{aligned} &(-\sin \lambda + \operatorname{sh} \lambda) + \\ &+ \beta \lambda(-\cos \lambda + \operatorname{ch} \lambda) \end{aligned} \right] = 0. \end{aligned}$$

После преобразований получим

$$\begin{aligned} 1 + \operatorname{ch} \lambda \cdot \cos \lambda + \\ + \beta \lambda(\operatorname{sh} \lambda \cdot \cos \lambda - \operatorname{ch} \lambda \cdot \sin \lambda) = 0. \end{aligned}$$

ВЫВОДЫ

Динамические характеристики – собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты затухания – определяют «динамическую индивидуальность» системы.

Задачи об определении частот и форм собственных колебаний пластин и оболочек приводят к необходимости интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных. Наиболее хорошо изучены те случаи, когда оказывается возможным разделение переменных. К ним относятся, в частности, колебания прямоугольной пластины, шарнирно опертой по противоположащим сторонам, зонтичные и веерные колебания круглых осесимметричных пластин, колебания цилиндрических оболочек,

замкнутых или шарнирно закрепленных вдоль образующих.

Приведенная модель колебания плоскости пластины в потоке воздуха отражает идеальный процесс, позволяющий анализировать влияние массово–геометрических характеристик на возникновение изгибно–крутильных колебаний, приводящих к флаттеру, и разрушению пластин, в случае когда внутренние усилия конструкции превысят критическое значение.

Изгибные колебания пластинок можно рассматривать независимо от их колебаний в своей плоскости.

Таким образом, построенная математическая модель позволяет выявить зависимость частоты собственных колебаний упругой пластины от массы груза, закрепленного на ней, с учетом материала пластины и ее геометрических параметров, например для пневматического вибровозбудителя [11, 12].

Вместе с тем предложенная модель колебательного процесса плоской пластины в потоке воздуха может служить отправным моментом для детальных исследований прочности и устойчивости вантовых (мостовых) конструкций в условиях больших скоростей ветра

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липовцев, Ю. Прикладная теория упругости / Ю. Липовцев, М. Русин. – М.: Дрофа, 2008. – 321 с.
2. Лычев, А.С. Надежность строительных конструкций / А.С. Лычев. – Москва: АСВ, 2008. – 184 с.
3. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Изд–во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 254 с.
4. Краснов, Н.Ф. Аэродинамика. Часть 1. Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла / Краснов Н.Ф. – М.: URSS, 2012. – 496 с.
5. Каримов, И. Лекции по теоретическим основам динамики и усталости машин и материалов. Детали машин [Электронный ресурс] / Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения. – Режим доступа: <http://www.detalmach.ru/lectdinamika9.htm>. – Загл. с экрана.
6. Мелешко, В.В. Изгибные колебания упругих прямоугольных пластин со свободными краями: от Хладни (1809) и Ритца (1909) до наших дней // В.В. Мелешко, С.О. Папков. // Акустичний вісник. 2009. Том 12, № 4. С. 34 – 51
7. Чемодуров В.Т. Проблемы обеспечения прочности и надежности ракет и пусковых установок: Учебное пособие / Чемодуров В.Т. – Л.: ВМА, 1990. – 196 с.
8. Алексеев, Г.В. Классические методы математической физики: Учебное пособие. Часть 1 / Г.В. Алексеев. – Владивосток: Изд–во Дальневост. ун–та, 2005. – 224 с.

9. Меньших, О.Ф. Уравнения математической физики: Учебное пособие / О.Ф. Меньших. – Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун–т, 2006. – 119 с.

10. Бабаков, И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Дрофа, 2004. – 591 с.

11. Григорьев, А.Л. Моделирование колебаний упругой пластины пневматического вибровозбудителя / А.Л. Григорьев, Ю.Л. Маткин. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. Вып. 2. Ч. 1 – С. 86–92.

12. Рутенко, В.С. Триботехнический метод уменьшения энергоемкости разработки грунта землеройно–транспортными машинами / В.С. Рутенко // Строительство и техногенная безопасность. 2003. Вып. 8. – С. 120–124.

REFERENCES

1. Of lipovtsy, J. Applied theory of elasticity / J. Lipovtsy, M. Rusin. – М.: Drofa, 2008. – 321 S.
2. Lychev, A. S. Reliability of structures / A. S. Lychev. – Moscow: ASV, 2008. – 184.
3. Perelmuter, A. V. Selected problems of reliability and safety of building structures / A. V. Perel'muter. – М.: Publishing house Association building universities, 2007. – 254 p.
4. Krasnov, N. F. Aerodynamics. Part 1. Fundamentals of the theory. The aerodynamics of the wing profile and / Krasnov N. F. – М.: URSS, 2012. – 496 p
5. Karimov, I. Lectures on the theoretical foundations of the dynamics and fatigue of machines and materials. Machine parts [Electronic resource] / E-learning course for students of internal and correspondence forms of training. – Mode of access: <http://www.detalmach.ru/lectdinamika9.htm>. The title screen.
6. Meleshko, V. V. Flexural vibrations of elastic rectangular plates with free edges: from Chladni (1809) and Ritz (1909) to the present day // V. V. Meleshko, O. S. folder. // Akustycznie]. 2009. Volume 12, No. 4. P. 34 – 51
7. Chemodurov V. T. the problems of ensuring the strength and reliability of the missiles and launchers: tutorial / Chemodurov V. T. – L.: military medical Academy, 1990. – 196 p.
8. Alekseev, G. V. Classic methods of mathematical physics: textbook. Part 1 / G. V. Alekseev. – Vladivostok: Izd–vo dal'nevost. University press, 2005. – 224 p.
9. Lower, O. F. equations of mathematical physics: textbook / O. F. Smaller. – Samara: Samar. state aerospace University, 2006. – 119 p
10. Babakov, I. M. Theory of vibrations / I. M. Babakov. – М.: Drofa, 2004. – 591 p.
11. Grigoriev, A. L. Simulation of oscillations in the elastic plate of the pneumatic vibration exciter / by A. L. Grigor'ev, J. L. Matkin. // Izvestiya Tulgu. Technical Sciences. 2010. Vol. 2. Part 1 – Pp. 86-92.
12. Rutenko, V. S. Tribological technique to reduce the energy intensity of the excavation earth–moving machines / V. Rutenko // Construction and technogenic safety. 2003. Vol. 8. – P. 120-124.

Chemodurov V.T., Litvinova E.V.

FLUCTUATIONS OF THE FLAT PLATE IN THE AIR STREAM

Summary. Plates as plane elements of constructions, found broad application in different fields of technique and construction. Therefore development and specification of the theory of oscillations of plates attracted in the solution of new motion equations and also use of fresh wordings of boundary value problems is a current and perspective problem. The aerodynamic forces arising in case of wind gusts both with constant speed, and from a variable, belong to the category of dynamic loads. The most dangerous consequence of these forces is the construction flutter which belongs to the category of self-excited oscillations, its elastic elements, in an air flow. A research objective – development of a mathematical model of oscillations of a flat plate in an air flow, determination of cutoff conditions of origin of a flutter of construction. The relevance of simulation of oscillations of elastic plates is justified by need of creation on this basis of new construction machines and mechanisms.

Key words: oscillations of a flat plate, aerodynamic force, dynamic loading, construction flutter, construction machines and mechanisms.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИНЫ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА

Языева С.Б., Языев С.Б., Зотов И.М., Языев Б.М.

ФБГОУ ВПО Донской государственный технический университет

Адрес: г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

e-mail*: iskra1917@bk.ru; e-mail**: russiangel@mail.ru;

e-mail***: z-o-t-o-v@mail.ru; e-mail****: ps62@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается методика расчета ортотропной пластинки (углепластика) переменной толщины. Решение выполняется численным методом конечных элементов с программной реализацией в пакете Matlab и использованием программных комплексов Sofistik и ANSYS. В частности, приводится расчет рессоры дельтаплана, выполненной из углепластика.

Ключевые слова: рессора, перемещения, напряжения, переменная толщина, треугольная конечно-элементная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Гетерогенная система в современном машиностроении и строительстве находят весьма широкое применение, поскольку для большинства армированных пластиков характерна явно выраженная анизотропия механических свойств. В свою очередь данный факт исключает возможность применения к расчетам изделий из них методов, разработанных для изотропных материалов.

Механические свойства ортотропных и анизотропных материалов достаточно полно изложены в обширной научной и инженерно-технической литературе, в том числе [1-8]. Здесь надо констатировать и тот факт, что методам расчета изделий из анизотропных материалов также известны достаточно много работ [9-15]. Однако имеются пробелы и некоторые вопросы остаются мало изученными, в частности, проблема расчета ортотропных пластин переменной толщины. Для решения данной задачи имеются хорошо зарекомендованные методы конечных и граничных элементов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемый элемент конструкции летательного аппарата, а именно, рессора и его расчетная схема показаны на рис. 1. В местах вырезов на элемент действуют сосредоточенные силы, пиковое значение которых составляет 25 кН. В расчете будем принимать, что эти силы равномерно распределены по контуру концентратора. Так как указанный элемент жестко крепится к раме, в работе участвуют только участки переменной ширины, работающие как консольные балки. Толщина этих участков также переменная: в основании – 10 мм, а на конце консоли – 8 мм. Поскольку нагрузка, действующая на элемент, не нормальна к плоскости консоли, а образует с нормалью угол 10.5 градусов, то ее следует разложить на нормальную и касательную составляющую. Здесь нормальная составляющая вызывает изгиб, а при действии касательной составляющей элемент находится в условиях

плоской задачи теории упругости (плоское напряженное состояние).

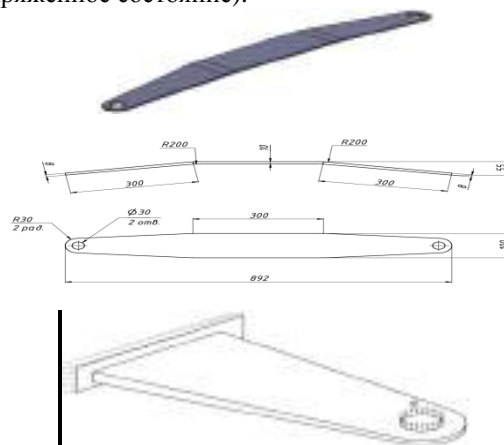


Рис. 1. Рессора как элемент конструкции и его расчетная схема

Используя принцип суперпозиции, действие нормальной и касательной составляющей можно рассматривать отдельно, а затем сложить напряжения и перемещения.

ВЫВОД РАЗРЕШАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ

Рассмотрим действие на элемент нормальной составляющей нагрузки. Пластику будем моделировать треугольными конечными элементами. При расчете на изгиб рассматриваемый конечный элемент (Рис.2) имеет 3 степени свободы: прогиб w_i и 2 угла поворота φ_{ix} и φ_{iy} . Поле перемещений конечного элемента представим в виде:

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} \{\rho_1\} \\ \{\rho_2\} \\ \{\rho_3\} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{где } \{\rho_i\} = \{w_i \quad \varphi_{ix} \quad \varphi_{iy}\}^T = \left\{ w_i \quad -\frac{\partial w}{\partial y} \Big|_i \quad -\frac{\partial w}{\partial x} \Big|_i \right\}^T.$$

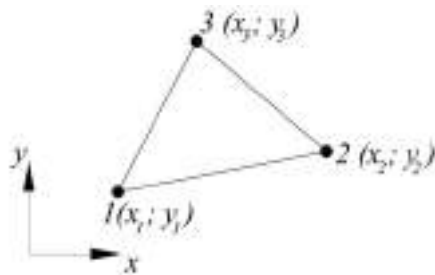


Рис. 2. Треугольный конечный элемент

Для функции прогиба примем следующую аппроксимацию:

$$w = \beta_1 L_1 + \beta_2 L_2 + \beta_3 L_3 + \beta_4 (L_2^2 L_1 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \dots + \beta_9 (L_1^2 L_3 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3), \quad (2)$$

где $\beta_{1...9}$ – некоторые коэффициенты, L_1, L_2, L_3 – естественные координаты.

$$L_i = \frac{1}{2A} (a_i + b_i x + c_i y), \quad i = 1 \dots 3,$$

где $A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$ – площадь треугольного

конечного элемента, $a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2, b_1 = y_2 - y_3, c_1 = x_3 - x_2$.

Коэффициенты a_i, b_i, c_i при $i = 2 \dots 3$ определяются путем циклической замены индексов $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$. Коэффициенты $\beta_{1...9}$ находятся путем подстановки в (2) узловых значений прогибов и углов поворота. Для вычисления углов поворота требуется продифференцировать функцию (2) по x и y . Вычисление частных производных по x и y выполняется следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} &= \frac{\partial L_1}{\partial x} \frac{\partial}{\partial L_1} + \frac{\partial L_2}{\partial x} \frac{\partial}{\partial L_2} + \frac{\partial L_3}{\partial x} \frac{\partial}{\partial L_3} = \\ &= \frac{1}{2A} \left(b_1 \frac{\partial}{\partial L_1} + b_2 \frac{\partial}{\partial L_2} + b_3 \frac{\partial}{\partial L_3} \right); \\ \frac{\partial}{\partial y} &= \frac{\partial L_1}{\partial y} \frac{\partial}{\partial L_1} + \frac{\partial L_2}{\partial y} \frac{\partial}{\partial L_2} + \frac{\partial L_3}{\partial y} \frac{\partial}{\partial L_3} = \\ &= \frac{1}{2A} \left(c_1 \frac{\partial}{\partial L_1} + c_2 \frac{\partial}{\partial L_2} + c_3 \frac{\partial}{\partial L_3} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Окончательно выражение для прогиба через узловые перемещения принимает вид:

$$w = \{ \{N_1\} \quad \{N_2\} \quad \{N_3\} \} \{U\}, \quad (4)$$

где $\{N_1\}, \{N_2\}, \{N_3\}$ – функции формы.

$$\{N_1\}^T = \left\{ \begin{array}{l} L_1 + L_2^2 L_2 + L_1^2 L_3 - L_1 L_2^2 - L_1 L_3^2 \\ b_3 (L_1^2 L_2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) - b_2 (L_3 L_1^2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) \\ c_3 (L_1^2 L_2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) - c_2 (L_3 L_1^2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) \end{array} \right\} \quad (5)$$

Чтобы получить выражения для $\{N_2\}$ и $\{N_3\}$, достаточно в (5) выполнить циклическую замену индексов.

Для получения разрешающих уравнений применим вариационный принцип Лагранжа. Потенциальная энергия деформации записывается в виде:

$$W = \frac{1}{2} \int_V \{ \sigma \}^T \{ \epsilon \} dV, \quad (6)$$

где $\{ \sigma \}^T = \{ \sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy} \}$ – вектор напряжений,

$\{ \epsilon \} = \{ \epsilon_x \quad \epsilon_y \quad \gamma_{xy} \}^T$ – вектор деформаций.

Для ортотропного материала связь между напряжениями и деформациями имеет вид:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E_1} - \nu_2 \frac{\sigma_y}{E_2}; \\ \epsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E_2} - \nu_1 \frac{\sigma_x}{E_1}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G}. \end{aligned} \quad (7)$$

Упругие постоянные однонаправленного углепластика приводятся в работе [2]:

$$E_1 = 259.3 \text{ ГПа}; E_2 = 4.49 \text{ ГПа};$$

$$G = 3.1 \text{ ГПа}; \nu_1 = 0.404; \nu_2 = 0.007$$

Выразим из (7) напряжения через деформации:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E_1}{1 - \nu_1 \nu_2} (\epsilon_x + \nu_2 \epsilon_y); \\ \sigma_y &= \frac{E_2}{1 - \nu_1 \nu_2} (\nu_1 \epsilon_x + \epsilon_y); \\ \tau_{xy} &= G \gamma_{xy}. \end{aligned} \quad (8)$$

Или в матричном виде:

$$\{ \sigma \} = [D] \{ \epsilon \}, \quad (9)$$

где $[D] = \frac{1}{1 - \nu_1 \nu_2} \begin{bmatrix} E_1 & E_1 \nu_2 & 0 \\ E_2 \nu_1 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & G(1 - \nu_1 \nu_2) \end{bmatrix}$.

Связь деформаций и перемещений имеет вид:

$$\{ \epsilon \} = -z \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} = -z \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 \{N\}}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 \{N\}}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 \{N\}}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \{U\} = -z [B] \{U\}. \quad (10)$$

Элементы матрицы $[B]$ зависят от x и y . Данная матрица может быть получена при помощи библиотеки символьных вычислений пакета Matlab.

Учитывая (10), векторы напряжений и деформаций можно записать в виде:

$$\{ \epsilon \} = -z [B] \{U\}; \quad \{ \sigma \} = -z [D] [B] \{U\}. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (6), получим:

$$W = \frac{1}{2} \int_V z^2 \{U\}^T [B]^T [D] [B] \{U\} dV = \quad (12)$$

$$= \frac{1}{2} \{U\}^T \frac{h^3}{12} \int_A [B]^T [D] [B] dA \{U\}.$$

Работа внешних узловых сил представляет сумму их произведений на соответствующие узловые перемещения:

$$A = \{U\}^T \{F\}. \quad (13)$$

Минимизируя функционал Лагранжа $\Lambda = W - A$ по узловым перемещениям $\{U\}$, получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{U\} = \{F\},$$

где $\{F\}$ – вектор внешних узловых нагрузок,

$$[K] = \frac{h^3}{12} \int_A [B]^T [D] [B] dA - \text{матрица жесткости.}$$

Поскольку элементы матрицы $[B]$ зависят от x и y , для вычисления матрицы жесткости используется численное интегрирование. Переменная толщина пластинки учитывается достаточно просто, поскольку ее можно задать различной для каждого конечного элемента. При расчете принимаем, что толщина в зависимости от x меняется по линейному закону:

$$h(x) = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{l} x,$$

где h_1 – толщина пластинки в защемлении, h_2 – толщина на свободном конце, l – расстояние от свободного конца до зоны опирания.

При вычислении толщины каждого конечного элемента в качестве x принимается координата его центра тяжести, отсчитываемая от опорной зоны.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Был выполнен расчет на вертикальную составляющую нагрузки пластинки переменной толщины при $h_1 = 10$ мм и $h_2 = 8$ мм а также пластинки постоянной толщины при $h_1 = h_2 = 8$ мм. Для второго случая расчет также был произведен в программном комплексе Sofistik. На рис. 3 показаны графики перемещений w в зависимости от x и y , полученные нами в пакете Matlab. Сетчатой поверхности соответствует результат для пластинки постоянной толщины, закрашенной – для пластинки переменной толщины. Конечно-элементная модель в программном комплексе Sofistik и изополю перемещений для пластинки постоянной толщины приведены соответственно на рис. 4 и рис.5.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) рессоры (рис. 1) было произведено трехмерное моделирование ее нагружения методом конечных элементов (МКЭ) в среде ANSYS. Графическая модель построена в среде Компас 3D и экспортирована в ANSYS в формате ACIS (рис. 5). Поскольку задача является симметричной относительно координатных плоскостей декартовой

системы координат, для упрощения модели и сокращения времени счета была рассмотрена 0,5 консольной части.

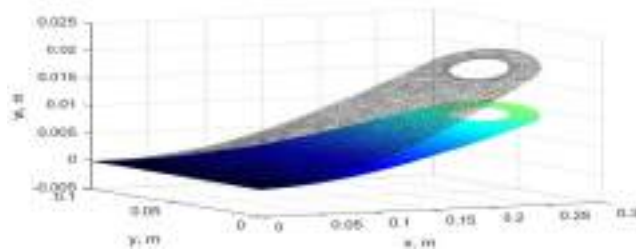


Рис. 3. Изменение перемещений в зависимости от x и y для пластинки постоянной и переменной толщины



Рис. 4. Конечно-элементная модель в программном комплексе Sofistik

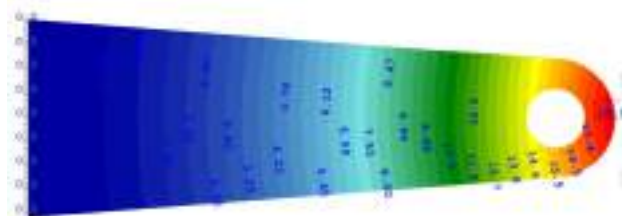


Рис. 5. Изополю перемещений в мм, полученные в ПК Sofistik

В первом приближении лист был рассмотрен постоянной толщины, которая составила 8 мм. Расстояние от начала координат до центра отверстия составило 300 мм.

Для моделирования тела рессоры были применены десять узловых квадратичные элементы SOLID92 (II порядка) в виде тетраэдра (рис. 3). Количество элементов варьировалось от 2 000 до 80 000, количество узлов от 4 000 до 120 000 для достижения достаточной точности решения.

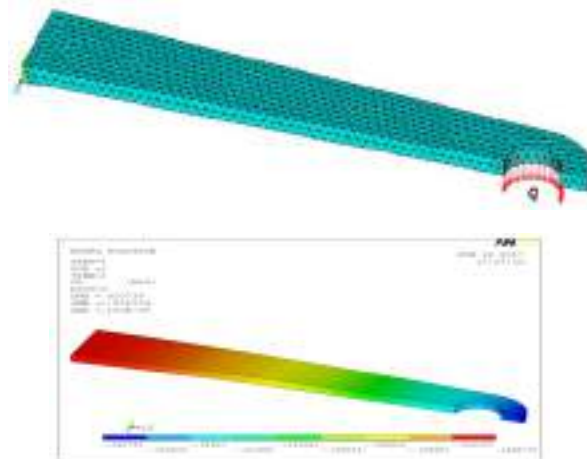


Рис.6. Конечно-элементная модель

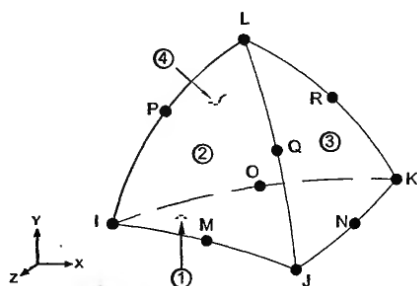


Рис. 7. Геометрия применяемого элемента SOLID92

Механические характеристики элемента были определены упругими константами ортотропного материала в соответствии с направлениями осей (рис. 5 – 6):

модуль упругости в направлении оси Ox (E_x): $2,59 \cdot 10^{11}$ Па;

модули сдвига по осям (G): $3,1 \cdot 10^9$ Па;

коэффициент Пуассона в направлении оси Ox (ν_x): $0,404$;

коэффициент Пуассона в направлении осей Oy (ν_y) и Oz (ν_z): $0,007$.

Модуль упругость по направлениям осей Oy и Oz можно определить по формуле:

$$E_y = E_z = E_x \frac{\nu_y}{\nu_x} \quad (1)$$

Анализ результатов показывает, что максимальный прогиб U_y под действием нагрузки $F = 2,5$ кН составил $20,7$ мм; максимальные растягивающие напряжения в направлении оси Ox – 713 МПа, сжимающие – 748 МПа.

Анализ результатов для решения задачи при переменной толщине листа показывает, что максимальный прогиб U_y под действием нагрузки $F = 2,5$ кН составил $12,8$ мм; максимальные растягивающие напряжения в направлении оси Ox – 473 МПа, сжимающие – 467 МПа.

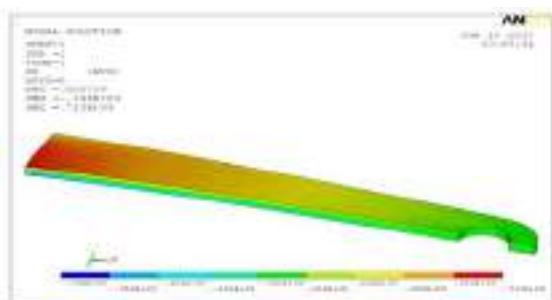


Рис. 9. Поля нормальных напряжений σ_x (Па) при постоянной толщине листа

ВЫВОДЫ

При расчете в пакете Matlab наибольшая величина прогиба для пластинки постоянной толщины составила $20,1$ мм, для пластинки переменной толщины – $10,5$ мм. В программном комплексе Sofistik в случае постоянной толщины $w_{\max} = 18,8$ мм.

Разработанная методика и пакет программ в среде Matlab позволяет рассчитывать ортотропные пластинки переменной толщины произвольной формы. Выполнено сравнение результатов с программным комплексом Sofistik, и получено удовлетворительное совпадение результатов.

Сравнение результатов решения, полученных для листа рессоры равной толщины и переменной толщины показали снижение величины максимального прогиба на 38% , растягивающих и сжимающих напряжений на 34%

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.L. Gol'Denveizer. Theory of Elastic Thin Shells: Solid and Structural Mechanics. Vol. 2. Elsevier, 2014.
2. Benson, D. J., et al. A large deformation, rotation-free, isogeometric shell. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 200.13 (2011): 1367-1378.
3. A. Tomás, P. Martí. Shape and size optimisation of concrete shells. Engineering Structures 32.6 (2010): 1650-1658.
4. G. Gerard. A critical strain approach to creep buckling of plates and shells. Journal of the Aerospace Sciences (2012).
5. H. Altenbach, K. Naumenko. Shear correction factors in creep-damage analysis of beams, plates and shells." JSME International Journal Series A Solid Mechanics and Material Engineering 45.1 (2002): 77-83.
6. J. Bockhold, Y. S. Petryna. Creep influence on buckling resistance of reinforced concrete shells. Computers & structures 86.7 (2008): 702-713.
7. A. E. Gemma The creep deformation of symmetrically loaded circular cylindrical shells. Journal of the Aerospace Sciences (2012).
8. J. T. Boyle, J. Spence. Stress analysis for creep. Elsevier, 2013.
9. А. Тамразян, Механика бетонной ползучести: монография (Москва, 2012)
10. Diab, Hesham, and Zhishen Wu. A linear viscoelastic model for interfacial long-term behavior of FRP-concrete interface. Composites Part B: Engineering 39.4 (2008): 722-730.
11. Creus, Guillermo J. Viscoelasticity—basic theory and applications to concrete structures. Vol. 16. Springer Science & Business Media, 2012.
12. Hattel, J. H., and Jesper Thorborg. A numerical model for predicting the thermomechanical conditions during hydration of early-age concrete. Applied Mathematical Modelling 27.1 (2003): 1-26.
13. L.R. Mailyan, A.S. Chepurnenko, A. Ivanov, Calculation of prestressed concrete cylinder considering creep of concrete, Procedia Engineering, 165 (2016). pp. 1853–1857
14. V.I. Andreev, A.S. Chepurnenko, B.M. Yazyev. Energy method in the calculation stability of compressed polymer rods considering creep, Advanced Materials Research, 1004-1005 (2014). pp. 257-260.
15. V.I. Andreev, B.M. Yazyev, A.S. Chepurnenko, On the Bending of a Thin Plate at

Nonlinear Creep, *Advanced Materials Research*, 900 (2014). pp. 707-710.

16. A.S. Chepurenko, A.V. Saibel, B.M. Yazyev, Determination of the Breaking Load for Concrete Slabs Based on the Deformation Theory of Plasticity, *Procedia Engineering*, 150 (2016). pp. 1694-1700.

17. A.S. Chepurenko, B.M. Yazyev, A.A. Savchenko, Calculation for the Circular Plate on Creep Considering Geometric Nonlinearity, *Procedia Engineering*, 150 (2016)

REFERENCES

1. A. L. Gol Denveizer. *Theory of Elastic Thin Shells: Solid and Structural Mechanics*. Vol. 2. Elsevier, 2014.

2. Benson, D. J., et al. A large deformation, rotation-free, isogeometric shell. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 200.13 (2011): 1367-1378.

3. A. Tomás, P. Martí. Shape and size optimisation of concrete shells. *Engineering Structures* 32.6 (2010): 1650-1658.

4. G. Gerard. A critical strain approach to creep buckling of plates and shells. *Journal of the Aerospace Sciences* (2012).

5. H. Altenbach, K. Naumenko. Shear correction factors in creep-damage analysis of beams, plates and shells." *JSME International Journal Series A Solid Mechanics and Material Engineering* 45.1 (2002): 77-83.

6. J. Bockhold, Y. S. Petryna. Creep influence on buckling resistance of reinforced concrete shells. *Computers & structures* 86.7 (2008): 702-713.

7. A. E. Gemma, The creep deformation of symmetrically loaded circular cylindrical shells. *Journal of the Aerospace Sciences* (2012).

8. J. T. Boyle And J. Spence. *Stress analysis for creep*. Elsevier, 2013.

9. A. Tamrazyan, the *Mechanics of concrete creep: a monograph* (Moscow, 2012)

10. Diab, Hesham, and Zhishen Wu. A linear viscoelastic model for interfacial long-term behavior of FRP–concrete interface. *Composites Part B: Engineering* 39.4 (2008): 722-730.

11. Creus, Guillermo J. *Viscoelasticity—basic theory and applications to concrete structures*. Vol. 16. Springer Science & Business Media, 2012.

12. Hattel, J. H., and Jesper Thorborg. A numerical model for predicting the thermomechanical conditions during hydration of early-age concrete. *Applied Mathematical Modelling* 27.1 (2003): 1-26.

13. L. R. Mailyan, A. S. Chepurenko, A. Ivanov, Calculation of prestressed concrete cylinder considering creep of concrete, *Procedia Engineering*, 165 (2016). pp. 1853-1857

14. V. I. Andreev, A. S. Chepurenko, B. M. Yazyev. Energy method in the calculation of stability of compressed rods polymer considering creep, *Advanced Materials Research*, 1004-1005 (2014). pp. 257-260.

15. Andreev V. I., Yazyev B. M., Chepurenko A. S., On the Bending of a Thin Plate at Nonlinear Creep, *Advanced Materials Research*, 900 (2014). pp. 707-710.

16. A. S. Chepurenko, V. A. Saibel, Yazyev B. M., Determination of the Breaking Load for Concrete Slabs Based on the Deformation Theory of Plasticity, in *Procedia Engineering*, 150 (2016). pp. 1694-1700.

17. A. S. Chepurenko, B. M. Yazyev, A. A. Savchenko, Calculation for the Circular Plate on Considering the Geometric nonlinearity is Creep, *Procedia Engineering*, 150 (2016)

Yazyeva S.B., Yazyev S.B., Zotov I.M., Yazyev B.M.

ESTIMATION OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE VARIABLE THICKNESS PLATE IN CONDITIONS OF BENDING

Summary. In this paper, the calculation technique of an orthotropic plate (CFRP) of variable thickness is considered. The solution is performed by a numerical finite element method with software implementation in the Matlab package and using the Sofistik and ANSYS software packages. In particular, the calculation of the springs of a hang glider made of CFRP is given.

Key words: spring, displacement, stress, variable thickness, triangular finite element model

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ПЛОЩАДКАХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ.

Стасева Е.В., Пушенко С.Л.

Донской государственный технический университет (ДГТУ)

Адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,

elena_staseva@mail.ru, slpushenko@yandex.ru

Аннотация: В статье приведены результаты исследования условий труда работников в подразделениях строительной организации. Проведен анализ данных, полученных в результате проведения специальной оценки условий труда (СОУТ) на предприятии. Выявлены наиболее характерные вредные производственные факторы, а так же представлено распределение рабочих мест с влиянием идентифицированных вредных и (или) опасных производственных факторов. Предложен метод комплексной оценки и управления рисками на рабочих местах строителей, основными этапами которого являются: идентификация факторов риска на основе данных СОУТ, характеристики условий жизнедеятельности, анализа технологического процесса, статистических данных профзаболеваемости и производственного травматизма; количественной оценки рисков; анализа полученных значений и разработка системы мероприятий, направленных на снижение влияния факторов условий труда и жизнедеятельности на работников.

Ключевые слова: строительство, условия труда, вредные производственные факторы, оценка и управление рисками

ВВЕДЕНИЕ

Данные статистики подтверждают рост производственного травматизма среди работников строительных предприятий. Основными причинами которого являются: неудовлетворительная организация производства строительно-монтажных работ, ошибки и нарушение работниками на строительных площадках требований охраны труда, невнимательность, недостатки в обучении и организации работ по безопасности труда [1, 2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ литературных данных [3, 4, 6] показал, что работники предприятий строительной индустрии подвергаются комбинированному воздействию различных вредных производственных факторов, формирующих риски производственного травматизма и развития профессиональной заболеваемости. В работах приводится анализ рисков охраны труда их систематизация и разработан методический подход к оценке и управлению рисками в организации охраны труда [5, 3-7].

Факторы труда различны для конкретных профессий строителей, отличаются как по количественным показателям, так продолжительности воздействия и обусловлены особенностями трудового процесса. Авторами многих публикаций установлено, что характер заболеваний имеет определенную связь с условиями труда работающих [8].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью проводимого исследования является анализ влияния условий труда на работников предприятий строительной индустрии, и разработка мероприятий по предупреждению профзаболеваний и травматизма на основе комплексной оценки и анализа рисков.

В работе решались следующие задачи:

- анализ травматизма и профессиональной заболеваемости на производстве;
- исследование и анализ состояния условий труда строителей по материалам СОУТ;
- количественная оценка рисков влияния вредных производственных факторов условий труда на основе данных СОУТ;
- разработка метода комплексной оценки и управления рисками на рабочих местах строителей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы исследования включали: изучение научных разработок и существующих публикаций в области управления охраной труда и оценки рисков; анализ влияния вредных производственных факторов на работников; использование данных официальной статистики; обработка практических результатов специальной оценки условий труда (СОУТ) рабочих мест методами математической статистики и графического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Оценка и управление рисками является составной частью системы управления охраной труда, направленной на формирование и поддержание профилактических мероприятий по предупреждению производственного травматизма и профзаболеваний [3].

Основным информационным элементом в процедуре анализа и оценке рисков охраны труда в настоящее время является оценка условий труда по результатам СОУТ. Неблагоприятные условия труда являются факторами риска для здоровья работников строительной отрасли, приводя к развитию производственно обусловленных и профессиональных заболеваний [5, 8].

В ходе выполнения СОУТ, проводится идентификация вредных и (или) опасных производственных факторов, определение условий труда на рабочих местах строителей, а также оценка уровня воздействия идентифицированных факторов на работников. Основная цель проводимой спецоценки - контроль соответствия условий труда критериям, принятым в законодательстве и установление класса условий труда на рабочих местах.

В рамках СОУТ на рабочих местах строителей проводится также экспертная оценка безопасности по факту обеспечения работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, а также осуществлены инструментальные замеры фактических значений ОВПФ, воздействие которых оказывают пагубное влияние на здоровье работников и могут привести к его ухудшению. Идентификация и определение факторов производственной среды и их источников на рабочих местах в организации, проводится за счет обследования и осмотра рабочих мест, а также изучения выполняемых работником операций в режиме штатной работы [2, 3].

На основании анализа материалов специальной оценки условий труда и оценки влияния вредных и опасных производственных факторов присваиваются классы условий труда по каждому фактору и по каждому рабочему месту. В итоге получаем распределение рабочих мест по классам условий труда и по влиянию вредных и опасных производственных факторов. Согласно итоговому распределению рабочих мест по классам условий труда и по влиянию факторов, устанавливается перечень рабочих мест наиболее подверженных влиянию вредных условий труда.

Проведенные исследования состояния условий труда на предприятиях строительной индустрии показали следующие результаты. Согласно итоговому распределению рабочих мест по классам условий труда установлено, что условия труда 65,6 % рабочих мест в организациях относятся к оптимальным и допустимым, а 42,4 % рабочих мест с вредными и опасными условиями труда (3 класс). Условия труда в строительном производстве характеризуются повышенными уровнями шума и вибрации, большинство рабочих мест характеризуются тяжестью и напряженностью труда. Все это способствует развитию профзаболеваний. Основное место в структуре заболеваемости среди строителей занимают болезни периферической нервной системы, нервно-мышечного и опорно-двигательного аппарата сердечнососудистая патология, хронические неспецифические болезни легких, болезни желудочно-кишечного тракта. Установлено, что характер заболеваний имеет определенную связь с условиями труда работающих [].

В ходе проведенных исследований по специальной оценке условий труда, установлено, что:

- 16 % рабочих мест подвергаются влиянию химического фактора;
- 36 % рабочих мест подвергаются влиянию шума;

- 13 % рабочих мест подвергаются влиянию общей вибрации;

- 4,6 % рабочих мест подвергаются влиянию локальной вибрации;

- 76 % рабочих мест подвергаются влиянию тяжести трудового процесса;

- 10,8% рабочих мест подвергаются влиянию напряженности трудового процесса.

По результатам специальной оценки условий труда был разработан перечень рекомендуемых мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда для рабочих мест строителей с вредными условиями труда. Основными профессиями с вредными условиями труда являются: каменщик, плотник, монтажник, водитель и маляр [10].

Но в процессе СОУТ идентифицируются только риски влияния условий труда, при этом не учитываются механизмы оценки производственных и социальных рисков. Производственные риски характеризуются множеством причинных факторов, из которых можно выделить два наиболее главных: опасные условия труда и опасные действия на рабочем месте. В этой связи одним из важных принципов управления охраной труда в строительстве является оценка и управление рисками в организации охраны труда []. Мерой риска согласно руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников (Р 2.2.1766-03) определен класс условий труда. Каждому классу условий труда соответствует определенный риск, выраженный как качественной величиной – категорией профессионального риска (от пренебрежимо малого до сверхвысокого), так и количественной величиной – индексом профессиональной заболеваемости [].

Согласно "Методике оценки и управления рисками в организации охраны труда" предложено присваивать баллы КУТ и ОВПФ, а затем обрабатывать их по соответствующим формулам. Расчет рисков влияния (классов условий труда и вредных производственных факторов) проводится на основании практических результатов оценки условий труда рабочих мест предприятия (СОУТ). На основании полученных значений рисков и в соответствии с предложенной шкалой оценки значимости рисков, осуществляется выбор стратегии по управлению рисками и соответствующих решений по организации охраны труда на предприятии. По результатам оценки и анализа рисков, и выборе стратегии управления, приоритетным считается то направление, где значение риска наибольшее.

На протяжении последних лет кафедра "Безопасность технологических процессов и производств" ДГТУ проводит научные исследования, направленные на совершенствование системы управления охраной труда в строительстве на основе внедрения системы оценки и управления рисками [2, 3-5].

На основе концептуальной модели, разработан метод комплексной оценки и управления рисками на

рабочем месте, основные этапы и положения которого включают в себя следующие этапы:

1 этап: Идентификация факторов риска на основе данных: материалов специальной оценки условий труда (СОУТ), сведений об условиях жизнедеятельности работника: возраст, стаж, условия проживания работника, условия труда, вредные привычки; анализа технологического процесса или порядка производства работ и последовательности технологических операций; данных статистики по профзаболеваниям и производственному травматизму: в отрасли, по профессии, на рабочем месте; материалов предварительных и периодических медицинских осмотров: выявление характерных для данной профессии профзаболеваний.

2 этап - Количественная оценка (расчет) рисков, включающий в себя: расчет риска влияния вредных и опасных производственных факторов в зависимости от класса условий труда – R ОВПФ;

- Количественная оценка влияния условий жизнедеятельности на продолжительность жизни человека: Расчёт величины сокращения продолжительности жизни работника – R СПЖ;

- Определение степени профессионального риска методом расстановки приоритетов - оценка трамвоопасности технологического процесса;

- Оценка риска профессиональной заболеваемости – ИПЗ.

3 этап - Анализ комплексной оценки рисков на рабочем месте.

4 этап - Разработка и внедрение системы мероприятий по предупреждению профзаболеваний и травматизма на основе комплексной оценки рисков, включающей:

- Снижение риска влияния ОВПФ на рабочем месте за счет улучшение условий труда посредством снижение уровней ОВПФ и(или) применения сертифицированных СИЗ. Результат: снижение класса условий труда (КУТ).

- Совершенствование технологического процесса, своевременное проведение обучения и инструктажей. Результат: предупреждение производственного травматизма.

Своевременное проведение медицинских осмотров: акцент на профзаболевания характерные для профессии. Результат: профилактика профзаболеваний.

Внедрение здоровьесберегающих технологий и мероприятий. Пропаганда здорового образа жизни. Результат: предупреждение сокращения продолжительности жизни.

На основании разработанного метода проведена количественная оценка рисков на рабочем месте монтажника. По результатам расчётов риска влияния условий труда на рабочем месте монтажника, определен очень высокий (непереносимый) риск – 5,76.

Расчёт количественной оценки влияния условий жизнедеятельности по факторам вредности и трамвоопасности на продолжительность жизни работника показал, что суммарный ущерб здоровью работника составляет 408 суток.

Основной составляющей ущерба является такие неблагоприятные факторы, как общая вибрация и комбинированное негативное воздействие опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте монтажника. Намного меньше влияет на среднюю продолжительность жизни вредные привычки – курение, экология и пользование общественным транспортом.

Риск гибели монтажника в производственных условиях составляет $1,5 \cdot 10^{-4}$, в непроизводственных условиях $6,0 \cdot 10^{-6}$.

Проведённые расчеты по определению степени профессионального риска методом расстановки приоритетов показали, что почти все операции технологического процесса приносят риск в работу монтажника. Полученные результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Комплексная оценка рисков на рабочем месте монтажника и мероприятия по управлению риском

Наименование показателя	Величина показателя	Категория профессионального риска	Фактор риска	Мероприятия по управлению риском
Риск влияния вредных и опасных производственных факторов в зависимости от класса условий труда – R ОВПФ	5,76	Очень высокий (непереносимый) риск	Условия труда: влияние ОВПФ	Снижение влияния ОВПФ
Величина сокращения продолжительности жизни работника – R СПЖ, сут	408		Условия труда: влияние ОВПФ Образ жизни: вредные привычки	Снижение влияния ОВПФ Здоровый образ жизни
Риск получения травмы работника на производстве – R _{тп} пр	0,005	высокий	Условия труда	Организационные, инженерно-технические мероприятия
Риск гибели работника на производстве – R _{си} пр	$1,5 \cdot 10^{-4}$	высокий	Условия труда	Организационные, инженерно-технические мероприятия
Риск при выполнении технологического процесса – R _{мп} п	1,002	Опасные условия (по классификации трамвоопасности)	Технологический процесс	Организационные, инженерно-технические мероприятия
Индекс профзаболеваний – Ипз (постр./чел)	0,12 - 0,24	Средний существенный риск	Условия труда (класс 3.2)	Снижение влияния ОВПФ

ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод комплексной оценки риска основан на получении показателей риска путем количественной оценки следующих составляющих:

- риска влияния условий труда по результатам гигиенической оценки условий труда (СОУТ);
- ущерба здоровью при работе в неблагоприятных условиях труда и жизнедеятельности;
- профессионального риска травматизма (гибели) на производстве;
- риска травматизма (гибели) в непроизводственных условиях;
- индивидуальной оценки профессионального риска при использовании оборудования и ведении рабочего процесса;
- риска профессиональной заболеваемости.

Этапы количественной оценки степени воздействия факторов риска состоят из определенных шагов по формированию количественных оценок системообразующих показателей с установлением связей с факторами риска. Последовательное проведение всех этапов оценки и анализа рисков имеет своей конечной целью определение величины риска, необходимого для разработки мероприятий по управлению риском.

Результаты комплексной оценки рисков на рабочих местах строителей позволили обосновать алгоритм и разработать систему мероприятий по управлению рисками охраны труда. Мероприятия по улучшению условий труда, предупреждению профзаболеваний и травматизма на рабочих местах предложено проводить по трём направлениям [6]:

- организационные мероприятия;
- лечебно-профилактические;
- инженерно-технические.

Таким образом, предлагаемый метод комплексной оценки рисков позволяет решать проблемы не только оценки, но также и мониторинга существующих рисков на рабочих местах строителей, своевременно принимать меры по их устранению или предупреждению.

Комплексная оценка рисков может быть использована для:

- получения прогнозов о травмоопасности на рабочих местах;
- разработки превентивных мероприятий по повышению безопасности отдельных видов работ;
- информирования работников о величине профессиональных рисков на рабочих местах;
- разработки мероприятий по охране труда на конкретном рабочем месте с целью повышения безопасности.

Предложенный метод комплексной оценки и управления рисками направлен на совершенствование системы охраны труда, улучшение защищенности работников, что, в свою очередь, будет способствовать увеличению производительности и эффективности труда,

профилактике и предупреждению травматизма и профзаболеваемости в любом производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности. Часть 1. Организационно-правовые основы охраны труда: учебное пособие. // Пушенко С.Л., [и др.] - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2013. 97 с.;
2. Безопасность жизнедеятельности. Часть 3. Безопасность производства работ (техника безопасности): учебное пособие // Пушенко С.Л. [и др.]. - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. 193 с.
3. Стасева Е.В., Пушенко С.Л. Основы методического подхода к совершенствованию организации охраны труда в строительстве на основе системы управления рисками. // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4-1 (22). С. 165.
4. Пушенко С.Л., Стасева, Е.В. Использование системного подхода в проектировании деятельности системы управления охраной труда строительной организации // Интернет-вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та; Сер.: Политематическая - Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – Вып. 3(17). – <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&artid=591>.
5. Стасева Е.В., Пушенко С.Л. Организация управления охраной труда в контексте анализа оценки степени риска // «Научное обозрение», 2012, № 6, с.180 – 182
6. Стасева Е.В., Теплякова Н.А. Методы учета и анализа травматизма на производстве // Строительство-2014. Проблемы и перспективы развития современных инженерно-экологических систем: материалы Международной научно-практической конференции. Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов-н/Д, 2014. с. С.69–72.
7. Стасева Е.В., Пушенко С.Л. Материалы специальной оценки условий труда как основа для профилактической работы по охране труда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 46 (65). С. 110-118.
8. Стасева Е.В., Кочнев А.Д. Актуальные проблемы профилактики профессиональной заболеваемости связанной с условиями труда среди маляров // Научное обозрение, 2016, № 18, с.207-210.
9. Пушенко С.Л., Стасева Е.В. Анализ и профилактика производственного травматизма при возведении высотных зданий и выполнении работ на высоте // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 44-2 (63), с.157-165.
10. Стасева Е.В., Пушенко С.Л. Материалы специальной оценки условий труда как основа для профилактической работы по защите человека на производстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 46 (65), с.110-117.

REFERENCES

1. Health and safety. Part 1. Organizational and legal bases of labor protection: manual//Pushengko S.L., [etc.] - Rostov N / Д: Body height. state. builds. un-t, 2013. 97 pages;
 2. Health and safety. Part 3 Safety of works (safety measures): manual//Pushengko S.L. [etc.]. - Rostov N / Д: Body height. state. builds. un-t, 2015. 193 pages.
 3. Staseva E.V., Pushengko S.L. Bases of methodical approach to improvement of the organization of labor protection in construction on the basis of a risk management system//Engineering bulletin of Don. 2012. T. 22. No. 4-1 (22). Page 165.
 4. Pushengko S.L., Staseva, E.V. Use of systemic approach in projection of activity of a control system of labor protection of the construction organization//the Internet messenger Volgogr. state. arkh. - builds. un-that; It is gray.: Polythematic - Volgograd: ВолгГАСУ, 2011. – Issue 3(17). – <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articulo=591>.
 5. Staseva E.V., Pushengko S.L. The organization of management of labor protection in the context of the analysis of assessment of degree of risk//“A scientific review”, 2012, No. 6, page 180 – 182
 6. Staseva E.V., Teplyakova N.A. Methods of account and the analysis of traumatism on production//Construction-2014. Problems and prospects of development of modern engineering-ecological systems: materials of the International scientific and practical conference. Body height. state. builds. un-t. – Body heights N / Д, 2014. page of Page 69-72.
 7. Staseva E.V., Pushengko S.L. Materials of special assessment of working conditions as basis for scheduled maintenance on labor protection//Bulletin of the Volgograd state architectural and construction university. Series: Construction and architecture. 2016. No. 46 (65). Page 110-118.
 8. Staseva E.V., Kochnev A.D. Current problems of prophylaxis of the professional case rate bound to working conditions among painters//the Scientific review, 2016, No. 18, page 207-210.
 9. Pushengko S.L., Staseva E.V. The analysis and prophylaxis of operational injuries at construction of high-rise buildings and performance of work at height//the Bulletin of the Volgograd state architectural and construction university. Series: Construction and architecture. 2016. No. 44-2 (63), page 157-165.
 10. Staseva E.V., Pushengko S.L. Materials of special assessment of working conditions as a basis for scheduled maintenance on protection of the person on production//the Bulletin of the Volgograd state architectural and construction university. Series: Construction and architecture. 2016. No. 46 (65), page 110-117.
- Staseva E.V., Pushenko S.L.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF INTEGRATED ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT AT THE SITE OF ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY

Summary. In article results of a research of working conditions of workers are given in divisions of the construction organization. The analysis of the data obtained as a result of carrying out the special assessment of working conditions (SAWC) at the enterprise is carried out. The most characteristic harmful production factors are revealed, and distribution of jobs with influence of the identified harmful and (or) dangerous production factors is also presented. The method of complex assessment and risk management in workplaces of builders which main stages are is offered: identification of risk factors on the basis of data of SOUT, the characteristic of conditions of activity, the analysis of technological process, statistical data of professional incidence and operational injuries; quantitative assessment of risks; the analysis of the received values and development of the system of the actions directed to decrease in influence of factors of working conditions and activity on workers.

Key words: construction, working conditions, harmful production factors, assessment and risk management

СОСТАВНЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ БАЛКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ ПО КАРКАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Синцов А.В.

Академия строительства и Архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

e-mail: sintsov_a.v@mail.ru

Аннотация: Составные стержни из древесины представляют собой особый тип конструкций, характер работы которых качественно отличается от подобных стержней из других строительных материалов. Их специфика заключается в том, что механические связи, соединяющие отдельные слои, являются податливыми. Это вносит существенные особенности при расчете таких конструкций. Статья посвящена исследованиям напряженно-деформированного состояния составных деревянных балок со стенкой из ориентировано-стружечной плиты (ОСП). Представлено конструктивное решение составной балки и результаты экспериментальных и численных исследований ее работы под нагрузкой.

Ключевые слова: составная деревянная балка, пояса из древесины, плита OSB, метод конечного элемента, расчетная модель.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Крыму развивается отрасль строительства - строительство малоэтажных зданий, как в жилищном секторе, так и в области возведения производственных зданий различного назначения. При расходовании на нужды малоэтажного строительства огромных объемов материальных и энергетических ресурсов повышение эффективности их использования приобретает существенное значение и становится важной народнохозяйственной проблемой.

Деревянный каркасный дом является одним из лучших изобретений архитектурной мысли человека. Этот выбор обусловлен постоянно растущими требованиями западных потребителей к экологичности, энергосберегаемости и комфортабельности жилья. Современный опыт малоэтажного строительства в нашей стране и за рубежом показывает, что наибольшим спросом на рынке недвижимости пользуются строительные конструкции, выполненные из экологически чистых материалов, в частности из цельной древесины [3, 12, 18].

Составные стержни из древесины представляют собой особый тип конструкций, характер работы которых качественно отличается от подобных стержней из других строительных материалов. Их специфика заключается в том, что механические связи, соединяющие отдельные слои, являются податливыми. Это вносит существенные особенности при расчете таких конструкций [4, 7, 8,14].

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

В 80-х годах XX века, когда в Японии только начинали строиться первые деревянно-каркасные дома, консервативное население этой страны неохотно их приобретало. Однако, после крупного землетрясения в Киото, которое обернулось настоящей катастрофой для населения Японии, каркасные дома остались одними из немногих зданий, которые не подверглись разрушению,

доказав тем самым полную безопасность для проживающих в них людей и прочность своей конструкции. С тех пор более 75 % населения Японии выбирают именно деревянно-каркасные дома [18].



Рис. 1. Двухэтажное здание с деревянным каркасом

Основой домов, построенных по деревянно-каркасной технологии, является двутавровая балка, изготовленная в заводских условиях из деревянного клееного бруса и плиты OSB (oriental strand board) или ОСП (ориентировано - стружечная плита). Высокая механическая прочность и устойчивость к внешним воздействиям (в том числе влаги) позволяет использовать OSB в любой сфере хозяйственной деятельности. Для изготовления OSB используется тонкомерная и неделовая древесина хвойных пород, быстрый рост которых обеспечивает получение недорогого сырья [5,6].

Одним из путей снижения трудовых и материальных затрат является широкое применение в малоэтажном строительстве составных деревянных индустриальных конструкций с использованием нагельных соединений. Для применения в качестве несущих элементов каркаса были разработаны двутавровые и коробчатые балки деревянные балки, в которых соединение

деревянных поясов со стенкой из OSB выполнено металлическими нагелями – анодированными саморезами. Такие деревянные балки – конструктивный элемент, применяемый для строительства домов по каркасной технологии, устройства перекрытий, конструкций крыш и мансард. Формула «дерево + OSB + дерево» позволяет избежать недостатков, присущих древесине, а благодаря двутавровому и коробчатому сечениям достигаются высокие прочностные характеристики элемента [6,10,11,13].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель расчета – определение напряженно-деформированного состояния элементов составной двутавровой деревянной балки, изготовленной из деревянного бруса – пояса и плиты OSB – стенка, соединение поясов со стенкой – стальные нагели (рис.2) [1,2,10].

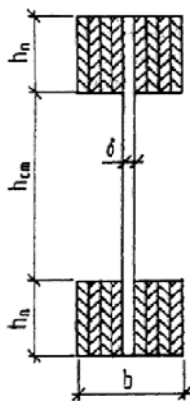


Рис. 2. Поперечное сечение составной балки

Для численных исследований были созданы компьютерные модели составных балок в программном комплексе «Лира», возможности которого, позволяют по результатам расчета при отображении напряженно-деформированного состояния объекта произвести детальный анализ полученных данных по полям перемещений и напряжений, по эпюрам усилий и прогибов, по мозаикам разрушения элементов, по главным и эквивалентным напряжениям и по многим другим параметрам [20].

Расчетная модель составной балки (рис.2) с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах создана из пластинчатых элементов. Жесткостные характеристики элементов балки приняты – для поясов сечением $h_n = 35$ мм и $b = 80$ мм – дерево сосна 2-го сорта, для стенки – плита OSB толщиной $\delta = 10$ мм и высотой $h_{ст} = 180$ мм, стальные нагели диаметром 6 мм [9,7,15,19].

Расчетная схема балки – балка на двух опорах загруженная сосредоточенной силой в середине пролета. Размеры элементов расчётной модели приняты по осям конструктивных элементов [4,16-18].

Первоначально в качестве основного элемента для создания расчетной модели принят конечный элемент 41 – элемент для создания оболочки, и прочих пластинчатых конструкций, металлические нагели также создавались на основе данного конечного элемента [20].

Задача решалась в упругой и нелинейной постановках, при этом элементам 41 присваивалась жесткость 241, которая позволяла учитывать закон деформирования материалов элементов составной двутавровой балки со стенкой из плиты OSB. Для определения характеристик плиты OSB были предварительно проведены экспериментальные исследования по определению механических характеристик – модуля упругости и коэффициента Пуассона по разным направлениям – вдоль волокон, поперек волокон и под углом 45° [5,9,15].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ

Результаты численных исследований в виде эпюр и изополей нормальных напряжений s_x представлены на рис. 3, 4, 5. По величине нормальные продольные напряжения s_x в стенке в месте приложения нагрузки в пролете достигают максимальных сжимающих значений $s_x = 7,987$ МПа у верхнего пояса и максимальных растягивающих значений $s_x = 4,276$ МПа у нижнего пояса. Как видно из мозаики наибольшие значения напряжений располагаются в вокруг стального нагеля $s_x = -55...-62,7$ МПа, что многократно превышает расчетное сопротивление материала стенки. Вследствие этого в местах расположения стальных нагелей возможно смятие материала стенки и изгиб стальных нагелей.

Результаты численных исследований в виде эпюр и изополей нормальных поперечных напряжений s_y представлены на рис. 5, 6. По величине нормальные поперечные напряжения s_y в стенке в опорном сечении достигают максимальных сжимающих значений $s_y = -9,929$ МПа в области нижнего пояса, а в месте приложение внешней нагрузки $s_y = -12,77$ МПа.

Касательные напряжения представлены на рис. 7,8 и имеют максимальные значения в опорном сечении в стенке в нижней ее части у нижнего пояса и достигают величины $\tau_{xy} = -6,087$ МПа. По мере удаления от опорного сечения эпюра касательных напряжений выравнивается и принимает привычный вид и на расстоянии 10 см от опорного сечения величина $\tau_{xy} = -3,44$ МПа, на расстоянии 24 см от опорного сечения величина $\tau_{xy} = -3,08$ МПа.

Результаты численного эксперимента при нелинейном нагружении представлены картиной возможного разрушения и отображены на рис.9.

По характеру распределения напряжений в элементах балки можно сказать следующее:

- нормальные продольные напряжения s_x в стенке достигают максимальных сжимающих значений $s_x = -7,987$ МПа у верхнего пояса в месте приложения нагрузки в пролете приближаясь по значению к расчетному сопротивлению материала стенки. Однако из эпюр нормальных напряжений

наибольшие значения напряжений располагаются в вокруг стального нагеля и составляют $s_x = -55 \dots -62,7$ МПа, что многократно превышает расчетное сопротивление материала стенки.

- нормальные поперечные напряжения s_y в стенке достигают в опорном сечении максимальных сжимающих значений $s_y = -9,929$ МПа в области нижнего пояса, а в месте приложении внешней нагрузки $s_y = -12,77$ МПа приближаясь по значению к расчетному сопротивлению материала стенки.

- касательные напряжения достигают максимального значения $\tau_{xy} = -6,087$ МПа в опорном сечении в стенке в нижней ее части у нижнего пояса. По мере удаления от опорного сечения эпюра касательных напряжений выравнивается, величина напряжений составляет $\tau_{xy} = -3,44 \dots -3,08$ МПа, что ниже уровня продольных и поперечных нормальных напряжений в элементах стенки в 2-4 раза.

ВЫВОД

Численные исследования показали распределение напряжений в элементах балки по длине и по сечению, а также возможные участки разрушения одного из элементов составной деревянной балки - стенки из OSB, соединенной с поясами металлическими нагелями, а также сделать вывод, что они удовлетворяют требованиям первой и второй групп предельных состояний, что дает возможность использовать их в качестве несущих элементов деревянного каркаса здания.

Учитывая, что прочность стенки из OSB несколько ниже прочности полок, выполненных из древесины, при расчете и конструировании балок такого типа необходимо усилить опасные участки стенки установкой деревянных ребер либо увеличением толщины стенки путем наклейки дополнительных листов OSB.

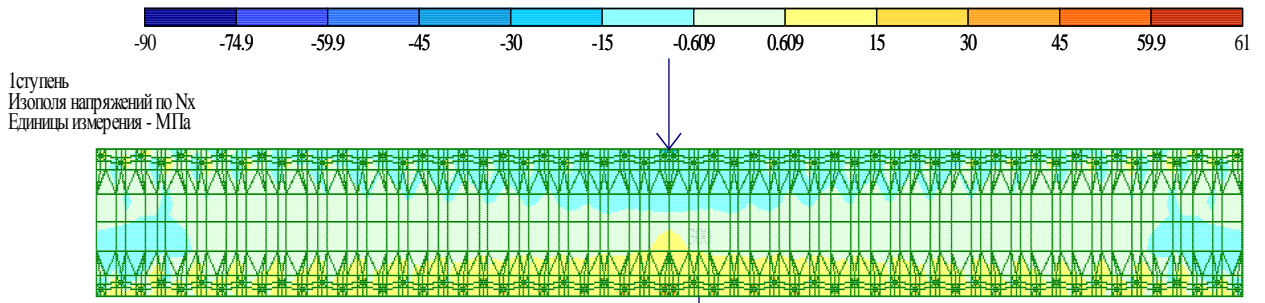


Рис. 3. Изополя нормальных продольных напряжений s_x в стенке составной балки.

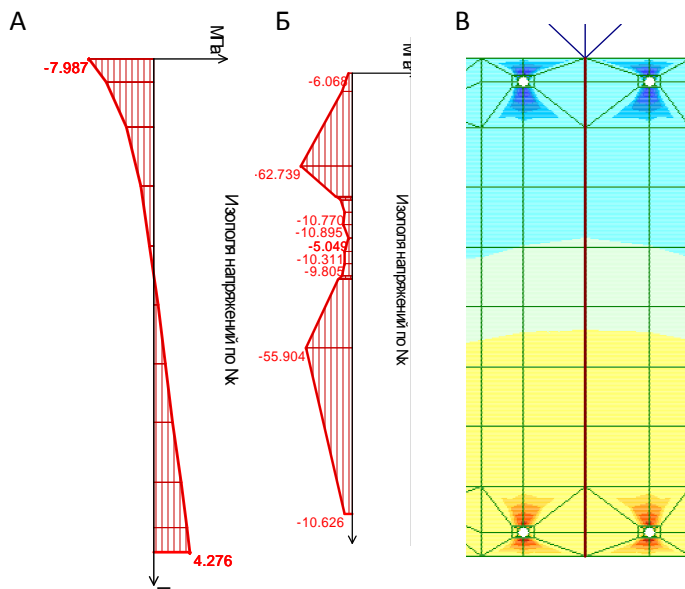


Рис. 4. А – эпюра нормальных продольных напряжений s_x в стенке в сечении, где приложена внешняя сила.

Б – эпюра нормальных продольных напряжений s_x в стенке вокруг стального нагеля.

В – изополя нормальных продольных напряжений s_x в стенке, где приложена внешняя сила.

Составные деревянные балки для строительства зданий по каркасной технологии

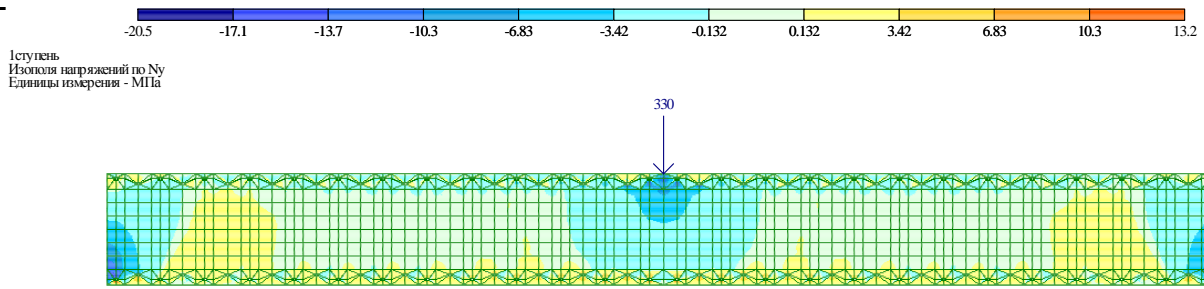


Рис. 5. Изополя нормальных поперечных напряжений σ_y в стенке составной балки.

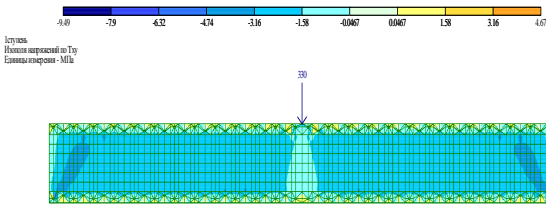


Рис. 6. Изополя касательных напряжений τ_{xy} в стенке составной балки.

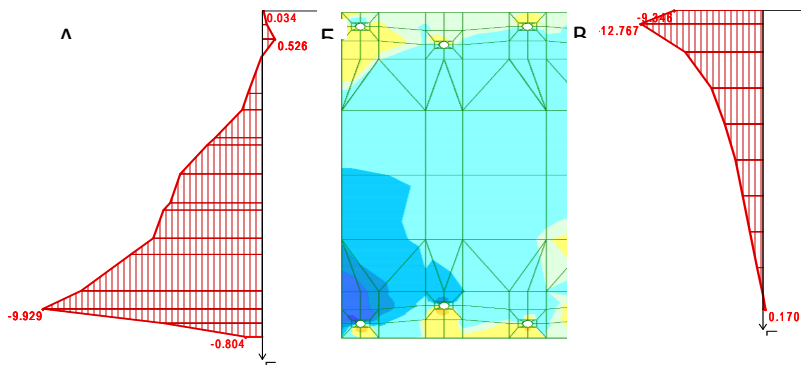


Рис. 7. А – эпюра нормальных поперечных напряжений σ_y в стенке в опорном сечении. Б – изополя нормальных поперечных напряжений σ_y в стенке опорном сечении. В – эпюра нормальных поперечных напряжений σ_y в стенке в пролете в месте

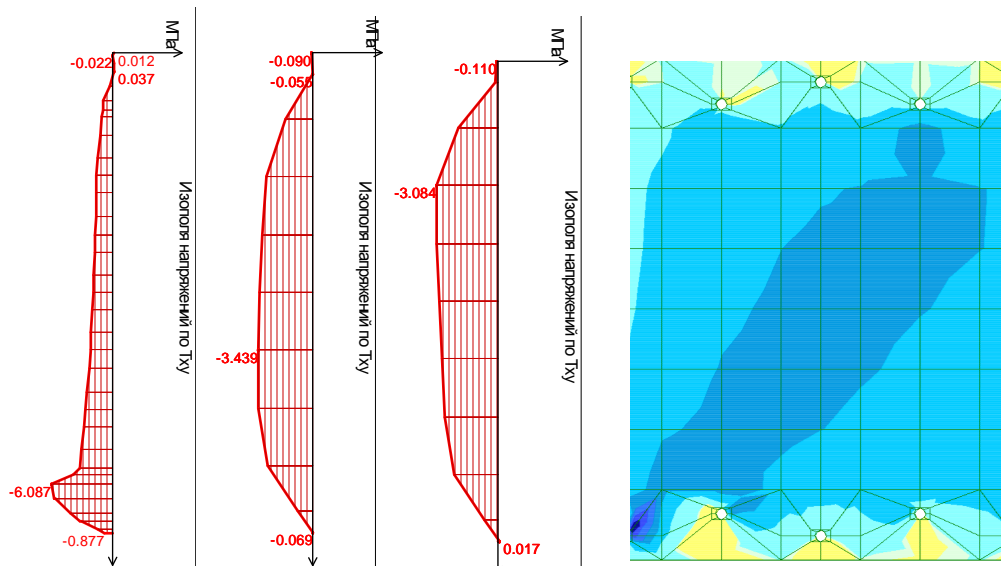


Рис. 8. А – эпюра касательных напряжений τ_{xy} в стенке в опорном сечении. Б – эпюра касательных напряжений τ_{xy} в стенке 10 см от опорного сечения. В – эпюра касательных напряжений τ_{xy} в стенке 24 см от опорного сечения. Г - изополя касательных напряжений τ_{xy} в стенке в приопорном отсеке.

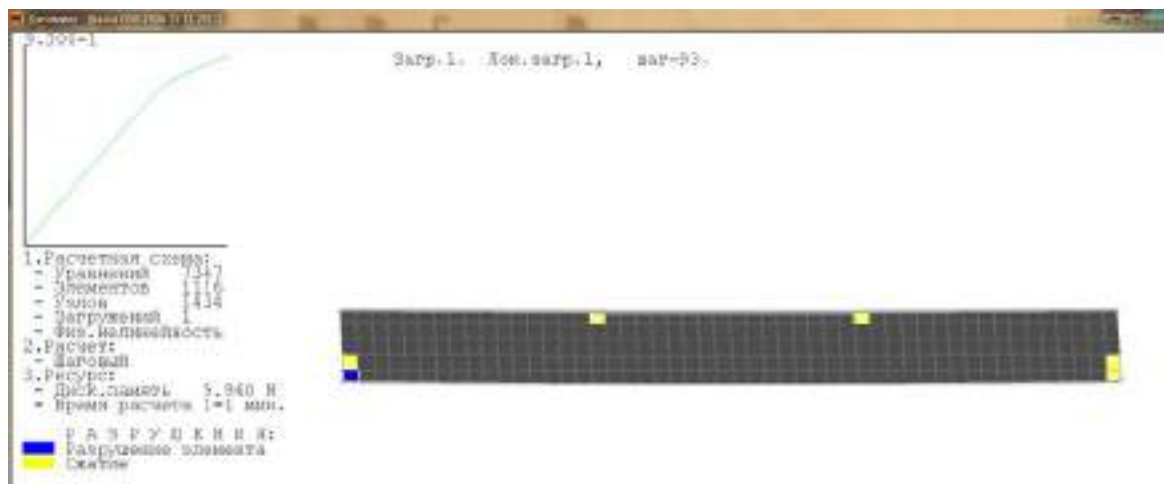


Рис. 9. Картина возможного разрушения стенки в местах приложения внешней нагрузки (вариант нагружения балки двумя сосредоточенными силами) и опорных сечениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением N 1).
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1986.
4. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебное пособие для вузов /Под редакцией проф. Иванова В.А./ –К: В. Школа,1981-392 с.
5. EN 300. Плиты ориентированно-стружечные. Технические условия.
6. ТУ УВ 2.7-22794685-001.2005. Двухтавровые деревянные балки. Технические условия. ООО «ПОЛ и К».
7. Турков А.В. Анализ работы составной балки при усилении строительных конструкций / А.В. Турков, П.А. Гвозков // Изв. ОрелГТУ. Сер. «Стр-во. Транспорт». – 2007. – №1/13 (529). – С. 26-28.
8. Коробко В.И. Коэффициент жесткости составных балок, имеющих возможность свободного сдвига по контактной поверхности / В.И. Коробко, А.В. Турков, П.А. Гвозков // «Проблемы обеспечения безопасности строительного фонда России». – Материалы III международных академических чтений 20-22 мая 2004 г. – Курск, 2004. – С. 116-120.
9. Стоянов В.В. «Экспериментальные исследования двухтавровых деревянных балок». Сб. научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины». Ч.1. – Одесса, 2005, стр. 208-213.
10. Балка складена. Патент № 42078 бюл.№12 от 25.09.2009.
11. ГОСТ 9622-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении. – М.: ИПК, 1988.
12. Лисенко Л.М. Дерево в архитектуре. М.: Стройиздат, 1984. 176 с.

13. Хрулев В.М., Мартынов К.Я., Лукачев СВ., Шутов Г.М. Деревянные конструкции и детали. М. Строительство, 1995. 384 с.

14. Ржаницын А. Р., Захаров В.М. Расчет составных стержней из неупругого материала с неупругими связями сдвига. - Строительная механика и расчет сооружений, № 1, с. 16-18.

15. Синцов А.В. К вопросу о работе соединений деревянных брусков с листами OSB. сб. научных трудов ОГАСА. 2011. Том 3 (15). С.203

16. Lewicki B. Budynki mieszkalne z prefabrykatow wielkowy miarowych, - Warszawa, 1964. — 602 s.

17. Rosman R. Statics of Non-symmetric Shearwall Structures. - Proc. Inst. of Civil Eng., 1971, p.p. 211-244.

18. Ярцев В.П. Построечные деревянные конструкции: Учеб. пособие. М.: МИХМ, ТИХМ. 1988.88 с.

19. Бондин В.Ф., Вылегжанин Ю.Б. О прочности на сдвиг клеевых соединений стальных стержней с древесиной //Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1976. - №11. – С. 20-24.

20. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций 2006. / М. С. Барабаш, Ю. Д. Гераймович, А. Н. Кекух [и др.]; Под ред. Академика РААСНА. С. Городецкого. – К. : Факт.-210 с.

REFERENCES

1. SP 64.13330.2011 Wooden structures. The updated edition of SNIIP II-25-80 (Change No. 1).
2. SP 20.13330.2016 Loads and impacts. The updated edition of SNIIP 2.01.07-85*.
3. A manual for design of wooden structures (to SNIIP II-25-80) / tsniisk. Kucherenko. - M.: Stroiiizdat, 1986.
4. Construction of wood and plastics. Textbook for high schools /Under the editorship of Professor Ivanov, V. A.: V. School,S. 1981-392
5. EN 300. The humidifiers. Specifications.

6. TU SW 2.7-22794685-001.2005. Beam wooden beams. Specifications. ООО "FLOOR".

7. Turkov A.V. analysis of the work of composite beams with strengthening of building constructions / V. A. Turkov, P. A. Guskov, Izv. OrelGTU. Ser. "Construction. Transport". – 2007. – №1/13 (529). – P. 26-28.

8. Korobko V. I. the coefficient for the composite beams with the possibility of free shifting contact surfaces / V. I. Korobko, V. A. Turkov, P. A. Guskov // "problems of ensuring security to the building Fund of Russia". – Proceedings of the III international academic lectures 20-22 may 2004 – Kursk, 2004. – Pp. 116-120.

9. Stoyanov, V. V., "Experimental study of beam wooden beams". SB. scientific works "Modern building constructions of metal and wood". Part 1. – Odessa, 2005, pp. 208-213.

10. Beam skladina. Patent No. 42078 bul.№12 from 25.09.2009.

11. GOST 9622-87. The wood is laminated. Methods for determining the tensile strength and modulus of elasticity in tension. – M.: IPK, 1988.

12. Lysenko L. M. Wood in architecture. M.: Stroyizdat, 1984. 176 p.

13. Khrulev V. M., Martynov K. J., Lukachev ST., Shutov G. M. Wood construction and details. M. Construction, 1995. 384 p.

14. Rzhantsyn A. R., Zakharov V. M. Calculation of composite rods made of inelastic material inelastic shear links. Construction mechanics and calculation of constructions, № 1, pp. 16-18.

15. Sintsov A.V. To the question about the connections of wooden bars with sheets of OSB. collection of scientific works of OGAS. 2011. Volume 3 (15). P. 203

16. Lewicki B. Budynki mieszkalne z prefabrykatow wielkowy miarowych, - Warszawa, 1964. — 602 s.

17. Rosman R. Statics of Non-symmetric Shearwall Structures. - Proc. Inst. of Civil Eng., 1971, p.p. 211-244.

18. Yartsev V. P. Building wooden structures: Proc. allowance. M.: Mihm, TIKHM. 1988.88 S.

19. Bondin, V. F., Vylegzhanin Y. B. On the shear strength of the adhesive joints of steel rods with wood, Izv. universities. Ser. The construction and architecture. – 1976. - No. 11. – S. 20-24.

20. Software packages for computer-aided design 2006. / M. S. Barabash, Y. D., Geraimovich, A. N. Kecoh [et al.]; Under the editorship of Academician RAASN. S. Gorodetsky. – K. : A Fact.-210 C.

Sintsov A.V.

COMPOSITE WOOD BEAMS FOR CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON FRAME TECHNOLOGY

Summary: Composite rods made of wood are a special type of structures, the nature of the work which is qualitatively different from similar rods from other construction materials. Their specificity lies in the fact that the mechanical connection connecting the individual layers are pliable. It introduces the essential features in the calculation of such structures. The article is devoted to research stress-strain state of composite wood beams to the wall of the oriented particle Board (OSB). Presents a constructive solution of composite beams and the results of experimental and numerical studies of her work load.

Key words: composite beam of wood, belt wood, OSB, finite element analysis model.

ОГНЕСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОЧАГАХ ВОЗГОРАНИЯ

Митрофанов С.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

Аннотация. В нашей стране большое распространение получили промышленные здания. В них располагаются различные производства или технологические процессы. Основываясь на статистике нередко случае возгорания связанные с нарушением отдельных технологий производств или человеческим фактором. При возгорании конструкция здания должна соответствовать пределу огнестойкости рассчитанную для данного объекта. Для повышения фактических пределов огнестойкости конструкций до требуемых численных значений.

Ключевые слова: огнестойкость, промышленное здание, конечно – элементная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Постановка задачи. В опыте строительства широко распространены металлические конструкции, которые обладают высокой прочностью, относительной легкостью и долговечностью. Но под действием высоких температур при пожаре они теряют устойчивость, деформируются, и теряют несущую способность. Деформации и потеря прочности металлических ферм, балок, колонн после возгорания несут за собой разрушение отдельных частей или зданий целиком [1,3,5].

При нормальных условиях потеря несущей способности у металлических стержней происходит как результат повышения температуры до ее критического значения $R_{кр}$. [10] Увеличение температуры на поверхности стержня до критического значения (критическая температура ρ) приводит к изменению основных прочностных характеристик металла (предела текучести σ_x и модуля упругости E), это становится причиной, которая вызывает новые изменения состояния стержня под нагрузкой, в результате которых нагрузка через определенное время становится для элемента критической.

При увеличении температуры потеря несущей способности конструкций происходит при постоянной нагрузке. При увеличении температуры у обычных углеродистых сталей происходит понижение предела текучести. [1] При температуре до 450 °С предел текучести стали класса Ст.3 снижается на 28%, при температуре 500 °С – более

чем на 40%, а при температуре 600 °С – на 60% [2,4,7].

Распространению пожара на производственных объектах можно описать как интенсивное нарастание температур и сильное задымление. Это приводит к быстрому прогреванию строительных конструкций, и как следствие - их деформации и обрушению [8, 9].

Среди металлических конструкций наименее стойкими к тепловому воздействию являются фермы. Причина заключается в относительно низком коэффициенте их надежности и наличие большого числа элементов и стыков, отказ каждого из которых в отделимости приводит к разрушению всей конструкции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель расчета. Выявить степень влияния расположения очагов пожара в различных частях производственного здания на несущую способность отдельных конструкций и их элементов.

В ПК Лира-сапр [15] о была разработана базовая конечно-элементная модель производственного здания на основе классических конструктивных решений (рис. 1):

Шаг колонн в продольном направлении 9 м.

Пролет здания 24 м.

Длина здания 117 м;

Сопряжение ригеля с колонной шарнирное.

Выбранные жесткостные характеристики элементов расчетной схемы:

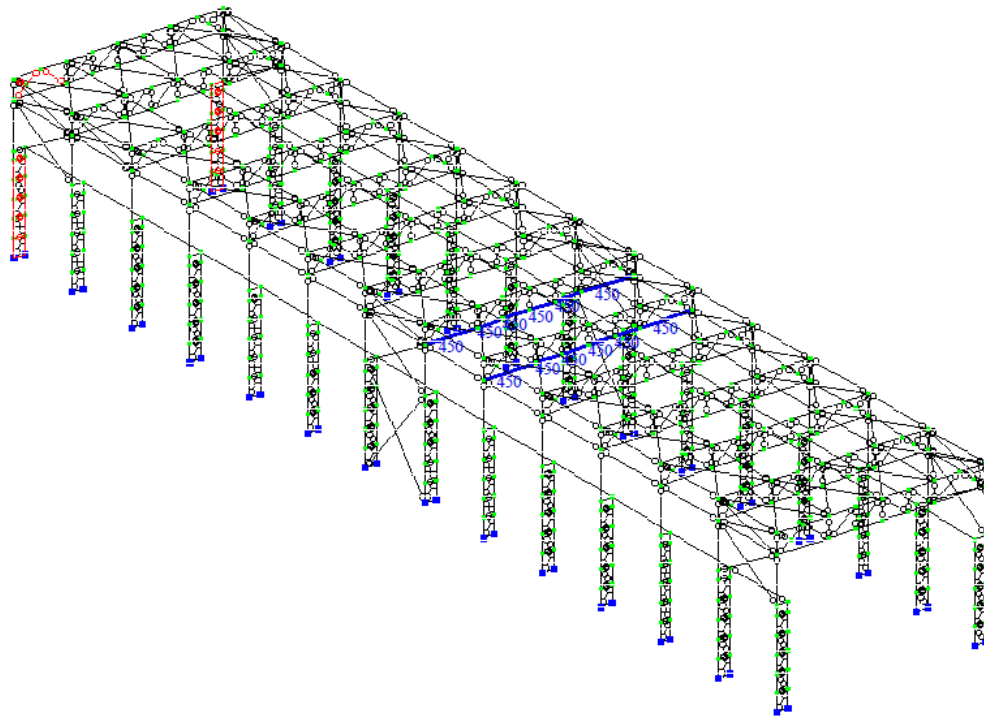


Рис. 1 Расчетная модель здания.

Колонны:	Фермы:	Связи:	Прогоны:	Подкрановые балки
- двутавр 55Б1; - уголок параллельно полкам 90х90х7; - уголок параллельно	труба 102х5; труба 168х6; труба 273х4,5; труба 219х6; труба 152х3,5; труба 83х3,5;	- уголок параллельно полкам 80х80х8;	- Швеллер18	- составной двутавр: - 450х10, пояс - 1250х12 стенка;

С ее помощью модели были выполнены три расчета с различными расположениями очагов возгорания и температурными режимами (450°С, 600°С, 800°С):

- расположение очагов пожара в центре здания;
- расположения очага пожара в торце здания (в месте установки связевого блока);
- расположение очага пожара непосредственно у несущей колонны.

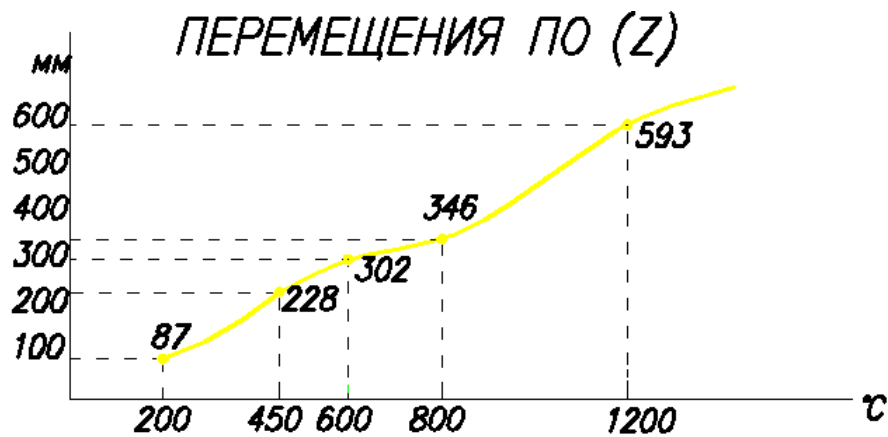
Базовая расчетная модель представляет собой пространственную стержневую систему. При ее создании использованы конечные элементы следующих типов: для стержней – КЭ 10 (210).

К расчетной модели были приложены постоянные и временные нагрузки действующие на здание. [11]

Проведены исследования деформативных свойств при расположении очага пожара на уровне стропильных ферм в центре и торце здания, при температуре 450°С, 600°С, 800°С:

- определены численные величины перемещений описывающие процесс деформации при воздействии тепловой нагрузки на колонны.

Максимальные перемещения стержней превысили предельные в расчете для 800°С. При этом критическая температура составила 651 °С, что дает утверждать о правильности выполненных расчетов.



По графикам видно, что по осям x и z перемещения превышают критические на температурах 600-800 °С.

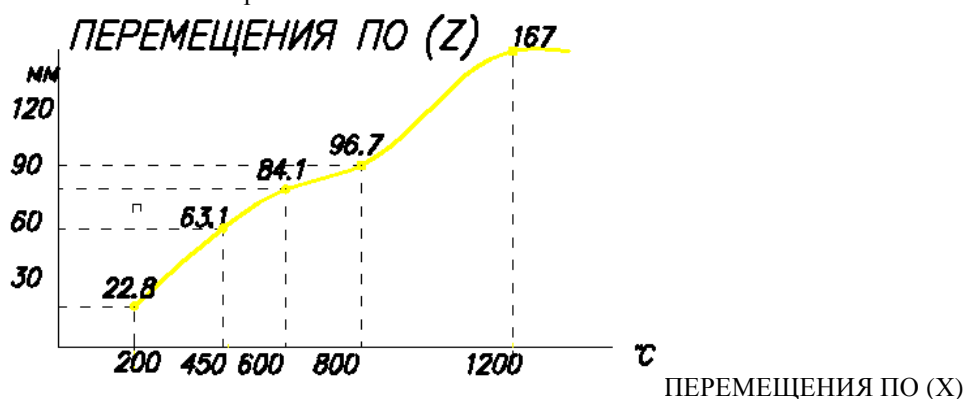
Если сравнивать расположение очагов пожара на уровне нижнего пояса стропильных ферм в центре и в начале пролета, то результаты перемещений отличаются незначительно. Но изменяется распространение температуры на соседние пролеты. Особую опасность в этом случае несет расположение очага пожара в центре пролета.

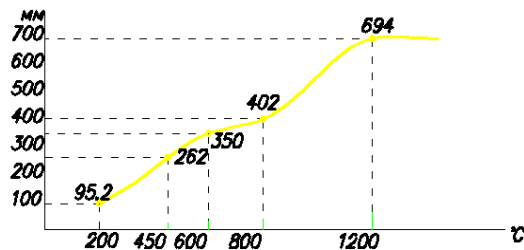
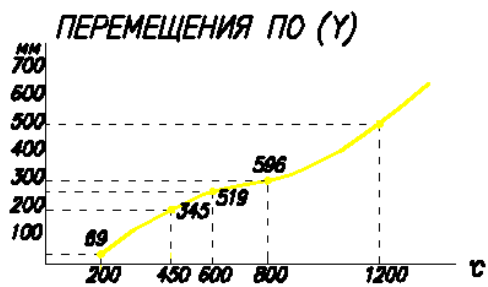
Установлено, что возможна оптимизация затрат на огнезащитную обработку стальных строительных конструкций с требуемым пределом огнестойкости R15 на 10% от общей стоимости строительства:

По результатам исследования деформативных свойств при расположении очага пожара в нижней

части колонн, при температуре 200°С, 450°С, 600°С, 800°С:

- определены численные величины перемещений, описывающие процесс деформирования металлического каркаса при воздействии тепловой нагрузки на колонны. И сделан вывод о том, что характер изменения перемещений стержней у исследуемых очагов пожара значительно зависит от изменения температуры на поверхности металла. Значительные перемещения, превышающие допустимые наблюдались уже с приложения температурной нагрузки в 450°С. Это свидетельствует о острой необходимости выполнения усиленной огнезащиты несущих колонн.





При расположении очага пожара в начале пролета перемещения передаются и на следующий пролет, по результатам перемещения в пролете превышают критические на 600-800°C.

ВЫВОД

Созданные пространственные конечно-элементные модели промышленного здания позволили изучить напряженно-деформированное состояние здания при различных очагах пожара.

По результатам исследований получено, что несущая способность ферм выше чем у колонн. Т.к. при перераспределении усилий в фермах они сохранили устойчивость. В колоннах такое перераспределение выполнить сложно.

По итогам расчета установлено, что для конструкций с пределом огнестойкости R15 возможно не выполнять огнезащитную обработку, и тем самым сократить затраты примерно на 11,5% от общей стоимости строительства при подтверждении их фактического предела огнестойкости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушев В.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.Я. Огнестойкость зданий. — М.: Стройиздат, 1970,. - 264 с.
2. Воробьев В.Ф. Устойчивость стержней в условиях ползучести - М.: Прикладная механика и техническая физика, 1961, №6, с.135-144.
3. ГОСТ 30247.0-94 "Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования".
4. ГОСТ 30247.1-94 "Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции".
5. ГОСТ 9651-84 "Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах".
6. ГОСТ 3248-81 "Металлы. Метод испытания на ползучесть".
7. В.С. Золоторевский Механические испытания и свойства материалов — М.: Metallurgy, 1974, 303 с.
8. Игар Т. В, Массо К. Почему разрушился Центр международной торговли. Наука, разработки, предположения - USA: ЮМ, - 2001 - №55, с. 11-21.
9. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости металлических конструкций. - М.: ВНИИПО - 1983. - 115 с.

10. НПБ 236-97 "Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности".

11. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная версия СНиП 2.01.07-85*. Минрегион России, 2010.

12. СП 16.13330.2011. «Стальные конструкции». Актуализированная редакция. СНиП II-23-81*. Минрегион развития РФ. Москва 2011.

13. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций 2006. / М. С. Барабаш, Ю. Д. Гераймович, А. Н. Кекух [и др.]; Под ред. Академика РААСНА. С. Городецкого. – К. : Факт.-210 с.

14. ЛИРА-САПР 2015 НИИАСС (Сертификаты соответствия РОСС RU.0001.11СП15).

REFERENCES

1. Bushev, V. P. Pchelintsev, V. A., Fedorenko, C. B., Yakovlev A. Y. and fire Resistance of buildings. — М.: Stroizdat, 1970,. - 264 p.
2. Vorob'ev, V. F., stability of the rods under creep - М.: Applied mechanics and technical physics, 1961, no. 6, pp. 135-144.
3. GOST 30247.0-94 "Design and construction. Test methods for fire resistance. General requirements".
4. GOST 30247.1-94 "Design and construction. Test methods for fire resistance. Bearing and enclosing structures".
5. GOST 9651-84 "Metals. Methods of tensile tests at elevated temperatures".
6. GOST 3248-81 "Metals. Test method for creep".
7. B. C. Solotorevsky Mechanical testing and properties of materials, М.: metallurgy, 1974, 303 p.
8. Igar T., Macco K. Why destroyed the world trade Center. Science, development, assumptions - USA: HUME, - 2001 - No. 55, pp. 11-21.
9. Manual calculation of actual fire resistance of metal structures. - М.: VNIPO - 1983. - 115 p.
10. NPB 236-97 "fire-Retardant compositions for steel constructions. General requirements. The method of definition of fireproof efficiency".
11. SP 20.13330.2011. Loads and impacts. Actualized version of SNiP 2.01.07-85*. The Ministry Of Regional Development, 2010.
12. SP 16.13330.2011. "Steel construction". Revised edition. SNiP II-23-81*. The Ministry for regional development of the Russian Federation. Moscow 2011.

13. Software packages for computer-aided design 2006. / M. S. Barabash, Y. D., Geraimovich, A. N. Кечох [et al.]; Under the editorship of Academician RAASN. S. Gorodetsky. – К. : A Fact.-210 С.

14. LIRA-SAPR 2015 NYIAS (Certificates of conformity ROSS RU.0001.11СП15).

Mitrofanov S.V.

FIRE RESISTANCE OF METAL CONSTRUCTIONS OF INDUSTRIAL BUILDING UNDER VARIOUS FIRE PARAMETERS

Summary Industrial buildings were widely spread in our country. They have different production or technological processes. Based on the statistics, incidents of fire associated with the violation of certain production technologies or the human factor are not uncommon. In case of fire, the structure of the building must correspond to the fire resistance limit calculated for the given object. To increase the actual fire resistance limits of structures to the required numerical values.

Key words: fire resistance, industrial building, finite element model.

УДК 691.316

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗВЕСТКОВО-КАРБОНАТНОКАЛЬЦИЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Н.В. Любомирский¹, Т.А. Бахтина², А.С. Бахтин³

¹ Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: niklub.ua@gmail.com

² Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: t.bakhtina83@gmail.com

³ Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: aleserba@gmail.com

Аннотация. В работе представлены исследования изменения физико-механических свойств, а также структурные изменения известково-карбонатнокальциевых образцов принудительного карбонатного твердения после хранения их в течение 6 лет. Образцы представляют собой цилиндры полусухого прессования, изготовленные из смеси гидратной извести и карбонатнокальциевого наполнителя твердение которых было организовано в среде 100 % концентрации CO₂ в течение 6 часов.

Проведенные исследования показали стабильность свойств и структуры карбонизированных известково-карбонатнокальциевых композиций во времени, подтвердив рост прочности и плотности испытываемых образцов после длительного хранения вследствие завершения процессов перекристаллизации гидроксида кальция в карбонат.

Предмет исследования: изменение свойств и структуры карбонизированных известково-карбонатнокальциевых композиций при длительном хранении.

Материалы и методы: в работе использовались стандартные методы исследования физико-механических свойств строительных материалов. Минеральный состав изучен методом высокотемпературного синхронного ТГА/ДТА/ДСК анализа (STA 8000, фирмы Perkin Elmer, (США)).

Результаты: Установлено, что прочность и плотность всех образцов при продолжительном хранении увеличивается в широком интервале значений в зависимости от условий получения. Увеличение прочности составляет 72...145 % от начального значения. Плотность образцов увеличивается на 1-9 % за счет продолжающегося во времени превращения Ca(OH)₂ в CaCO₃. По данным ДТА минералогический состав соответствует наличию 91,1...94,1 % карбоната кальция в исследуемых образцах. Следов гидроксида кальция в образцах не обнаружено.

Выводы: Внедрение в производство новых строительных материалов сопровождается подтверждением их качества и долговечности, поэтому исследования изменения физико-механических свойств известково-карбонатнокальциевых образцов принудительного карбонатного твердения во времени, показавшие рост прочности и завершение процессов перекристаллизации, являются важным этапом для внедрения в производство.

Ключевые слова: строительные материалы; известь; известково-карбонатнокальциевая композиция; принудительная карбонизация; прочность.

ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Постоянно возникающие негативные последствия деятельности человека, связанные с нерациональным использованием ресурсов, загрязнением окружающей среды, ухудшением экологии, привели к созданию концепции устойчивого развития стран и городов [1], которая предусматривает минимизацию потребления ресурсов, минимизацию производства отходов, рециклинг и повторное использование отходов, исключение или минимизацию загрязнений. Человечеству неизбежно предстоит постепенно

переходить на «зеленые» технологии и добиваться экологизации процессов жизнедеятельности.

Производство строительных материалов во многих случаях связано с высокотемпературными обжиговыми процессами, которые сопровождаются выбросами вредных веществ в атмосферу [2]. Производство извести не является исключением, поставляя в атмосферу значительное количество углекислого газа. Вместе с тем, карбонатный механизм твердения известковых растворов, протекающий за счет поглощения и связывания углекислого газа в карбонат кальция, уравнивает баланс CO₂ материалов на их основе и способен

свести к минимуму показатель CO_2 эквивалента [3]. В результате перехода гидратной извести в карбонат кальция материал упрочняется, увеличивается его водостойкость и морозостойкость. Долговечность известковых материалов доказана временем (дворцы древнего города Кносса XVII – XV вв. до н.э. на о. Крит, Софийский собор в г. Киеве, XI век н.э. и т.п.) Однако, процесс этот длителен и может занимать годы и даже десятилетия. Интенсифицировать его возможно принудительной карбонизацией материалов на основе извести за счет утилизации специальным образом подготовленных дымовых газов от известковых печей [4].

Исследования процессов, протекающих при принудительной карбонизации композиций на основе извести [5 – 7], позволили установить исключительное значение влагосодержания сырьевой смеси на скорость и полноту прохождения реакции взаимодействия углекислого газа с гидроксидом кальция. В работах [8, 9] показано, что преобразование гидроксида кальция в карбонат проходит на 90 %, после чего существенно сокращается либо по причине испарения капиллярной влаги ввиду повышения температуры, либо из-за уменьшения растворимости углекислого газа, либо из-за сокращения размера пор в процессе перекристаллизации. Исследования кинетики карбонизации при температуре 20°C показали, что темп реакции пропорционален площади поверхности извести [10]. Были установлены и другие факторы, влияющие на кинетику процесса карбонизации – давление углекислого газа, степень уплотнения гидроксида кальция, время воздействия углекислого газа.

По результатам исследования морфологии кристаллов кальцита, образующихся при карбонизации известкового вяжущего в среде с различной концентрацией углекислого газа, было установлено, что даже при 100 % концентрации CO_2 степень карбонизации высокая, но все еще неполная [11]. При этом микроструктура карбонизированного материала претерпевает ряд изменений: на начальном этапе карбонизации кристаллы кальцита, встроенные между непрореагировавшими кристаллами гидроксида кальция, образуются в скаленоэдрической форме,

которые далее распадаются на ромбоэдры нанометрического размера.

Авторами статьи были получены оптимальные параметры для получения карбонизированных известково-карбонатных строительных стеновых материалов с необходимыми физико-механическими свойствами [12]. Однако неисследованными остаются вопросы изменения свойств материалов на основе извести принудительного карбонатного твердения с течением времени.

Согласно современным воззрениям структура материала не остается неизменной, а непрерывно претерпевает изменения в пространстве и во времени под действием как внешних, так и внутренних факторов [13]. Ввиду того, что перекристаллизация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ осуществляется в относительно короткие технологические сроки, то необходимы исследования изменения структуры и свойств карбонизированных известково-карбонатных материалов с течением времени, которые дадут представление о сохранении механических свойств, как одних из определяющих долговечность материалов и изделий. Целью данной работы было исследование изменения физико-механических свойств и структурообразования карбонизированных известково-карбонатнокальциевых образцов после длительного хранения. Срок хранения составил 6 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование свойств известково-карбонатнокальциевых композиций проводили на образцах-цилиндрах полусухого прессования диаметром 50 мм, твердение которых осуществлялось в карбонизационной камере [14] в условиях 100 % концентрации CO_2 в течение 6 часов. Для изготовления опытных образцов использовали известь-пушонку. Для удаления примесей в виде «недожога» и непогасившихся зерен известь-пушонку просеивали через сито с размером отверстий 1,25 мм.

Количественный минералогический состав извести-пушонки, определенный по данным дифференциально-термического анализа представлен в табл. 1.

Таблица 1. Минералогический состав извести-пушонки (по данным ДТА), % мас.

Table 1. Mineralogical composition of hydrate lime (from data of DTA), aсe.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CaCO_3	H_2O	Остальное
86,00	7,00	3,00	4,00

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Изменение прочности при сжатии и плотности опытных образцов-цилиндров

карбонизационного твердения в зависимости от состава, технологических параметров изготовления и времени хранения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-механические характеристики карбонизированных известково-известняковых образцов
Table 2. Physicomechanical characteristics of carbonized lime-limestone samples

Параметры получения опытных образцов					R _{сж} , МПа			Плотность ρ _о , г/см ³	
№ п/п	Количество наполнителя, % мас.	S _{уд} , г/см ²	P _{уд} , МПа	W, %	R _{сж} , МПа			Плотность ρ _о , г/см ³	
					1 сутки	6 лет	Увеличение прочности, %	1 сутки	6 лет
1	30	1500	10	10	11,7	12,4	5,98	1,41	1,42
2				20	13,1	18,1	38,2	1,40	1,45
3			20	10	18,7	27,4	46,5	1,53	1,55
4				20	16,8	28,9	72,0	1,51	1,60
5		3500	10	10	8,6	10,8	25,6	1,35	1,38
6				20	9,8	13,2	34,7	1,39	1,41
7			20	10	15,1	24,4	61,6	1,48	1,54
8				20	12,2	25,4	108,2	1,45	1,55
9	70	1500	10	10	9,8	11,5	17,3	1,59	1,61
10				20	10,6	15,2	43,4	1,60	1,64
11			20	10	16,6	20,8	25,3	1,70	1,75
12				20	10,1	24,8	145,5	1,61	1,76
13		3500	10	10	8,2	9,2	12,1	1,51	1,58
14				20	11,6	13,4	15,5	1,47	1,54
15			20	10	16,4	22,9	39,6	1,65	1,70
16				20	10,9	22,9	110,0	1,59	1,72

Из данных табл. 2 следует, что прочность всех образцов при продолжительном хранении увеличивается в широком интервале значений от 5 % до 145,5 % в зависимости от условий получения. Наибольшим приростом прочности на 72...145 % характеризуются образцы, полученные при удельном давлении прессования 20 МПа и влажности 20 %. Плотность образцов также увеличивается за счет увеличения массы образцов. Увеличение массы свидетельствует о продолжении превращения Ca(OH)₂ в CaCO₃ уже после обработки образцов углекислым газом. Процессом перекристаллизации портландита в кальцит, происходящим в известково-карбонатнокальциевых образцах, объясняется и рост прочности. Известняковый наполнитель служит в качестве центров кристаллизации, способствующих образованию кристаллов карбоната кальция на поверхности известняковых частиц. Частички

новообразованного карбоната кальция формируют единый каркас, срастаясь друг с другом, с частичками портландита и карбонатного наполнителя. При этом увеличивается объем твердой фазы, приводя к дополнительному уплотнению и упрочнению твердеющей системы.

Предыдущими исследованиями известково-известняковых образцов после карбонизации с помощью дифференциально-термического анализа показано, что содержание карбоната кальция составляет 68...76 %, портландита – 8...21 %. Результаты термического анализа карбонизированных образцов после 6 лет хранения № 4 и 12 (см. табл. 2), обладающих наибольшей прочностью, представлены на рис. 1. На кривых ДТА наблюдается один эндотермический эффект в интервале температур 743...897 °С с максимумом при температуре 854...857 °С, которому соответствует 40,1...41,4 % потери массы. Данный

эндотермический эффект характеризует процесс разложения карбоната кальция. Более низкий температурный интервал разложения CaCO_3 , в сравнении со справочными данными, объясняется проведением анализа в среде азота, в результате чего равновесное давление CO_2 достигается при более низкой температуре. Минералогический

состав, рассчитанный по стехиометрическому уравнению соответствует наличию 91,1...94,1 % карбоната кальция в исследуемых образцах. Следов гидроксида кальция в образцах не обнаружено, что свидетельствует о полной его карбонизации и переходе в карбонат кальция.

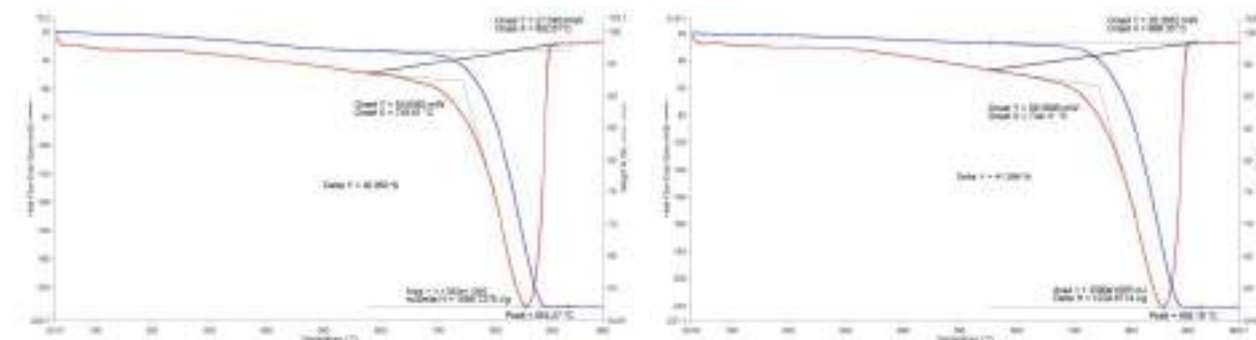
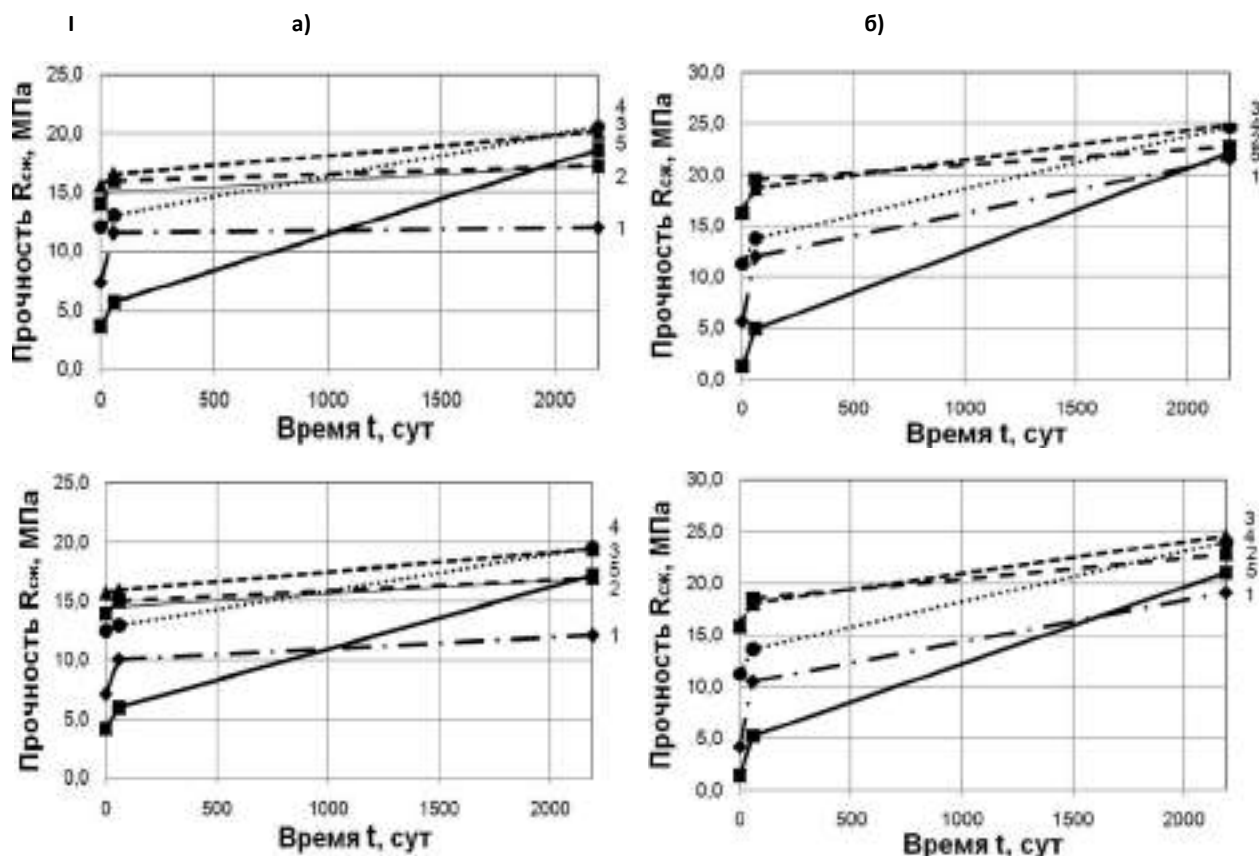


Рис. 1. Результаты синхронного термического анализа карбонизированных известково-карбонатнокальциевых образцов (а – образец № 4, б – образец № 12)

Fig. 1. Results of the synchronous thermal analysis of carbonized lime-limestone samples (а – sample № 4, б – sample № 12)

Для исследования влияния тонкости помола известняка на прочность карбонизированных образцов после 6 лет хранения была проведена математическая обработка экспериментальных

данных и построены графики зависимости прочности от удельного давления прессования и влажности формовочной смеси при содержании наполнителя 70 %, представленные на рис. 2.



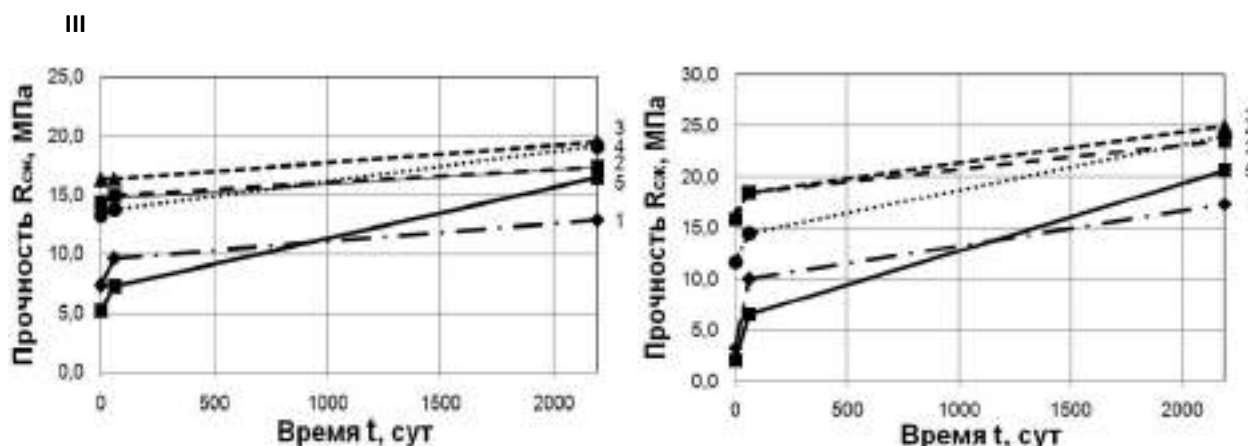


Рис. 2. Изменение $R_{сж}$ карбонизированных известково-карбонатнокальциевых образцов (процентное содержание наполнителя 70 %, при разных давлениях формования и удельной поверхности наполнителя в зависимости от влажности сырьевой смеси:

I – $S_{уд} = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$; II – $S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$; III – $S_{уд} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$;

а) $P_{уд} = 15 \text{ МПа}$; б) $P_{уд} = 20 \text{ МПа}$; 1, 2, 3, 4, 5 – влажность 5, 10, 15, 20, 25 %, соответственно

Fig. 2 Change of durability at compression of carbonized lime-limestone samples (the percentage of filler is 70%, with different pressure of formation and the specific surface of filler depending on humidity of raw mix):

I – $S_{уд} = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$; II – $S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$; III – $S_{уд} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$;

а) $P_{уд} = 15 \text{ МПа}$; б) $P_{уд} = 20 \text{ МПа}$; 1, 2, 3, 4, 5 – humidity 5, 10, 15, 20, 25 %, respectively

Общий анализ испытаний опытных образцов показывает, что основные параметры получения, определяющие свойства карбонизированных известково-карбонатнокальциевых образцов – влажность формуемой смеси и удельное давление прессования. Из графиков следует, что наибольшей прочностью после 6 лет хранения обладают известково-карбонатнокальциевые образцы, полученные при давлении прессования 20 МПа. Что касается влияния влажности, то наибольшей прочностью обладают образцы, полученные из формовочных смесей с влажностью 15 и 20 %, что полностью соответствует определению оптимальных параметров получения известково-карбонатнокальциевых образцов в предыдущих исследованиях. Следует отметить значительный рост прочности образцов, отформованных из смеси с влажностью 25 %, которые после карбонизации показывали прочность не более 5 МПа, но после 6 лет хранения их прочность составила 15...20 МПа. Скорее всего, это связано с тем, что начальная влажность была высокой и излишняя влага препятствовала проникновению углекислого газа внутрь образца, а по мере высыхания материала и достижения оптимальной влажности реакция карбонизации интенсифицировалась.

Увеличение же тонкости помола известняка с 1500 до 3500 $\text{см}^2/\text{г}$ не приводит к росту прочности, даже наоборот наблюдается незначительное снижение прочности на 5...10 %, что также можно отнести к положительному моменту в технологии карбонизированных изделий, т.к. отсутствие необходимости в более тонком измельчении

позволит снизить энергозатраты на стадии подготовки сырьевых компонентов.

ВЫВОДЫ

Исследованы изменения состава и свойств известково-карбонатнокальциевых композиций, подвергшихся принудительной карбонизации в среде углекислого газа, при длительном хранении. Показано, что прочность и плотность испытываемых образцов возрастает вследствие завершения процессов перекристаллизации гидроксида кальция в карбонат. Прочность при сжатии опытных образцов-цилиндров увеличивается от 5 % до 145 % в зависимости от начальных условий получения. Установлено, что максимальной прочностью 23...28 МПа через 6 лет хранения обладают образцы, полученные из сырьевой смеси влажностью 20 %, отформованные под давлением 20 МПа. Эти же образцы показали наибольший прирост прочности на 72...145 %.

Проведенные исследования демонстрируют стабильность свойств и структуры карбонизированных известково-карбонатнокальциевых композиций во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тетиор А.Н. Устойчивое развитие города / А.Н. Тетиор. – М.: Комитет по телекоммуникациям и СМИ Правительства Москвы, 1999. – 323 с.
2. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / Х.С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара,

К. Танабе. – ИГЕС, Хаяма, Япония. – Т.3. – Гл.2. – 46 С.

3. Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 76 – 77.

4. Любомирский Н.В., Федоркин С.И. Научно-технологические принципы утилизации углекислого газа в биопозитивные строительные изделия // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 39 – 49.

5. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure. *Cement & Concrete Composites*. 2006. No. 28, Pp. 613–620.

6. Moorehead D.R. Cementation by the carbonation of hydrated lime. *Cement and Concrete research*. 1986. Volume 16, Issues 5. Pp. 700–708.

7. K. Van Balen, D. Van Gemert. Modelling lime mortar carbonation. *Materials and Structures*. 1994. Volume 27. Issue 7. Pp. 393-398.

8. Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural. *Cement and Concrete Research*. 2005. Volume 16. Issue 12. Pp. 278–289.

9. Arizzi A, Cultrone G. Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: A mineralogical, textural and physical-mechanical study. *Construction and Building Materials*. 2012. Volume 31. Pp. 135-143.

10. K. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research*. 2005. Volume 35. Pp. 647–657.

11. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. Proc. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1-3 October 2008, Rome, Italy, pp. 149-158.

12. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, А.С. Бахтин, Т.А. Бахтина, Т.В. Любомирская // Строительные материалы. 2017. – № 8. – С. 7–12.

13. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы / М. Фольмер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1986. – 208 с.

14. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации извести / С.И. Федоркин, Н.В. Любомирский, В.Г. Носатов, Т.А. Локтионова // Строительство и техногенная безопасность. 2007. вып. 19–20. С. 74–78.

REFERENCES

1. Tetior A.N. Sustainable development of the city / A.N. Tetior. – М.: Committee on telecommunications

and media of the Government of Moscow, 1999. – 323 с.

2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme / , Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K.. – IGES, Hayama, Japan. – V.3. – Ch.2. – 46 p.

3. Pastori Z., Borchok Z., Gorbacheva G.A. Balance of CO₂ of different types of wall designs // *Stroitel'nye materialy*. – 2015. – № 12. – Pp. 76 – 77.

4. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I. Scientific and technological principles recycling carbon dioxide in biopositive building products // *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. – 2016. – № 4 (16). – Pp. 39 – 49.

5. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure. *Cement & Concrete Composites*. 2006. No. 28, Pp. 613–620.

6. Moorehead D.R. Cementation by the carbonation of hydrated lime. *Cement and Concrete research*. 1986. Volume 16, Issues 5. Pp. 700–708.

7. K. Van Balen, D. Van Gemert. Modelling lime mortar carbonation. *Materials and Structures*. 1994. Volume 27. Issue 7. Pp. 393-398.

8. Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural. *Cement and Concrete Research*. 2005. Volume 16. Issue 12. Pp. 278–289.

9. Arizzi A, Cultrone G. Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: A mineralogical, textural and physical-mechanical study. *Construction and Building Materials*. 2012. Volume 31. Pp. 135-143.

10. K. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research*. 2005. Volume 35. Pp. 647–657.

11. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. Proc. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1-3 October 2008, Rome, Italy, pp. 149-158.

12. Research in Influence of Regimes of Forced Carbonate Hardening on Properties of Materials on the Basis of Lime-Limestone Compositions of Semidry Pressing / N.V. Lyubomirskiy, S.I. Fedorkin, A.S. Bakhtin, T.A. Bakhtina, T.V. Lyubomirskaya // *Stroitel'nye materialy*. 2017. № 8. Pp. 7–12.

13. Folmer M. Kinetics of formation of a new phase / M. Folmer. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1986. – 208 p.

14. Automatic installation and technique of studying of process of carbonization of lime / S.I. Fedorkin, N.V. Lyubomirskiy, V.G. Nosatov, T.A. Loktionova // *Construction and technogenic safety*. 2007. Vol. 19–20. Pp. 74–78.

N.V. Lyubomirskiy¹, T.A. Bakhtina², A.S. Bakhtin³

CHANGES OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FORCE-CARBONATED LIME-CARBONATE-CALCIUM MATERIALS OVER TIME

¹ Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Kiyevskaya St., 181,
e-mail: niklub.ua@gmail.com

^{2 1} Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Kiyevskaya St., 181,
e-mail: t.bakhtina83@gmail.com

^{3 1} Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Kiyevskaya St., 181,
e-mail: aleserba@gmail.com

Abstract. The paper presents experimental data on physical and mechanical properties, as well as structural changes of lime-carbonate-calcium samples of forced carbonate hardening in the medium of 100% CO₂ concentration after storage for 6 years under normal air-wet conditions.

Subject: changes of the physical and mechanical properties and structure of the force-carbonized lime-carbonate-calcium compositions during long-term storage.

Materials and methods: standard methods for studying the physical and mechanical properties of building materials were used to achieve the goals set; the mineral compositions were researched by the method of high-temperature synchronous TGA / DTA / DSC analysis on a STA 8000 instrument manufactured by Perkin Elmer, USA.

Results: It has been established that the compressive strength and density of all test samples during long-term storage is increasing over a wide range of values depending on the production conditions: the strength increase is from 5 to 145% of the initial value, the average sample density increase is by 1...9 % due to continuous conversion of Ca(OH)₂ into CaCO₃. The samples whose raw mixes contained the maximum amount of water (20% by weight) during molding are featured with the largest values of the compressive strength increase and the average density increase. The CaCO₃ contents in the test samples immediately after forced carbonization were 68% to 76%. After 6 years of storage, calcium carbonate makes 91.1-94.1% of the structure of the test samples; no traces of calcium hydroxide are detected in the samples.

Conclusions: The studies performed have showed the stability of the properties and structure of carbonized lime-carbonate-calcium compositions over time, confirming the growth of strength and density of the test samples after long-term storage.

Keywords: building materials; lime; lime-carbonate-calcium composition; forced carbonization; strength.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПУТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ИМИ ЭНЕРГИИ

Асанов М.М., Бекиров Э.А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181
E-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Аннотация. Рассматривается возможность аккумулирования энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками. Проанализированы существующие комбинированные энергообъекты. Сделан вывод о том, что наиболее перспективными для совместного использования с возобновляемыми источниками энергии являются гидро- и газоаккумулирующие электростанции. Рассчитана годовая выработка электроэнергии солнечной и ветряной электростанций расчетной мощностью по 6 МВт, расположенных на территории полуострова Крым. Смоделирована совместная работа выбранных электростанций с аккумулирующими. Предложены возможные схемы такого комбинированного энергообъекта и режимы его работы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, газоаккумулирующая электростанция, гидроаккумулирующая электростанция, совместная работа, эффективность, надежность, полуостров Крым

ВВЕДЕНИЕ

Доля электрической энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками, непрерывно растет. Этому способствует целый ряд причин, среди которых можно выделить заботу об окружающей среде, стремление к энергонезависимости, возможность энергоснабжения объектов, удаленных от основных сетей.

Полуостров Крым благодаря своему географическому расположению обладает большим потенциалом использования возобновляемых источников энергии. Так, продолжительность солнечного сияния на территории Крыма в среднем составляет 2200-2500 ч/год [1], а годовая сумма общего излучения, падающего на горизонтально установленные фотоэлектрические панели достигает 1550 кВт ч/м² [2]. В свою очередь, длина береговой линии Крымского полуострова по разным оценкам составляет от 720 км [1] до 980 км [3], где средняя годовая скорость ветра составляет 5 – 6 м/с [4, 5]. На сегодняшний день на полуострове эксплуатируются пять солнечных и шесть ветряных электростанций общей установленной мощностью 318,76 МВт, что по состоянию на конец 2015 года составляло 39,4 % от всей генерируемой электроэнергии [6 – 8].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Однако выработка электроэнергии как солнечными, так и ветряными электростанциями напрямую зависит от изменения погодных условий. В связи с этим очень трудно прогнозировать мощность, реально вырабатываемую такими электростанциями, и тем более изменять ее величину для удовлетворения требований потребителей.

Решением этой проблемы может стать аккумулирование всей или части вырабатываемой возобновляемыми источниками электроэнергии с последующей ее выдачей в сеть по мере необходимости. Среди всех способов

аккумулирования энергии наиболее перспективными для совместной работы с солнечными и ветряными электростанциями, по мнению авторов, являются гидро- и газоаккумулирующие электростанции [9 – 11].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ работы таких гибридных электростанций, включающих в себя возобновляемые источники и аккумулирующие электростанции, рассмотрен в целом ряде работ [12 – 17].

В [12 – 15] рассмотрена совместная работа газоаккумулирующей и ветряной электростанций. Авторами [12] предложена газоаккумулирующая электростанция для офшорных ветряных турбин, которая использует близкотермическое сжатие/расширение и хранение энергии перед преобразованием в электрическую. Сжатый воздух хранится в так называемом «открытом аккумуляторе». Моделирование этой системы проведено в [14]. Приведены выражения для расчета параметров всех компонентов системы, а также система уравнений ее динамической модели. Разработана система управления, оценен экономический эффект от внедрения предлагаемой электростанции. В [15] описаны основные принципы работы и особенности построения газоаккумулирующей электростанции. Рассмотрена совместная работа газоаккумулирующей и ветряной электростанций. Проанализирована возможность строительства таких комбинированных электростанций на территории Польши. Анализ технологий аккумулирования энергии для использования с гидравлической ветроэнергетической системой представлен в [13]. Рассмотрены три варианта хранения энергии: газоаккумулирование, метод на основе использования батареи и гидроаккумулирование. Отмечено, что газоаккумулирование выгодно

отличается от всех остальных методов и его использование в дальнейшем наиболее перспективно. Особый интерес представляют системы хранения сжатого воздуха, устанавливаемые под водой [18 – 20]. В [18] проведен детальный анализ такой системы, выполнено ее моделирование. Эффективность описанной системы составила 56,2 %. Принципы хранения сжатого воздуха под водой в специально для этого созданных «энергетических мешках» рассмотрены в [19]. Отмечается, что использование описанных систем хранения воздуха обладает целым рядом преимуществ, в том числе, все требования, предъявляемые к резервуару, находящемуся под давлением, исчезают, т.к. окружающее резервуар гидростатическое давление противостоит давлению хранимого воздуха. Кроме того, напряжение, которому подвергается полностью заполненный резервуар, практически не зависит от глубины его погружения, т.е. давление внутри резервуара остается постоянным независимо от объема заполнения. В [20] проведен энергетический анализ трех типов систем хранения сжатого воздуха под водой: адиабатический, с и без рекуперации. Проведено моделирование этих систем и составлены уравнения баланса. Отмечено, что система хранения с рекуперацией обладает большей надежностью, мощностью и быстрым стартом по сравнению с другими анализируемыми системами.

Различные системы гидроаккумулирующей электростанции проанализированы в [16, 17]. В [16] детально описываются предпосылки создания, история, обзор применяемых технологий гидроаккумулирующих электростанций. Рассмотрены проекты новых электростанций. Проанализирована возможность работы такой системы совместной с возобновляемыми источниками энергии. Сделано вывод о том, что дальнейшее развитие технологий гидроаккумулирования будет способствовать увеличению надежности системы электроснабжения, расширит возможности использования возобновляемых источников энергии, тем самым уменьшит вредные выбросы в атмосферу. В [17] рассмотрены основные принципы функционирования гидроаккумулирующих электростанций. Описаны гидроэлектростанции, которые уже существуют, находятся на этапе строительства или проектирования на территории Португалии. Рассмотрен проект расширения гидроэлектростанции Alqueva I, расположенной на реке Гвадиана, путем строительства дополнительного блока Alqueva II. В основном он будет использоваться для регулирования мощности в электрической сети.

Описание комбинированной генерирующей/аккумулирующей энергетической системы

Целью данной работы является рассмотрение совместной работы возобновляемых источников

энергии и систем хранения энергии, анализ возможных режимов их работы.

В качестве источника электрической энергии взяты две электростанции – ветряная и солнечная, обе установленной мощностью 6 МВт. Для ветряной электростанции были выбраны турбины T600-48, а для солнечной – фотоэлектрические элементы KV-185W/24V. Местом расположения ветряной электростанции выбран Сакский район на западе Крыма, а солнечной – вблизи г. Феодосия на юго-востоке полуострова. В выбранных регионах Крыма на сегодняшний день уже существуют электростанции на возобновляемых источниках: Мирновская ВЭС мощностью 19 МВт в Сакском районе и СЭС «Владиславовка» мощностью 110 МВт в Кировском районе. Изменение выработки электроэнергии выбранными электростанциями в течение года изображены на рис. 1. Расчеты проведены на основании метеорологических данных для указанных регионов и технических параметров для выбранного энергооборудования, представленных в [21].

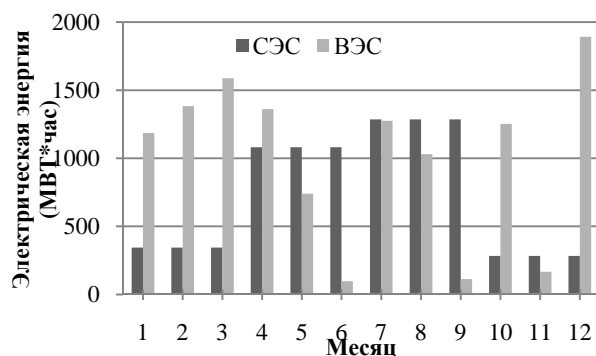


Рис. 1. Выработка электроэнергии солнечной (СЭС) и ветряной электростанциями (ВЭС)

Как уже было отмечено, ввиду особенностей функционирования солнечной и ветряной электростанций нельзя гарантировать стабильную и надежную выдачу ими расчетной мощности, т.к. текущие погодные условия могут отличаться от представленных в истории метеонаблюдений. Резкое внезапное изменение величины генерируемой мощности повлечет за собой изменение баланса мощности в энергосистеме. Это даст начало возникновению переходных процессов и флуктуаций напряжения и частоты. Такая электростанция будет отключена от общей сети и переведена на собственную нагрузку, что приведет к дефициту мощности в энергосистеме. Кроме того, возникнут дополнительные осложнения, связанные с необходимостью проведения мероприятий по переподключению электростанции на параллельную работу с сетью.

Аккумулирование электроэнергии генерируемой такими источниками со стабильной последующей выдачей в сеть позволит выровнять график выработки ими мощности. Однако, хранение всей вырабатываемой солнечной или ветряной

электростанцией энергии технически и экономически сложно и нецелесообразно.

Как следствие, для совместной работы генерирующей и аккумулирующей электростанций предлагается использовать следующий алгоритм. Энергию, вырабатываемую электростанцией, следует разделить на две части между двумя потребителями: одна часть будет направлена напрямую в энергосистему, вторая – в аккумулирующую электростанцию. Величина первой части, так называемое пороговое значение, должна быть такой, чтобы электростанция обеспечивала стабильную выработку этой энергии большую часть времени.

Распределение энергии между потребителями предлагается сделать не постоянным, а варьировать от месяца к месяцу.

Так, для солнечной электростанции в первые и последние три месяца года, т.е. месяцы с наименьшей солнечной активностью, в энергосистему будет отдаваться 60% от расчетной выработки электроэнергии. А в остальное время года – 80%. Остальная часть энергии будет аккумулироваться в газоаккумулирующей или гидроаккумулирующей электростанции.

Для ветряной электростанции в месяцы с неблагоприятными погодными условиями, а именно в шестой, девятый и одиннадцатый, распределение энергии между потребителями будет составлять 60%/40%. В остальные месяцы – 80%/20%. Распределение выработанной электростанциями энергии между энергосистемой и аккумулирующей электростанцией показаны на рис. 2.

Как видно из рис. 2, энергия, запасаемая в аккумулирующей электростанции, изменяется в течение года. Это приведет к тому, что в месяцы, когда рассчитывается запасать малое количество энергии, часть оборудования аккумулирующей электростанции и ее хранилища не будут использоваться.

Следует подбирать тип, мощность компрессоров/насосов и генераторов таким образом, чтобы даже в моменты, когда подаваемая для аккумулирования энергия минимальна, происходила закачка воздуха/воды в хранилища. Для более точного распределения энергии, подаваемой в энергосистему и аккумулирующую электростанцию, необходимо проводить более детальные метеорологические исследования и натурные эксперименты. В результате, может оказаться целесообразной корректировка распределения энергии отдельно на каждый день или в течение одного дня.

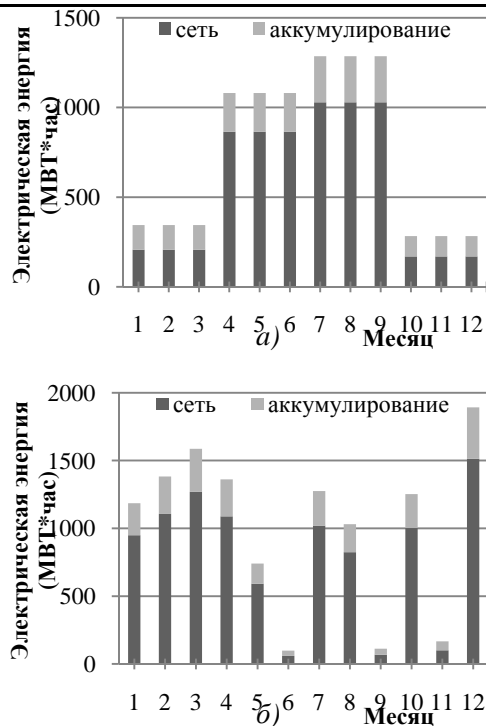


Рис. 2. Распределение выработанной электростанциями энергии: а) солнечная электростанция; б) ветряная электростанция

В свою очередь, КПД газоаккумулирующей электростанции по разным оценкам составляет 60 – 70%, гидроаккумулирующей – 70 – 80% [16, 18]. Изменение суммарной выработки генерирующей и аккумулирующей электростанциями в течение года с учетом потерь на преобразование энергии в последней представлено на рис. 3. КПД для обеих аккумулирующих электростанций был принят 70%.

В целом, суточный график совместной выработки энергии генерирующей и аккумулирующей электростанциями может выглядеть, как это показано на рис. 4.

Упрощенная электрическая схема такой комбинированной энергетической системы может иметь вид, представленный на рис. 5.

Такая схема может иметь несколько режимов работы.

1. Погодные условия в регионе размещения электростанции благоприятны и величина генерируемой ею мощности превышает установленное пороговое значение, отдаваемое в общую энергосистему. Тогда, замыкаются соответствующие выключатели и запускаются компрессоры/насосы аккумулирующей электростанции для заправки воздуха/воды в хранилища. В результате электростанция снабжает потребителей энергосистемы, а избыток энергии накапливается в аккумулирующей электростанции.

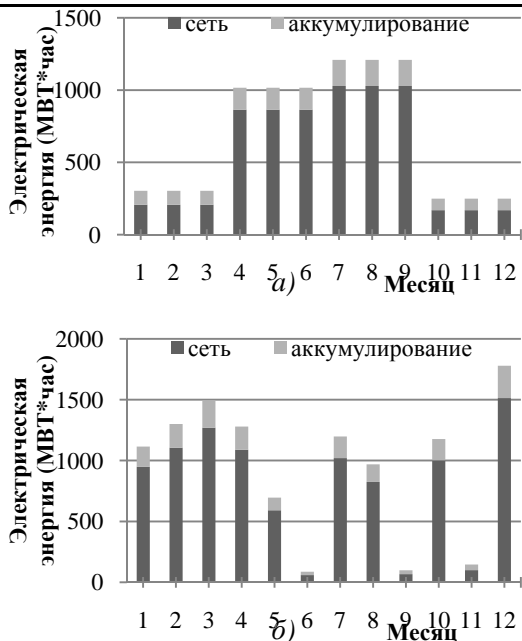


Рис. 3. Распределение выработанной электростанциями энергии с учетом потерь на ее преобразование: а) солнечная электростанция; б) ветряная электростанция

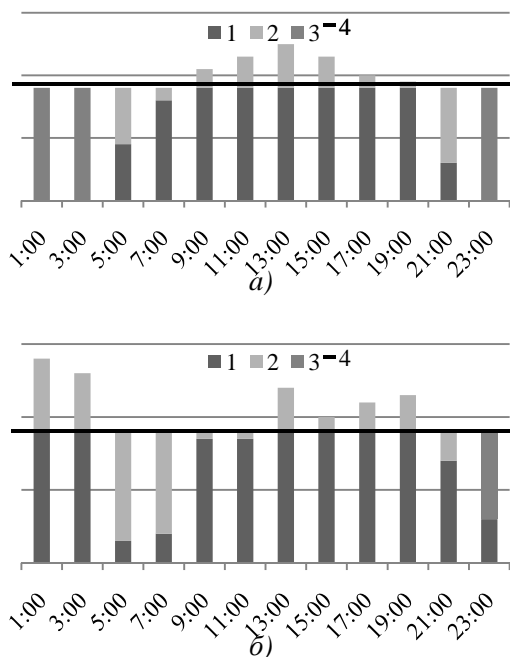


Рис. 4. Возможный пример суточного графика совместной выработки энергии генерирующей и аккумулирующей электростанциями: а) солнечная электростанция; б) ветряная электростанция; 1) энергия, отдаваемая в сеть генерирующей электростанцией; 2) энергия, запасаемая/выдаваемая аккумулирующей электростанцией; 3) энергия, компенсируемая сетью; 4) установленное пороговое значение мощности, выдаваемой электростанциями

2. Хранилища аккумулирующей электростанции заполнены, а мощность, вырабатываемая генерирующей электростанцией в сеть, ниже установленного уровня или наблюдается резкий

скачок потребления в энергосистеме. Аккумулирующая электростанция переключается в генераторный режим работы для покрытия возникшего дефицита мощности.

3. В случае, когда собственной генерации электростанции недостаточно для закачки воздуха/воды в хранилища, они могут быть заполнены от энергосистемы при наличии там избытка мощности.

ВЫВОДЫ

Роль возобновляемых источников в обеспечении потребителей электроэнергией, в том числе и на полуострове Крым, непрерывно растет. Возрастающая популярность таких устройств генерации обусловлена, главным образом, стремлением к энергонезависимости и заботе об окружающей среде. Особенностью этих источников, а вместе с тем и их основным недостатком, является прямая зависимость объема вырабатываемой ими электроэнергии от переменчивых погодных условий. Повысить эффективность и надежность работы возобновляемых источников возможно путем аккумулирования вырабатываемой ими энергии для последующей выдачи ее в энергосистему. Анализ литературных источников показал, что наиболее перспективными для совместной работы с возобновляемыми источниками являются газо- и гидроаккумулирующие электростанции. В качестве примера, авторами были взяты солнечная и ветряная электростанции мощностью по 6 МВт, расположенные на территории полуострова Крым. Предложено ограничить выдачу электроэнергии станциями в сеть до определенного порогового значения, а излишек энергии, при наличии, направлять в аккумулирующую электростанцию. Величину порогового значения рекомендуется варьировать в течение года в зависимости от изменения погодных условий. Рассчитана годовая выработка электроэнергии выбранных электростанций и суммарная выработка этих электростанций совместно с аккумулирующими. Рассмотрены возможные схемы рассматриваемого энергообъекта. Предложены режимы его работы.

Расчеты показали, что использование аккумулирующих электростанций совместно с возобновляемыми источниками обеспечит стабильную генерацию мощности в энергосистему, придаст им маневренность в случае необходимости покрытия пиковых часов графика электрической нагрузки, даст возможность участвовать в регулировании частоты и напряжения при резких изменениях нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова М.С. Морские берега Крыма как ресурс рекреации (на примере берегов Западного Крыма). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. М.: 2010. – 26 с.

2. Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>].
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Крым в 2013 году. г. Симферополь: Рескомприроды Крыма, 2013. – 136 с.
4. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // Научные труды УкрНГГМИ. – 2008. – Вып. 257. – С. 84 – 105.
5. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2008. – вып.17. – С.225-243/
6. Бекиров Э.А. Повышение энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2013. – Вып. 68. – С. 47 – 51.
7. Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2015 - 2021 годы. Министерство энергетики Российской Федерации. Приказ № 627 от 9.09.2015 г. 442 с.
8. Бекиров Э.А. Рост электропотребления в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. - № 6(58). – С. 66 – 70.
9. Hadjipaschalis I., Poullikkas A., Efthimiou V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13, P. 1513 – 1522.
10. Kim Y. M., Lee J.H., Kim S.J., Favrat D. Potential and Evolution of Compressed Air Energy Storage: Energy and Exergy Analyses. *Entropy*, 2012, 14, P. 1501 – 1521.
11. Energy Storage - Technologies and Applications, Edited by A. F. Zobaa, InTech, 2013.
12. Li P.Y., Loth E., Simon T.W., de Ven J.D.V., Crane S.E.. Compressed air energy storage for offshore wind turbines. In Proceedings of the 2011 international fluid power exhibition (IFPE), Las Vegas, NV, 2011.
13. Vaezi M., Izadian A. Energy Storage Techniques for Hydraulic Wind Power Systems. In Proceedings of the 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Milwaukee, USA, 2014, P. 897 – 901.
14. Saadat M., Shirazi F.A., Li P. Y. Modeling and control of an open accumulator Compressed Air Energy Storage (CAES) system for wind turbines. *Applied Energy*, 2015, 137, P. 603 – 616.
15. Milewski J., Badyda K., Szablowski L. Compressed Air Energy Storage Systems. *Journal of Power Technologies*, 2016, 96 (4), P. 245–260.
16. Botterud A., Levin T., Koritarov V. Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy, Argonne National Laboratory, 2014.
17. Ramos H.M., Amaral M.P., Covas D.I.C. Pumped-Storage Solution towards Energy Efficiency and Sustainability: Portugal Contribution and Real Case Studies. *Journal of Water Resource and Protection*, 2014, 6, P. 1099-1111.
18. Cheung B.C., Carriveau R., Ting D. S.-K. Parameters affecting scalable underwater compressed air energy storage. *Applied Energy*, 2014, 134, P. 239–247.
19. de Jong M. Commercial Grid Scaling of Energy Bags for Underwater Compressed Air Energy Storage. In Proceedings of 2014 Offshore Energy & Storage Symposium Windsor, Canada, 2014.
20. Salyga S., Szablowski L., Badyda K. Energy analysis of underwater energy storage system based on compressed air. *Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery*, 2016, 131, P. 151 – 160.
21. Учебное пособие по выполнению квалификационной работы по направлению 13.03.02 электроэнергетика и электротехника. Под ред. Бекирова Э.А., Воскресенской С.Н. Симферополь, ИТ «Ариал», 2017.

REFERENCES

1. Orlov, M. S. Sea coast as a recreation resource (for example, the coast of Western Crimea). The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of geographical Sciences. M.: 2010. – 26 S.
2. Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>].report on the state and environmental protection of the Republic of Crimea in 2013. Simferopol: Crimea reskomprirody, 2013. – 136 p.
3. Repetin L. N., Belokopytov V. N.. wind Regime over the coast and shelf of the North-Eastern part of the Black sea // proceedings of Ukrnigmi. – 2008. – Vol. 257. – P. 84 – 105.
4. Repetin L. N., Belokopytov V. N. The wind regime of the North-Western Black sea and its climate change // Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources. – 2008. – vol.17. – P. 225-243/
5. Bakirov, E. A. increasing the energy potential of the Crimea in the use of renewable energy sources / Building. Materials. Engineering. – 2013. – Vol. 68. – S. 47 – 51.
6. approval of schemes and programs of development of Unified energy system of Russia for 2015 - 2021. The Ministry of energy of the Russian Federation. The order № 627 from 9.09.2015 G. S. 442
7. Bakirov, E. A. the Growth of energy consumption in the Crimea // Construction and novena security. – 2017. - № 6(58). – P. 66 – 70.
8. I. Hadjipaschalis, Poullikkas A., Efthimiou V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13, P. 1513 – 1522.
9. Kim Y. M., Lee J. H., Kim S. J., Favrat D. Potential and Evolution of Compressed Air Energy Storage: Energy and Exergy Analyses. *Entropy*, 2012, 14, P. 1501 – 1521.

10. Energy Storage - Technologies and Applications, Edited by A. F. Zobaa, InTech, 2013.

11. P. Y. Li, E. Loth, T. W. Simon, de Ven, J. V. D., Crane S. E.. Compressed air energy storage for offshore wind turbines. In Proceedings of the 2011 international fluid power exhibition (IFPE), Las Vegas, NV, 2011.

12. M. Vaezi, A. Izadian Energy Storage Techniques for Hydraulic Wind Power Systems. In Proceedings of the 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications Milwaukee, USA, 2014, P. 897 – 901.

13. M. Saadat, F. Shirazi A., P. Y. Li Modeling and control of an open accumulator Compressed Air Energy Storage (CAES) system for wind turbines. Applied Energy, 2015, 137, P. 603 – 616.

14. J. Milewski, K. Badyda, Szablowski L. Compressed Air Energy Storage Systems. Journal of Power Technologies, 2016, 96 (4), P. 245-260.

15. Botterud A., Levin T., V. Koritarov Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy, Argonne National Laboratory, 2014.

16. Ramos H. M., Amaral M. P., Covas D. I. C. Pumped-Storage Solution towards Energy Efficiency and Sustainability: Portugal Contribution and Real Case Studies. Journal of Water Resource and Protection, 2014, 6, P. 1099-1111.

17. C. B. Cheung, R. Carriveau, Ting D. S.-K. Parameters affecting scalable underwater compressed air energy storage. Applied Energy, 2014, 134, P. 239-247.

18. de Jong M. Commercial Grid Scaling of Energy Bags for Underwater Compressed Air Energy Storage. In Proceedings of 2014 Offshore Energy & Storage Symposium Windsor, Canada, 2014.

19. S. Salyga, L. Szablowski, Badyda K. Energy analysis of underwater energy storage system based on compressed air. Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery, 2016, 131, P. 151 – 160.

20. A tutorial on the eligibility of work in the direction 13.03.02 power and electrical engineering. Ed Bekirova E. A., Voskresenskaya, S. N. Simferopol, it "Arial", 2017.

Asanov M.M., Bekirov E.A.

INCREASING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES BY ACCUMULATING THE ENERGY GENERATED BY THEM

Summary. The possibility of accumulating the energy generated by renewable sources is considered. Existing combined power facilities are analyzed. It was concluded that the most promising for joint work with renewable energy sources are pumped hydro storage and compressed air energy storage power plants. The yearly power generation of solar and wind power plants with an estimated capacity of 6 MW each, located on the territory of the Crimea peninsula, is calculated. The combined work of the selected power plants with accumulating plants was simulated. Possible electric circuit of such a combined power facility and its operation modes are proposed.

Key words: renewable energy sources, compressed air energy storage, pumped hydro storage, joint work, efficiency, reliability, Crimea peninsula

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧНОСТИ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ И МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Боровский Б.И., Дихтябрь Т.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181
e-mail: energia-09@mail.ru

Аннотация. Предварительная оценка экономичности различных типов насосов позволяет остановиться на оптимальном типе. В статье на основании анализа экспериментальных параметров выполненных одноступенчатых и многоступенчатых насосов и известной структуры аналитической формулы для КПД получены соотношения, позволяющие оценить экономичность различных типов насосов по величине коэффициента быстроходности, известной в начале проектирования насоса. С помощью этих соотношений легко определяется экономическое преимущество того или иного типа насоса. Установлено, что насосы двухстороннего входа, насосы типа Д по экономичности превосходят одноступенчатые насосы, насосы типа К на 13,7%. Из многоступенчатых спиральные насосы уступают по экономичности секционному насосу на 20%. Полученные соотношения позволяют увеличить объем информации в начале проектирования насоса, которая приводится в соответствующих таблицах. Показано, что использование конфузрных колес в насосах позволяет повысить экономичность насосов (КПД и коэффициент напора).

Ключевые слова. центробежный насос, одноступенчатый и многоступенчатый насосы, экономичность, КПД и коэффициент напора, диаметр входа в колесо, коэффициент быстроходности насоса, колеса диффузные и конфузрные.

ВВЕДЕНИЕ

Насосы входят в различные технические системы, в том числе, в системы жизнеобеспечения зданий и сооружений. При проектировании насосов заданным является коэффициент быстроходности насоса. По значению этого коэффициента полезно оценить в первом приближении ожидаемую экономичность проектируемого насоса. Полезно также при проектировании иметь данные об экономичности различных типов насоса. В статье предложены соотношения для оценки и сравнения энергетического совершенства одноступенчатых и многоступенчатых насосов как с диффузными так и конфузными колёсами.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [1] приведены теоретические соотношения для расчёта объёмного и дискового КПД, зависящие от числа Рейнольдса, расходного параметра насоса, коэффициента быстроходности n_s и ряда других параметров насоса. Для оценки полного КПД насоса необходимо ещё значение гидравлического КПД. Эта величина оценивается только по относительному диаметру входа в колесо насоса. Эти соотношения сложные и требуют подробных данных о параметрах, которые не известны в начале проектирования насоса, поэтому они не приемлемы для предварительной оценки экономичности насоса.

В книге [2] даны графики зависимости КПД от n_s для одноступенчатых центробежных насосов со спиральными отводами. Изменяются значения диаметра входа в колесо: $D_0 > 200$ мм, 200 – 50 мм и 50 – 10 мм. Некоторые графики простираются до $n_s = 820$, охватывая область осевых насосов. Отмечается, что максимальный КПД центробежных

насосов достигается при $n_s = 150 - 250$. К сожалению, не поясняется, как получены эти графические зависимости или откуда они заимствованы.

В исследованиях [3] содержится аналитическая связь КПД насоса с коэффициентом быстроходности и диаметром входа в колесо, которая используется в дальнейшем. В работе [4] приведена таблица разновидностей рабочих колёс насосов, в которой указаны меридиональные сечения колёс, отношения диаметров выхода из колеса и входа в колесо, вид лопастей и виды рабочих характеристик насосов четырёх видов колёс: тихоходные (значения коэффициента быстроходности $n_s = 50 - 80$), нормальные ($n_s = 80 - 300$), диагональные ($n_s = 250 - 500$) и осевые ($n_s = 500 - 1000$). В работе [5] приводятся значения отношений диаметров входа и выхода из колеса и содержится ещё один вид колеса, расположенный между нормальным и диагональным видами, быстроходное колесо ($n_s = 140 - 300$). При этом оказываются другими диапазоны значений n_s . В работах [3,4] отсутствуют данные по экономичности насосов при различных видах рабочих колёс. Работы [6-8] рассматривают различные типы колёс.

Как отмечалось, коэффициент быстроходности является заданным в начале проектирования насоса. Действительно, рассмотрим выражение для коэффициента быстроходности:

$$n_s = 3,65 n Q_c^{0,5} / H^{0,75},$$

где n – об / мин; Q_c – м³ / с; H – м.

Видно, что коэффициент быстроходности становится заданной величиной, так как при проектировании насоса задаются числом оборотов насоса n , подачей Q_c и напором H .

В работе [9] получены результаты математического моделирования течения в

конфузорном колесе. Показано, что течение в конфузорном колесе принципиально отличается от течения в диффузорном колесе. Характер межлопастного канала определяется соотношением площадей на входе и выходе колеса

$$F_1/F_2 = \overline{D}_1 b_1 \sin \beta_{1л} / b_2 \sin \beta_{2л}.$$

В конфузорном колесе межлопастной канал конфузорный при $F_1/F_2 > 1$, а в диффузорном колесе межлопастной канал диффузорный и $F_1/F_2 < 1$. Для диффузорного колеса коэффициент влияния конечного числа лопастей K_Z всегда меньше единицы ($0 \leq K_Z < 1$), $N_T < N_{T\infty}$, а угол отставания потока на выходе колеса от направления лопастей $\delta = \beta_{2л} - \beta_2$ является положительным, $\delta > 0$. В конфузорном колесе угол отставания потока оказывается отрицательным, $\delta < 0$ и поэтому угол потока на выходе больше угла лопасти, $\beta_2 > \beta_{2л}$. В связи с этим возможны значения $K_Z > 1$, $K_Z < 0$ и $N_T > N_{T\infty}$. В частности, возможно $N_T > 0$ при $N_{T\infty} < 0$. Изложенное показывает, что в конфузорном колесе характер течения обеспечивает повышение напора без увеличения наружного диаметра и частоты вращения колеса. В работе [10] экспериментально подтверждены полученные теоретические результаты при работе конфузорного колеса в открытом пространстве, при измерении углов потока в колесе. В книге [11] приведены результаты испытаний четырёх насосов с колёсами разной конфузорности и показано, что с ростом конфузорности возрастают напор и кпд насоса. В работе [12] определены значения расходного параметра $q = (c_{2м} / u_2) \operatorname{ctg} \beta_{2л}$, при которых

теоретический напор $\overline{N}_T = K_Z (1 - q)$, действительный напор и кпд насосов с конфузорными колёсами превышают теоретический, напор и кпд насосов с диффузорными колёсами.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью статьи является разработка модели оценки экономического совершенства центробежных насосов различного типа. Задача состоит в выявлении экономических преимуществ типов насосов и использование экономических показателей насосов различного типа в таблицах, применяемых при проектировании насосов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методом исследований является анализ литературных и экспериментальных данных с последующим построением модели определения экономического совершенства центробежных насосов различного типа.

Одноступенчатые насосы

Формула для определения зависимости кпд центробежных насосов от коэффициента быстроходности и диаметра входа в колесо имеет вид ($D_0 = 0,1 - 1\text{ м}$) [3]:

$$\eta_{\max} = 0,910 / (1 + 71,6 / n_s^{4/3}) + 0,051(D_0 - 0,1). \quad (1)$$

При сравнении расчётных данных по кпд (1) с графическими зависимостями кпд работы [2], в которой даны графики зависимости кпд от коэффициента быстроходности насоса n_s для центробежных одноступенчатых насосов одностороннего входа со спиральными отводами. Изменяются значения диаметра входа в колесо: $D_0 > 200$ мм, $200 - 50$ мм и $50 - 10$ мм. Некоторые графики простираются до $n_s = 820$, охватывая область осевых насосов. Отмечается, что максимальный кпд центробежных насосов достигается при $n_s = 150 - 250$. К сожалению, не поясняется, как получены эти графические зависимости или откуда они заимствованы. При сравнении расчётных данных по кпд (1) с графическими зависимостями работы [2] приняты следующие три значения: $D_0 = 50, 125, 200$ мм. Результаты сравнения показали, что для получения лучшей сходимости расчёта с графиками следует принять в формуле (1) вместо постоянной 0,910 величину 0,825:

$$\eta_{\max} = 0,825 / (1 + 71,6 / n_s^{4/3}) + 0,051(D_0 - 0,1). \quad (2)$$

Формула (2) принята за базовую для дальнейших исследований. По этой формуле определяется максимальный кпд η_{ϕ} . Среднее отношение η / η_{ϕ} для совокупности данных по максимальному η насосов позволяет уточнить коэффициент A в общей формуле для кпд:

$$\eta_{\max} = A / (1 + 71,6 / n_s^{4/3}) + 0,051(D_0 - 0,1). \quad (3)$$

После уточнения коэффициент A , расчётом по формуле (3) находятся значения η_{Δ} , которые совместно со значениями η позволяет рассчитать среднеквадратичную погрешность σ формулы (3).

Помимо использованных данных работы [2], проанализируем информацию по одноступенчатым центробежным насосам типа К (консольные насосы) [13], которая охватывает параметры 13 насосов с подачей $Q = 3 - 90$ л/с, напором $H = 17 - 85$ м при максимальном кпд, числе оборотов $n = 1450$ и 2900 об/мин. и $n_s = 62 - 170$. Максимальный кпд η меняется в диапазоне $0,615 - 0,81$. Значения диаметра входного патрубка D_0 определялись по фактическим данным или по первой цифре марки насоса. Например, марка насоса К 200 - 150 - 250. Тогда $D_0 = 200$ мм (наибольшая величина). Поправка на кпд составляет всего 0,0051, то есть влияет только на третий знак кпд. Расчёты показали, что для этих одноступенчатых насосов со спиральными отводами коэффициент $A = A_1 = 0,853$ при $\sigma = 4\%$.

Насосы типа Д

Насосы двухстороннего входа, состоящие из двух ступеней, имеющих общие подводящие и отводящие патрубки. В источнике [14] приведены параметры 21 насоса при подаче, приходящейся на одну ступень, $Q = 100 - 3400$ м³/ч, $H = 20 - 120$ м, $n = 730 - 2950$ об/мин и $n_s = 50 - 180$. Максимальный кпд $\eta = 0,7 - 0,89$. Расчёты показали, что для этих

насосов со спиральными отводами коэффициент $A = A_d = 0,970$ при $\sigma = 4,2\%$.

Многоступенчатые насосы

В отечественном и зарубежном насосостроении получили распространение два типа многоступенчатых насосов: спиральные и секционные. В спиральных насосах используются спиральные, а в секционных – лопастные отводы. В работе [2] отмечается, что спиральные насосы уступают секционным по экономичности.

Спиральные насосы [2]. К этим насосам относятся 8 конденсатных насосы КсВ, предназначенных для откачки конденсата из конденсатосборника, и низконапорные питательные насосы ПЭ с невысокой подачей. Параметры насосов: $Q = 35 - 475 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $H = 160 - 580 \text{ м}$, $n = 1450 - 2950 \text{ об/мин}$, число ступеней 5 - 10 и коэффициент быстроходности ступени $n_s = 50 - 120$. Максимальный кпд $\eta = 0,50 - 0,70$. Расчёты показали, что для этих насосов со спиральными отводами коэффициент $A = A_c = 0,782$ при $\sigma = 1,6\%$.

Секционные насосы [2]. К этим насосам относятся 8 насосов МС для водоотлива и гидродобычи в горной промышленности и питательные насосы ПЭ. Им соответствует $Q = 100 - 720 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $H = 500 - 2200 \text{ м}$, $n = 2950 \text{ об/мин}$, число ступеней 5 - 11 и коэффициент быстроходности ступени $n_s = 50 - 100$. Максимальный кпд $\eta = 0,50 - 0,80$. Результаты расчётов показали, что для этих секционных насосов коэффициент $A = A_{\text{сек}} = 0,940$ при $\sigma = 2,2\%$.

Оценить экономическое превосходство того или иного насоса легко сравнением только коэффициента A . Таким образом установлено, что насосы двухстороннего входа, насосы типа Д по экономичности превосходят одноступенчатые насосы, насосы типа К на 13,7%. Из многоступенчатых насосов спиральные насосы уступают по экономичности секционным насосам на 20%. Сравнение экономичности насосов показало, что, видимо, экономическое совершенство насосов определяется используемыми методами гидродинамического проектирования насосов.

Для определения коэффициента напора \bar{H} воспользуемся теми же параметрами выполненных одноступенчатых насосов и насосов двухстороннего входа (насосы типа Д), которые были использованы при формировании соотношения (3). Для многоступенчатых насосов определить коэффициент напора не удалось в связи с отсутствием данных по максимальному диаметру колеса.

Одноступенчатым насосам соответствует средняя величина $\bar{H} = 0,520$ при среднеквадратичной погрешности 4,2%. В случае насосов двухстороннего входа (насосы типа Д)

коэффициент напора определяется по следующей формуле при среднеквадратичной погрешности 3,9%:

$$\bar{H} = 0,585 - 0,001 n_s$$

При формировании таблицы приняты данные работы [5], так как при этом обеспечивается непрерывность изменения коэффициента быстроходности. Быстроходное колесо укорочено диапазоном $n_s = 140 - 200$. Значения коэффициента быстроходности ограничены 200 в связи с ограниченностью полученной формулы для кпд. Значения кпд рассчитаны по формуле (3) при экстраполяции до $n_s = 40$ и $n_s = 140$ и 200.

Таким образом, получены значения энергетических показателей насосов с диффузорными колёсами различных видов (кпд и коэффициент напора).

Следует отметить, что для многоступенчатых насосов использование быстроходных колёс проблематично. Так в случае перехода насоса спирального типа с $n_s = 120$ к $n_s = 200$ число ступеней возрастает в 2 раза, с 4 до 8 при увеличении кпд всего на 6%. Для насоса секционного типа повышение с $n_s = 100$ до $n_s = 200$ приводит к росту числа ступеней в 2,6 раза, с 11 до 29 при увеличении кпд на 11%. Зарубежные фирмы при проектировании многоступенчатых насосов принимают в основном наибольшие значения $n_s = 130 - 150$. Однако итальянская фирма **Calpeda** принимает $n_s = 300$ для многоступенчатого насоса с 30 ступенями при напоре ступени 8м и кпд 0,78.

Из таблицы следует, что увеличение с $n_s = 40$ до $n_s = 200$ происходит рост кпд на 42 – 43%.

С помощью зависимостей отношений H_k / H_d и η_k / η_d от расходного параметра q , используя связь q с коэффициентом быстроходности [12], получены следующие соотношения (индекс «к» - конфузорный насос, «д» - диффузорный насос):

$$H_k / H_d = 1,13 + 0,0017 n_s \quad \text{при } n_s \leq 100; \quad (4)$$

$$H_k / H_d = 0,8 + 0,005 n_s \quad \text{при } n_s > 100; \quad (5)$$

$$\eta_k / \eta_d = 1 + 0,0005 n_s \quad \text{при } n_s \leq 100; \quad (6)$$

$$\eta_k / \eta_d = 0,95 + 0,001 n_s \quad \text{при } n_s > 100 \quad (7)$$

С использованием значений кпд и коэффициента напора насосов различных типов с диффузорными колёсами и с помощью полученных соотношений (4 - 7) определяются энергетические параметры насосов с конфузорными колёсами (таблица). Из таблицы видно, что с ростом коэффициента быстроходности с $n_s = 40$ до $n_s = 200$ происходит увеличение кпд насосов с конфузорными колёсами на 50 – 60%. Отношение напоров возрастает в случае одноступенчатого насоса на 50%, а в случае насосов типа Д на 7,5%.

Таблица.1

Энергетические показатели одноступенчатых и многоступенчатых насосов с диффузорными и конфузорными колёсами.

Насос с колесом	тихоходным	нормальным	быстроходным	Тип насосов
n_s	40 - 80	80 - 140	140 – 200	
D_0 / D_2	0,40	0,50	0,55 – 0,65	
η	0,56 – 0,70	0,70 – 0,78	0,78 – 0,80	
\bar{H}	0,52	0,52	0,52	
η	0,64 – 0,80	0,80 – 0,88	0,88 – 0,91	Насосы двухстороннего входа (насосы типа Д) диффузорные
\bar{H}	0,55 – 0,50	0,50 – 0,45	0,45 – 0,39	
η	0,52 – 0,65	0,65 – 0,71	0,71 – 0,74	Многоступенчатые насосы спирального типа диффузорные
η	0,62 – 0,78	0,78 – 0,85	0,85 – 0,89	Многоступенчатые насосы секционного типа диффузорные
η	0,57 – 0,73	0,73 – 0,85	0,85 – 0,92	Одноступенчатые конфузорные
\bar{H}	0,62 – 0,66	0,66 – 0,78	0,78 – 0,94	
η	0,65 – 0,83	0,83 – 0,96	0,96 – 0,98	Насосы двухстороннего входа (насосы типа Д) конфузорные
\bar{H}	0,66 – 0,60	0,60 – 0,70	0,70 – 0,71	
η	0,53 – 0,67	0,67 – 0,77	0,77 – 0,85	Многоступенчатые насосы спирального типа конфузорные
η	0,63 – 0,81	0,81 – 0,92	0,92 – 0,98	Многоступенчатые насосы секционного типа конфузорные

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В результате исследований установлено, что насосы двухстороннего входа, насосы типа Д по экономичности превосходят одноступенчатые насосы, насосы типа К на 13,7%.

Из многоступенчатых насосов спиральные насосы уступают по экономичности секционным насосам на 20%.

ВЫВОДЫ

1. С использованием экспериментальных параметров выполненных центробежных насосов получены соотношения для оценки экономического совершенства одноступенчатых и многоступенчатых насосов различного типа.

2. При построении соотношений использована известная структура зависимости экономичности от коэффициента быстроходности насоса.

3. Получены соотношения для оценки экономического совершенства одноступенчатых насосов, насосов с двухсторонним входом, многоступенчатых насосов спирального и секционного типа. Эти соотношения достаточно достоверны, среднеквадратичная погрешность составляет 1,6 – 4,2%.

4. Показано, что насосы двухстороннего входа, насосы типа Д по экономичности превосходят одноступенчатые насосы, насосы типа К на 13,7%.

Из многоступенчатых насосов спиральные насосы уступают по экономичности секционным насосам на 20%.

5. Для многоступенчатых насосов использование быстроходных колёс является проблематичным, так как это ведёт к значительному возрастанию числа ступеней при незначительном увеличении кпд. Однако итальянская фирма Calpeda принимает существенно повышенное значение коэффициента быстроходности (300) для низконапорной ступени, обеспечивая кпд 0,78.

6. Сравнение экономичности насосов показало, что, видимо, экономическое совершенство насосов определяется используемыми методами гидродинамического проектирования насосов.

7. С увеличением коэффициентов быстроходности происходит рост кпд на 42 – 43%.

8. Определены зависимости для оценки влияния введения конфузорности рабочих колёс на экономические показатели насосов.

9. Из таблицы видно, что с ростом коэффициента быстроходности с $n_s = 40$ до $n_s = 200$ происходит увеличение кпд насосов с конфузорными колёсами на 50 – 60%. Отношение напоров возрастает в случае одноступенчатого насоса на 50%, а в случае насосов типа Д на 7,5%.

10. Полученные значения экономических показателей насосов с тихоходными, нормальными и быстроходными рабочими колёсами рекомендуется использовать в соответствующих

таблицах при предварительном определении ожидаемых параметров проектируемых насосов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов / Б.И. Боровский.- М.: «Машиностроение», 1989. – 184 с.
2. Михайлов А.К. Конструкции и расчёт центробежных насосов высокого давления / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. М.: «Машиностроение», 1971. – 304 с.
3. Шестаков К.Н. Расчётно–теоретическая оценка коэффициента теоретического напора центробежного колеса / К.Н. Шестаков // Тр. ЦИАМ. -1980.- 32с.
4. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы // Под ред. Т.М. Башты – М.: «Машиностроение», 1970. – 504 с.
5. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. / А.А. Ломакин. –Л.: «Машиностроение», 1966. – 364с.
6. Лобачёв П.В. Насосы и насосные станции. /П.В. Лобачёв. – М.: МРГТУ, 1990. – 320с.
7. Насосы и насосные станции // Под ред. В.Ф. Чебаевского – М.: Агропромиздат, 1989. – 416с.
8. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессора. / В.М. Черкасский М.: Энергоиздат, 1984. – 416с.
9. Черняк А. П. Зависимость коэффициента реактивности колеса центробежного насоса от его геометрических параметров и режима работы / А. П. Черняк // Лопаточные машины и струйные аппараты. -1966. - № 1. - С. 176 - 203.
10. Локшин И.Л. Применение результатов исследования вращающихся круговых решёток к аэродинамическому расчёту колёс центробежных вентиляторов / И.Л. Локшин // Промышленная аэродинамика, 1963. - № 25. - С.121 – 183.
11. Высокооборотные лопаточные насосы // Под ред. Б.В.Овсянникова и В.Ф. Чебаевского. «Машиностроение», 1974. – 336 с.
12. Боровский Б.И. Центробежные лопаточные насосы с конфузторными рабочими колёсами. / Б.И. Боровский, Симферополь: ООО «Издательство «Доля», 2017. – 58 с.
13. Насосы центробежные консольного типа К и агрегаты электронасосные на их основе // Руководство по эксплуатации № 49.948.00.00.000 РЭ. – Ливны: ОАО «Ливгидромаш».

14. Насосы центробежные двухстороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе // Руководство по эксплуатации Н 03.3.302.00.00.000РЭ – Ливны: ОАО «Ливгидромаш».

REFERENCES

1. Borovsky B. I. Energy parameters and characteristics of high-speed centrifugal pumps / B. I. Borovsky.- M: "Engineering", 1989. – 184.
2. Mikhailov A. K. Design and analysis of centrifugal pumps high pressure / A. K. Mikhailov, V. V., Malysenko. M: "Engineering", 1971. -304 S.
3. Shestakov K. N. Theoretical estimation of the ratio of theoretical head of a centrifugal wheel / K. N. Shestakov, Proc. CIAM. -1980.- 32C.
4. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives // Under the editorship of T. M. Basta, M.: "engineering", 1970. – 504 p.
5. Lomakin A. A. Centrifugal and axial pumps. / A. A. Lomakin. –L.: Engineering, 1966. – 364c.
6. Lobachev V. P. Pumps and pumping stations. /P. V. Lobachev. – М.: RGGU, 1990. – 320c.
7. Pumps and pumping stations // Under the editorship of V. F. Chepelskogo – М.: Agropromizdat, 1989. – 416с.
8. Cherkassky, V. M., Pumps, fans, compressors. V. Cherkassky, M.: Energoizdat, 1984. – 416с.
9. Chernyak A. P. the dependence of the coefficient of reactivity of the wheel of the centrifugal pump from its geometric parameters and mode of operation / A. P. Chernyak // Blade machines and jet apparatus. -1966. - No. 1. - P. 176 - 203.
10. Lokshin, I. L., Application of research results rotating circular gratings for the calculation of aerodynamic wheels centrifugal fans / I. L. Lokshin // Industrial aerodynamics, 1963. - No. 25. - S. 121 – 183.
11. High-speed vane pumps // Under the editorship of B. V. Ovsyannikov and V. F. Chepelskogo. "Engineering", 1974. – 336 p.
12. Borovsky B. I. Centrifugal pumps with vaned impellers converging. / B. I. Borovsky, Simferopol: LLC "Publishing house" Dolya ", 2017. – 58 p.
13. Centrifugal pumps cantilever type K and electropump units on their basis // a user Manual n 49.948.00.00.000 re. – Moscow: JSC "Livgidromash".
14. Centrifugal pumps bilateral input D-type and electric pump units on their basis // a user Manual N 03.3.302.00.00.000 re – Livny: JSC "Livgidromash".

Borovskiy B.I., Dikhtyar T.V.

THE ECONOMIC EFFICIENCY OF SINGLE-STAGE AND MULTISTAGE CENTRIFUGAL PUMPS

Summary. The preliminary estimation of the economics of different types of pumps allows you to stay at the optimal type. In the article, based on the analysis of the experimental parameters of the performed single-stage and multi-stage pumps and the well-known structure of the analytical formula for the efficiency, relations were obtained which allow us to estimate the economics of various types of pumps by the magnitude of the rate of speed known at the beginning of the pump design. With these relationships,

the economic advantage of one or another type of pump is easily determined. It has been established that double-sided input pumps, pumps of the type D are superior to single-stage pumps, with a K-type pump of 13.7%. From multi-stage spiral pumps, the efficiency of sectional pumps is 20% lower. The obtained relationships allow you to increase the amount of information at the beginning of the pump design, which is given in the corresponding tables. It is shown that the use of console wheels in pumps allows to increase pump efficiency (efficiency and pressure coefficient).

Key words. centrifugal pump, single-stage and multi-stage pumps, economy, efficiency and pressure coefficient, wheel entry diameter, pump speed, diffusing and confocal wheels.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО И ПОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВ

Субботкин Л.Д.¹, Урецкий Е.А.², Мороз В.В.³

¹ Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181;

² Брестское отделение Белорусской Инженерной Технологической Академии (БИТА);
ЗБрестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
email: ldsword@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования и на их основе разработана и внедрена инновационная ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод гальванического, покрасочного производств и производства печатных плат.

Ключевые слова: гальваника, лакокрасочное производство, сточные воды, ионы тяжелых металлов, кислоты, щелочи, лакокрасочные материалы, технология очистки сточных вод.

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации и Республике Беларусь большое количество предприятий приборо- и машиностроения имеют производства лакокрасочных и гальванических защитных покрытий, а также производства печатных плат. В производствах защитных покрытий стадии подготовки поверхности деталей перед покрытием (обезжиривание, травление, пассивация) идентичны и отличаются лишь завершающими операциями – покрытие поверхности изделий лакокрасочными материалами (далее ЛКМ) или гальваническое покрытие. В значительной степени аналогичные процессы имеются и на производствах печатных плат.

Сточные воды, сбрасываемые лакокрасочными производствами, характеризуются сложным и переменным составом, высокотоксичными соединениями, преимущественным содержанием растворенных веществ. Данные производства создают проблемы при очистке производственных сточных вод из-за наличия в смеси гальванических и лакокрасочных материалов тяжелых металлов (далее ТМ). Они поступают в сточные воды при подготовке под окраску поверхности изделий, а также при сбросе загрязненных сточных вод из гидрофильтров лакокрасочных камер (рис.1) В воду гидрофильтров ТМ поступают в результате растворения ЛКМ в водяной завесе при

пневматическом нанесении лакокрасочных материалов на поверхность изделия.

Концентрация растворённых ЛКМ в сточных водах ванн гидрофильтров значительно превышает допустимые концентрации (ДК) установленные для сброса сточных вод в городскую канализацию. Имеет место и превышения ДК по ТМ.

Результаты обследований многочисленных предприятий приборо- и машиностроения России, Беларуси и других стран СНГ, в своё время проведенных и Московским государственным проектным институтом (МГПИ) и Белорусским государственным проектным институтом (БелГПИ) показывают, что из-за отсутствия в настоящее время достаточно эффективных и не дорогих технических решений по очистке этого вида сточных вод, они сбрасываются в городскую систему водоотведения.

В этой связи возникла необходимость создания малозатратной и эффективной ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод, загрязнённых ЛКМ, которая позволила бы повторно использовать очищенную воду в производственном цикле предприятия, снизить затраты предприятий на ее очистку и негативное воздействие на окружающую среду, уменьшить нагрузку на городские очистные сооружения, что является весьма актуальным в рамках действующих государственных программ РФ по очистке промышленных сточных вод.

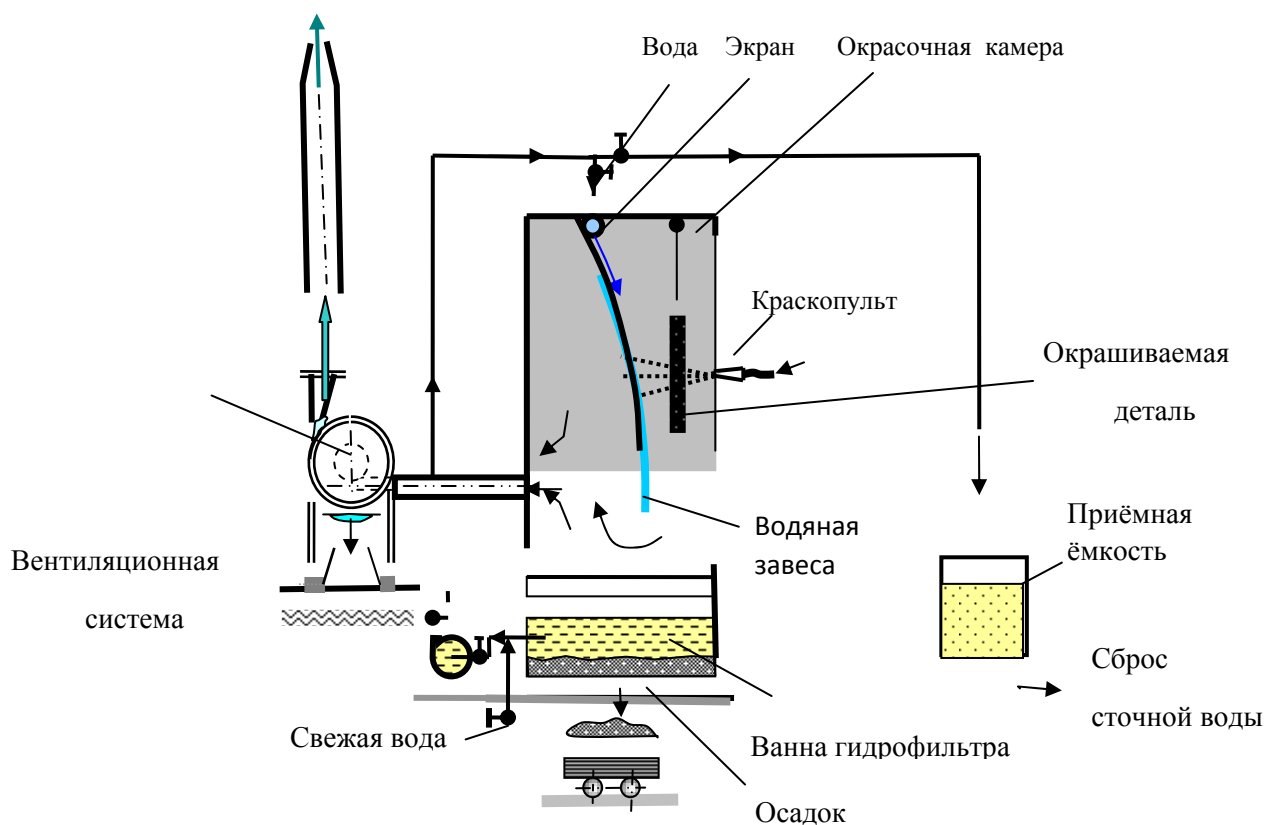


Рис. 1. Покраска методом пневматического распыления с использованием гидрофилтра

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для разработки технологии совместной очистки сточных вод гальванического, покрасочного и производств печатных плат в рамках традиционных очистных сооружений сточных вод гальванического производства были проведены соответствующие исследования [1, 2, 3]:

1. Системный анализ качественного и количественного состава образующихся сточных вод определил оптимальный характер формирования основных потоков в местах их образования, обеспечивающий эффективную очистку сточных вод загрязнённых ЛКМ совместно со сточными водами гальванического производства:

–сточные воды, загрязнённые ЛКМ, из ванн гидрофилтров лакокрасочных камер;

–промывные сточные воды, содержащие хром;

–кислотно-щелочные промывные сточные воды;

–кислые ОТП после операций травления и активации железных изделий, содержащие Fe^{2+} а также меди Cu^{+} ;

–кислые ОТП, не содержащие Fe^{2+} (HNO_3 , H_2PO_4 , и др.);

–щелочные ОТП.

2. Установлено, что предварительное барботирование сточных вод, загрязнённых ЛКМ, сжатым воздухом интенсивностью 3–5 $дм^3/(с \cdot м^2)$ более 20 минут позволяет снизить ХПК до 20% .

3. Экспериментально было подтверждено, что объединение сточных вод содержащих хром и ЛКМ, при их последующей совместной обработке в реакторе–восстановителе хрома (VI) до хрома (III) при $pH=2,5-3,0$, в присутствии в

реакционной смеси традиционного катализатора – хрома, позволяет провести процесс деструкции ЛКМ и снижение ХПК еще на 20%. При этом для восстановления хрома (VI) и поддержания величины $pH=2,5-3,0$, необходимо использовать кислые ОТР, содержащие железо (II), что позволит заменить приобретаемые реагенты ($NaHSO_3$, H_2SO_4 и др.), повысить коагулирующую способность и сорбционную ёмкость оксигидратного коллектора, образующегося при нейтрализации всех видов сточных вод в реакторе–нейтрализаторе.

4. На основании результатов экспериментальных исследований были определены условия кинетики процессов сорбции и агрегирования органических загрязнений на оксигидратных коллекторах. Установлено и в производственных условиях подтверждено, что при сорбции ЛКМ на оксигидратном коллекторе с концентрацией более 110 мг/дм^3 в процессе нейтрализации общего потока сточных вод в течение 7–10 минут при $pH=8,0-8,5$ снижается ХПК до $620 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, а после осветления до ХПК = $30-40 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$.

5. Экспериментальными исследованиями гидродинамической обстановки в промышленных аппаратах с механической мешалкой установлено, что при их использовании в диапазоне оборотов 170 - 300 мин^{-1} , величине $pH = 7,8 - 9,3$ и составе сточных вод, оптимальный временной интервал обработки составит 7–10 минут. Это позволит совместить стадии смешивания и реакции в одном объёме и уменьшить объём ёмкостной аппаратуры более чем в три раза при снижении энергопотребления не менее чем в 3 раза.

6. Была разработана и внедрена ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения от ЛКМ на действующих реагентных очистных сооружениях

гальванического производства. Блок-схема технологии приведена на рис. 2.

Технология включает в себя оптимальное формирование потоков сточных вод у мест их образования, использование сжатого воздуха и потока сточных вод, содержащих хром для деструкции ЛКМ, использование сорбционных свойств оксигидратных коллекторов для сорбции ЛКМ, замену приобретаемых реагентов не утилизируемыми в основном производстве ОТР, применение высокопроизводительных автоматизированных реакторных узлов с повышенной селективностью чувствительных элементов (рис. 2).

При осветлении нейтрализованных сточных вод применение оптимизированных вертикальных отстойников, оборудованных встроенной камерой хлопьеобразования и полочными модулями обеспечивает эффективность задержания взвешенных веществ не менее 90%, а узел механического и сорбционного фильтрования, позволяет вернуть более 50% очищенных сточных вод на повторное использование..

7. На основании теоретических, лабораторных и производственных исследований разработаны указания для проектирования сооружений ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения от ЛКМ в рамках реагентных очистных сооружений гальванического производства.

8. Предложена технология комплексной утилизации образующегося осадка в строительной индустрии. Полученная продукция (рядовой и многослойный кирпич керамзит, керамическая плитка и пр.) проверена на экологическую безопасность и рекомендована к использованию Белорусским научно-исследовательским санитарно-гигиеническим институтом

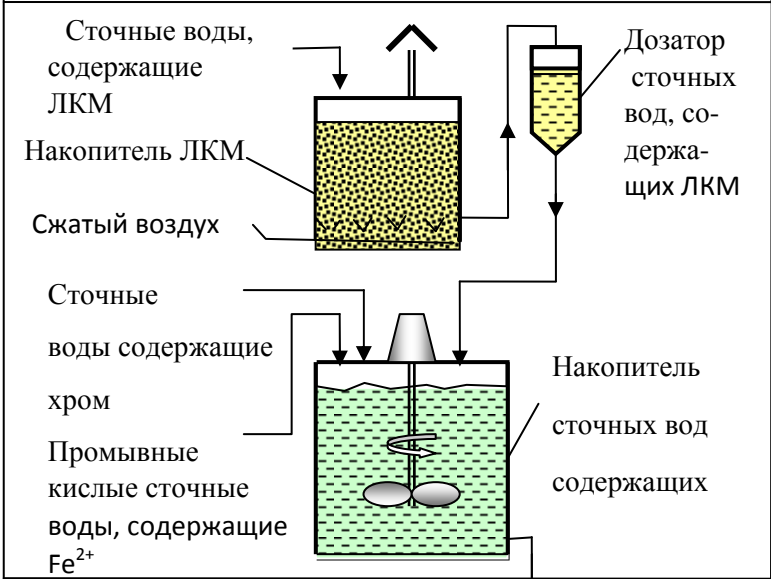
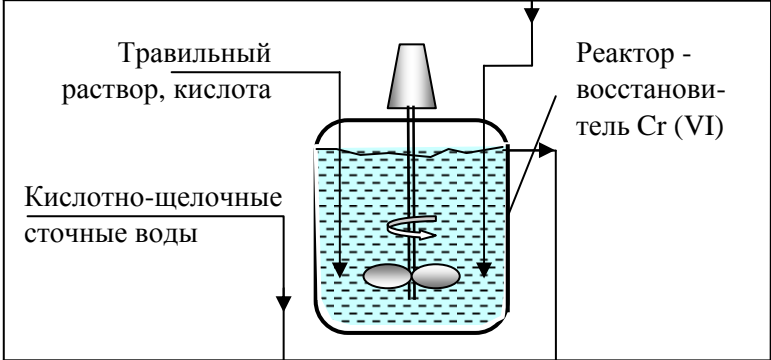
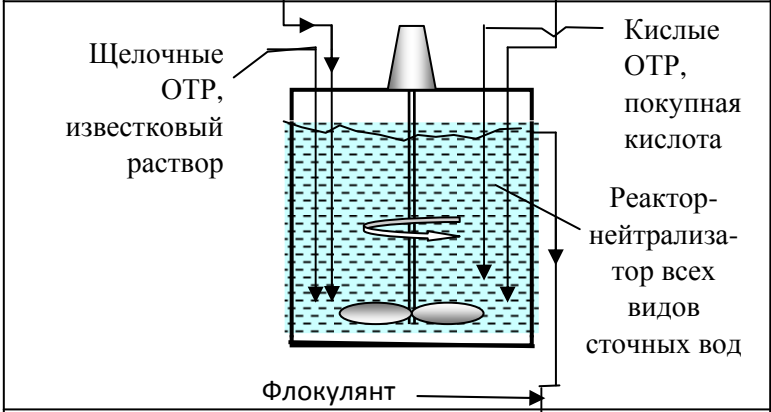
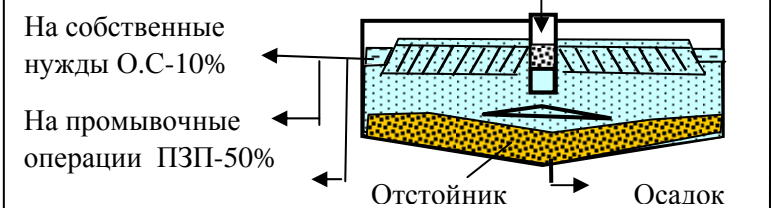
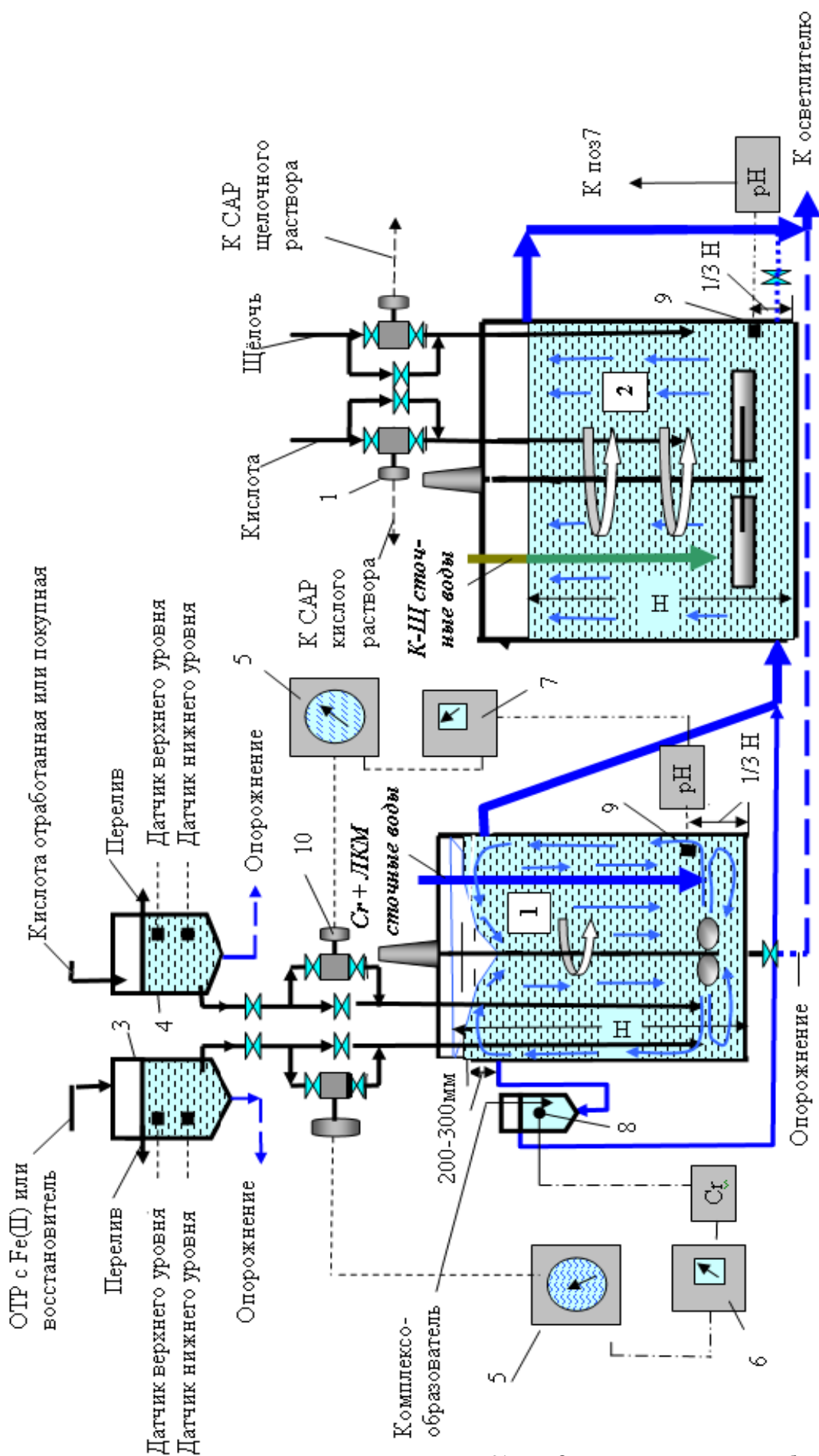
Характеристика и относительный объём сточных вод.	Стадии процесса	Время обработки, мин.
<p>Сточные воды, содержащие ЛКМ</p> <p>Накопитель ЛКМ</p> <p>Сжатый воздух</p> <p>Дозатор сточных вод, содержащих ЛКМ</p> <p>Сточные воды содержащие хром</p> <p>Промывные кислые сточные воды, содержащие Fe^{2+}</p> <p>Накопитель сточных вод содержащих</p> 	<p>Накопление сточных вод с ЛКМ</p> <p>Подмешивание сточных вод с ЛКМ в хромосодержащие сточные воды</p>	<p>Продувка стоков сж. воздухом не менее 20 минут</p> <p>Усреднение, не менее 10 минут</p>
<p>Травильный раствор, кислота</p> <p>Кислотно-щелочные сточные воды</p> <p>Реактор - восстановитель Cr (VI)</p> 	<p>Восстановление Cr^{6+} в объединённом потоке с ЛКМ $pH=2,5-3,0$</p>	<p>$t = 7-10$ минут</p>
<p>Щелочные ОТР, известковый раствор</p> <p>Кислые ОТР, покупная кислота</p> <p>Реактор-нейтрализатор всех видов сточных вод</p> <p>Флокулянт</p> 	<p>Нейтрализация всех видов сточных вод $pH=8-8,5$</p>	<p>$t = 7-10$ минут</p>
<p>На собственные нужды О.С-10%</p> <p>На промывочные операции ПЗП-50%</p> <p>Отстойник</p> <p>Осадок</p> 		<p>Интервал времени, в зависимости от типа осветлителя</p>

Рисунок 2 - Блок-схема «попутного» обезвреживания сточных вод, загрязнённых ЛКМ, в рамках очистных сооружений обработки сточных вод гальванического производства реагентного типа на примере БЭМЗ



1 – реактор-смеситель хром- и ЛКМ содержащих сточных вод $V=1,0 \text{ м}^3$; 2 – реактор-вытеснитель нейтрализации всех видов сточных вод – $2,0 \text{ м}^3$; 3 – дозатор ОТР, содержащих железо (II), или резервный товарный восстановитель; 4 – дозатор кислот ОТР или резервный покупной; 5 – потенциометр КСП –3п; 6 – вторичный прибор рН – метра П-205; 7 – вторичный прибор рН – метра П-205; 8 – первичный датчик хром-метра ЭЗ-01; 9 – первичный датчик рН-метра ДПГ-4м; 10 – мембранный исполнительный механизм с пневмозадвижкой

Рисунок 3 – Усовершенствованный реакторный узел обработки хромсодержащих, ЛКМ-содержащих и кислотно-щелочных сточных вод с

Лакокрасочные материалы, совместно со сточными водами гальванического производства может применяться организациями и предприятиями, осуществляющими окраску и производство гальванопокрытий, а также организациями машиностроительного комплекса России и других стран СНГ.

2. Разработанная технология очистки сточных вод содержащих ЛКМ, совместно со сточными водами гальванического производства внедрена:

– на ОАО “Брестский электромеханический завод”;

– на ОАО “Брестский электротехнический завод”;

3. Разработанная технология использована:

– в научно–производственном экологическом ОДО “САФАРИ”, на “Кировском заводе” (г. Санкт–Петербург), на заводе “Могилёвтрансмаш”, Лидском электротехническом заводе (Республика Беларусь);

– в при подготовке справочного пособия «Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения» [2], которое предназначено для студентов, магистров и аспирантов высших учебных заведений, а также специалистов в области охраны окружающей среды, очистки природных и сточных вод и для работников научно–исследовательских и проектно–технологических организаций и промышленных предприятий.

Технология на русском и английском языках была размещена в сети Республиканского центра трансферта технологий при содействии Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Национальной Академии наук Беларуси, Программы Развития ООН (ПРООН) и Организации Объединённых наций UNIDO.

4. Экономический эффект от внедрения технология очистки сточных вод, содержащих ЛКМ, совместно со сточными водами гальванического производства только на ОАО Брестский

радиотехнический завод (БРТЗ) составил 25 000 \$ в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субботкин Л.Д. Методика проведения экспериментальных исследований по оптимизации очистки сточных вод гальванического производства электрокоагуляцией / Л.Д. Субботкин, А.М. Таранов, А.М. Копачевский,

2. П.Л. Богуцкий, Е.И. Валкина Е.М // "Строительство и техногенная безопасность". Сб. трудов КАПКС № 7. Симферополь, 2002.

3. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: Монография / Е. А. Урецкий; под ред. С. Е. Березина. – Брест : БрГТУ, 2008. – 320 с.

4. Справочное пособие «Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения» авторы Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. издательство Ассоциации строительных ВУЗов, Москва, 2012.

REFERENCES

1. Subbotkin L.D. Method of conducting experimental studies on optimization of wastewater treatment of galvanic production by electrocoagulation / L.D. Subbotkin, A.M. Taranov, A.M. Kopachevsky,

2. P.L. Bogutskiy, E.I. Valkina E.M. // "Construction and Technogenic Security". Sat. of the works of CAPC № 7. Simferopol, 2002.

3. Uretskii, EA Resource-saving technologies in the water economy of industrial enterprises: Monograph / EA Uretsky; Ed. S.E. Berezina. - Brest: BrGTU, 2008. - 320 s.

4. Reference book "Resource-saving technologies of industrial water supply and water disposal" authors Gogina ES, Gurinovich AD, Uretsky EA publishing house of the Association of Construction Universities, Moscow, 2012

Subbotkin.L.D.¹, Uretskiy E.A.², Moroz V.V.³

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES OF GALVANIC AND PAINT PRODUCTION.

Summary. Research has been carried out and based on them, an innovative resource-saving technology for joint wastewater treatment of galvanic, paint production and production of printed circuit boards has been developed and implemented.

Key words: electroplating, paint and varnish production, sewage, heavy metal ions, acids, alkalis, paint and varnish materials, wastewater treatment technology.

КОНСТРУКТИВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Крылов В.С.¹, Кудрявцев А.А.²

¹Прикладная информатика, Республиканские высшее учебное заведение Крымский инженерно-педагогический университет (РВУЗ КИПУ). г. Симферополь

vladimi-krylov@yandex.ru

²Физический факультет Санкт-Петербургского Государственного Университета, кафедра оптики. СПбГУ
akud@ak2138.spb.edu

Аннотация. Предложен конструктив преобразователя оптического излучения в электрический ток на основе модели фотоплазмы, которая возникает от воздействия внешнего излучения, сфокусированного на рабочем теле тепловой трубы, представленном смесью щелочных паров инертного газа. Тепловая труба представлена двумя камерами разного размера, заполненных исследуемой газовой смесью. Фотовольтаический эффект в рабочем теле возникает в результате образования разности потенциалов между стенками камер преобразователя.

Ключевые слова: фотоплазма, преобразователь оптического излучения в электрическую энергию, тепловая труба

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенными и разработанными на практике фотоэлектрическими преобразователями солнечной энергии являются различные полупроводниковые панели. В тоже время солнечные батареи на полупроводниковых фотоэлементах преобразуют не более 20% поступающего потока энергии. Причина этого состоит в том, что преобразуется только часть спектра из потока поступающей энергии, а остальные 80% приводят к их нагреванию.

С увеличением температуры панели фотоэлементов на 10 °С эффективность падает не менее, чем на 50%. Для повышения эффективности на практике используют системы охлаждения, которые потребляют значительное количество выработанной энергии и снижают надежность всей системы. Пассивные системы охлаждения также не дают надежного охлаждения преобразователей солнечной энергии. Поэтому, поиск новых технологий для прямого преобразования концентрированной световой энергии в электричество, отличных от твердотельных полупроводниковых элементов, основанных на других принципах прямого преобразования солнечной энергии является актуальной проблемой [1].

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Фотоэлектрических плазменные преобразователи могут иметь определенные преимущества в сравнении с широко используемыми полупроводниковыми солнечными элементами [2, 3]. Для этих целей предлагается использовать фотоплазму паров щелочного металла (главным образом Na и Cs), резонансное излучение которых лежит в видимой области спектра и может легко возбуждаться концентрированным солнечным излучением [4-6]. В качестве фотовольтаических преобразователей в электричество было предложено использовать МГД-генераторы [2], термоэлектронные преобразователи [6],

неоднородную плазму [3]. В основном исследования фотоэлектрических плазменных преобразователей ограничивались одномерным случаем. В работах [7, 8] показано, что двухкамерная двумерная плазменная ячейка позволяет получать большие пространственные градиенты электронной плотности и температуры и тем самым создавать заметный электрический потенциал между камерами.

Таким образом, для разработки конструктива плазменного фотоэлектрического преобразователя возникают следующие условия, когда большая часть:

- оптического излучения поглощается рабочим телом (фотоплазмой) в объеме преобразователя,
- поглощенной энергии идет на поддержание разности потенциалов между элементами конструкции преобразователя.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе существующего теоретического анализа баланса частиц и энергии в фотоплазме щелочных металлов определить возможный конструктив плазменного фотоэлектрического преобразователя.

ОРИГИНАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время исследования преобразователей солнечной энергии в электрическую с использованием фотоплазмы подошли к тому пределу, когда необходимо прорабатывать варианты конструктивов макетных образцов фотопреобразователей. Необходимые требования к конструктиву – это обеспечение распределения в объеме преобразователя плотности электронов и электрических потенциалов для обеспечения максимально возможного значения фото ЭДС в объеме с определенной конфигурацией. Конструктив ячейки фотопреобразователя должен учитывать особенности фотоплазменных реакций и обеспечивать оптимальную геометрию и условия образования и поддержания плазмы. В развитии двухкамерной модели возможны два типа объемной

реализации фотопреобразователя: коническая геометрия и набор плоских слоев.

На этом этапе необходимо объединение теоретических исследований и методов проектирования технических устройств. Программный пакет AutoCAD, его специализированные приложения для машиностроения обладают набором инструментов проектирования различного набора изделий со сложной 3-D организацией. Пакет дает возможность представить реальный вид конструктива фотоплазменного преобразователя, требуемую геометрию объема образования и поддержания плазмы. Исходные данные и конструктивные требования формируются по результатам моделирования фотоплазменной ячейки с помощью пакета программ COMSOL Multiphysics.

Анализ баланса частиц и энергий в фотоплазменном преобразователе позволяет определить условия, при которых оптическое излучение эффективно поглощается его рабочим телом. Это позволяет определить параметры фотоплазмы, при которых энергия поглощенного оптического излучения в основном идет на поддержание разности потенциалов между стенками камер преобразователя. Такой способ фотоэлектрического преобразования оптического излучения в электрический ток позволяет получить высокие коэффициенты полезного действия.

Исходя из сформулированных выше требований оптимального разделения зарядов можно предложить модель двухкамерной двумерной плазменной ячейки фотоэлектрического конвертора. Она представляет собой сечение тепловой трубы, которая заполнена смесью паров щелочного металла и инертного газа. Такое устройство позволяет поддерживать требуемую плотность паров щелочных металлов в камере, и соответственно, разность потенциалов между стенками камер. Тепловые трубы широко применяются в спектроскопии и при исследовании плазмы щелочных металлов. С практической точки зрения использование тепловых труб значительно упрощает ввод оптического излучения, поскольку буферный газ вытесняется на холодные края трубы и препятствует осаждению щелочи на окна кюветы.

Двумерная двухкамерная модель плазменного фотоэлектрического преобразователя сфокусированного оптического излучения позволяет провести оценки и сформулировать основные требования к выбору конструкции плазменной фотоэлектрической ячейки. Переход от плоской модели преобразователя к возможной реальной объёмной конструкции ставит новые теоретические проблемы. Этот переход возможен по двум направлениям: конструктив в форме конуса и конструктив как набор слоев.

Уже на данном этапе использования программного обеспечения в конструировании плазменных фотопреобразователей возникает необходимость разработки дополнительных программных модулей, которые обеспечат

автоматический экспорт - импорт результатов моделирования состояния рабочего тела (фотоплазмы) в конструктиве и, наоборот.

ВЫВОДЫ

Предложенные варианты конструктива преобразователя в форме конуса и как набора слоев могут быть использованы для разработки макетного образца для проверки технических и технологических решений в реальных экспериментах использования фотоплазмы для прямого преобразования солнечного излучения в электрический ток.

Применение фотоплазменных преобразователей может решить проблемы при создании солнечных источников электроэнергии, которые возникают в процессе эксплуатации полупроводниковых батарей. Поскольку они потенциально позволяют:

- получить большие значения КПД преобразования за счет эффективного разделения зарядов в плазме;
- использовать практически всю энергию солнечной радиации за счет широкий спектр поглощения плазмой, в том числе и ИК излучение;
- смогут преобразовывать большие плотности потока энергии;
- использоваться в качестве дополнительного источника тепловой энергии за счет отвода тепла от стенок камер с рабочим телом.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимо отметить, что для оптимизации преобразователей необходимы дополнительные данные по ряду элементарных процессов, происходящих в плазме не только в варианте плоской модели, но и в объеме с определенной геометрией. К таким процессам, например, относится скорость диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов, состоящих из атомов щелочного металла и буферного газа. Кроме того, необходимо определить значения коэффициентов поглощения излучения в видимой и ближней ИК-областях спектра в зависимости от соотношения размеров рабочих камер тепловой трубы. На следующем этапе необходимо решения таких инженерных задач, как замкнутый циклический перенос щелочного металла, сопровождающего протекание электрического тока внутри преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>
2. Dunning G.J. Towards a high-temperature solar electric converter / G.J. Dunning, A.J. Palmer - J. Appl. Phys. 1981. Vol. 52.N 12. P. 7086 - 7091.
3. Gorbunov N. A. Model of the plasma photovoltaic conversion of concentrated solar radiation: short-circuit current and open- circuit voltage. / N. A.

Gorbunov, G. Flamant – Plasma Chem. Plasma Process, 2015, 35(4), pp. 799-817

4. Beterov I. M. Resonance radiation plasma (photoresonance plasma) / I. M Beterov, A. V. Eletskiĭ, B. M. Smirnov - SOV PHYS USPEKHI, 1988, 31 (6), 535–554.

5. Smirnov B M Plasma Processis and Plasma Kinetics 2007 / Weinheim: WILEY-VCH, chapter 10 pp 303-333

6. Khalid K. A. A. Review on Thermionic Energy Converters / K. A. A. Khalid, T. J. Leong, Mohamed K. - IEEE Trans. Electron Devices 2016, 63, pp.2231–2241

7. Kudryavtsev A.A. Influence of heat and particle fluxes nonlocality on spatial distribution of plasma density in two-chamber ICP plasma sources. / A.A. Kudryavtsev, K.Yu. Serditov. - Phys. Plasmas, 2012, v.19, N7, 073504.

8. Bogdanov, E.A. Violation of the boltzmann distribution for plasma electron number density in two-chamber inductively coupled plasma discharges / E.A. Bogdanov, A.A. Kudryavtsev, Z.S. Ochikova, A.S. Tech. Phys., 2015, 60(10), pp. 1570-1573.

REFERENCES

1. World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>

2. Dunning G.J. Towards a high-temperature solar electric converter / G.J. Dunning, A.J. Palmer - J. Appl. Phys. 1981. Vol. 52.N 12. P. 7086 - 7091.

3. Gorbunov N. A. Model of the plasma photovoltaic conversion of concentrated solar radiation: short-circuit current and open- circuit voltage. / N. A. Gorbunov, G. Flamant – Plasma Chem. Plasma Process, 2015, 35(4), pp. 799-817

4. Beterov I. M. Resonance radiation plasma (photoresonance plasma) / I. M Beterov, A. V. Eletskiĭ, B. M. Smirnov - SOV PHYS USPEKHI, 1988, 31 (6), 535–554.

5. Smirnov B M Plasma Processis and Plasma Kinetics 2007 / Weinheim: WILEY-VCH, chapter 10 pp 303-333

6. Khalid K. A. A. Review on Thermionic Energy Converters / K. A. A. Khalid, T. J. Leong, Mohamed K. - IEEE Trans. Electron Devices 2016, 63, pp.2231–2241

7. Kudryavtsev A.A. Influence of heat and particle fluxes nonlocality on spatial distribution of plasma density in two-chamber ICP plasma sources. / A.A. Kudryavtsev, K.Yu. Serditov. - Phys. Plasmas, 2012, v.19, N7, 073504.

8. Bogdanov, E.A. Violation of the boltzmann distribution for plasma electron number density in two-chamber inductively coupled plasma discharges / E.A. Bogdanov, A.A. Kudryavtsev, Z.S. Ochikova, A.S. Tech. Phys., 2015, 60(10), pp. 1570-1573.

Krylov V.S , Kudryavtsev A.A

CONSTRUCTION OF ELEMENTS OF DIRECT TRANSFORMATION OF LIGHT ENERGY TO ELECTRICALLY BASE ON USE OF PLASMA TECHNOLOGIES

Summary. The construction of the converter of optical radiation into an electric current is proposed on the basis of the model of the photovoltaic effect in the photoplasma, which arises from the action of external optical radiation focused on the working body of the heat pipe, represented by a mixture of alkaline inert gas vapors. The heat pipe is represented by two chambers of different sizes filled with the gas mixture being studied. The photovoltaic effect in the working body arises as a result of the formation of a potential difference between the walls of the converter chambers.

Key words: photoplasma, optical radiation converter, heat pipe

ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Муровский С. П.¹, Купленный В. О.², Тараненко Б. И.³

¹Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181
, vladskiy1997@mail.ru

^{2,3}ООО "Пожарная безопасность", г. Симферополь, Российская Федерация, bodianenergy@mail.ru

Аннотация. В работе проанализированы перспективы развития автономных систем электроснабжения промышленных предприятий на базе мини-ГЭС и электрохимических генераторов, направленные на снижение потребления органических видов топлив. Рассмотрено техническое решение, направленное на повышение энергоэффективности предприятия путем внедрения комбинированной автономной системы электроснабжения на базе мини-ГЭС и электрохимических генераторов, позволяющее перераспределять электроэнергию между потребителями внутри предприятия или накапливать ее в системе электрохимической генерации в период минимального потребления.

Ключевые слова: ресурсосбережение, электроснабжение, мини-ГЭС, электрохимический генератор, комбинированные системы промышленного электроснабжения, Крым

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для Крымского региона энергетическая ситуация является весьма нестабильной из-за недостаточной генерации собственной электроэнергии и нехватки мощности энергобазы, проложенного с материковой части России. С целью обеспечения промышленных предприятий полуострова бесперебойным электроснабжением актуальными является внедрение ресурсосберегающих технологий по экономии традиционных энергоносителей и внедрению комбинированных энергообъектов, использующих энергию возобновляемых источников (ВИЭ).

С целью реализации мероприятий по ресурсосбережению в Крыму принята государственная программа, основные положения которой отражены в ряде документов:

- Закон Республики Крым № 77 – ЗРК «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в Республике Крым» от 28 января 2015 года [1];

- Приказ № 916 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации региональных и муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» от 11 декабря 2014 года [2].

Основные положения данных документов в условиях сложившегося энергетического кризиса легли в основу формирования главной стратегической цели государственной политики Республики Крым, направленной на стабилизацию функционирования экономики, основными задачами которой являются:

- эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;

- поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

- системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;

- планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

- использование энергетического потенциала с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Исходя из принятого направления развития энергетической политики региона, направленной на ресурсосбережение, и учитывая географические и климатические характеристики Крымского полуострова основное внимание необходимо уделять повышению эффективности эксплуатации традиционных генерирующих объектов и внедрению комбинированных энергосистем на базе ВИЭ.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Неравномерные режимы работы промышленных предприятий приводят к избытку электроэнергии в сетях и в ночное потребление электроэнергии резко падает. Такой «рваный» режим работы негативно сказывается на межремонтном сроке эксплуатации оборудования электростанций, так как в пиковые часы оборудование работает на предельных режимах и быстрее изнашивается. Для выравнивания режима электропотребления и снижения износа оборудования, практикуется аккумулирование электроэнергии в ночное время [3].

Современные электроэнергетические системы, используя большие энергетические потоки, остро нуждаются в автономных системах хранения и получения энергии, которые могут накапливать,

сохранять и при необходимости генерировать энергию [4].

В последние годы в большинстве стран мира большое внимание уделяется практическому использованию энергии воды и электрохимическому преобразованию энергии для промышленного электроснабжения. Теоретические и практические исследования систем альтернативного электроснабжения показывают, что имеются резервы повышения эффективности использования электрохимического преобразования энергии в течение значительной части года за счет повышения энергетических показателей эффективности аккумулирования энергии. Рост процессов электрохимического преобразования в электрохимических генераторах (ЭХГ) используемых как приставка к генерирующим мини-ГЭС позволит эффективно использовать выработанную электроэнергию, особенно в период пика потребления, увеличить коэффициент замещения традиционного топлива, уменьшить тепловое загрязнение и объем выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Географическое положение горного Крыма таково, что вся его территория пригодна для развития электроснабжения с использованием мини-ГЭС. Удельные водные ресурсы горной части Крыма в 32 раза превышают ресурсы равнинной части степного Крыма. Степной Крым с удельными водными ресурсами в 3 тыс. м³ в год на 1 км² практически является бессточной областью. К тому же водные ресурсы рек Крыма резко изменяются от года к году вследствие частого чередования многоводных и маловодных лет. В многоводные годы они могут быть в 2-3 раза больше, а в маловодные – в 2-3 раза меньше, чем в средние по водности годы [5].

Учитывая тот факт, что значительная часть рек Крыма впадает в Черное море, существует актуальность внедрения комбинированных энергосистем, использующих энергию ВИЭ с применением мини-ГЭС для обеспечения автономного электроснабжения совместно с электрохимическими преобразователями энергии, позволяющих экономить дефицитное органическое топливо.

Аккумуляторные батареи, принятые на сегодняшний день в качестве основных автономных источников энергии, зачастую никак не соответствует возросшим требованиям, предъявляемым к источникам энергии с улучшенными техническими характеристиками. Действительную альтернативу аккумуляторам могут составить ЭХГ. В отличие от химических источников тока в ЭХГ для получения электроэнергии в качестве реагентов принято использовать не металлы и их соединения, а неэлектропроводные вещества, значительно менее дорогостоящие и недефицитные, например, водород, кислород. Вследствие чего ЭХГ по сравнению с аккумуляторами обладают малой материалоемкостью и имеют высокий КПД (60-

80%), обеспечивают стабильную работу при изменении нагрузки, бесшумность, экологическую чистоту и компактность. Перспективы развития таких источников тока, основанных на прямом преобразовании химической энергии в электрическую, и возможности их применения в составе комбинированной системы с ВИЭ дает толчок энергонезависимости для потребителей [6].

В настоящее время рынок предлагает множество различных моделей ЭХГ различающихся по размерам и конструкции, мощности в зависимости от их применения. ЭХГ можно разделить на низкотемпературные с рабочей температурой ниже 100°C, среднетемпературные с рабочей температурой до 300°C, высокотемпературные с рабочей температурой выше 500°C [7].

В ЭХГ на базе топливных элементов с протонно-обменной мембраной в качестве электролита используется полимерная мембрана толщиной примерно 175 мкм (рис. 1). Восстановителем выступает чистый водород, рабочая температура до 100°C. Преимуществами являются компактная конструкция и длительный срок службы, быстрый запуск. К недостаткам такой конструкции можно отнести высокие производственные затраты и сложную систему отвода воды [7].



Рис. 1. Внешний вид топливного элемента с протонно-обменной мембраной

В щелочных топливных элементах (рис. 2) используется жидкий электролит (водный раствор КОН). Концентрация КОН может меняться в зависимости от рабочей температуры цикла.



Рис. 2. Внешний вид щелочного топливного элемента

Из преимуществ ЭХГ на базе щелочных топливных элементов можно выделить низкие эксплуатационные расходы, отсутствие компрессора, быстрая кинетика катодных процессов. Недостатками такой системы является большой размер, высокая чувствительность к

различным примесям в подаваемом водороде и кислороде [8].

Твердоокисдные топливные элементы, представленные на рис. 3, являются высокотемпературными с рабочей температурой в диапазоне от 600°C до 1000°C, что позволяет использовать различные типы топлива без специальной предварительной обработки.

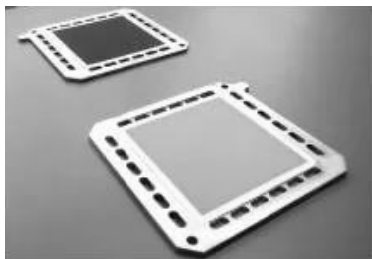


Рис. 3. Внешний вид твердоокисдного топливного элемента

Для работы с высокими температурами, используемый электролит представляет собой тонкий твердый оксид металла на керамической основе, чаще всего это сплав иттрия и циркония, который является проводником ионов кислорода (O^{2-}). КПД таких ЭХГ является самым высоким из всех рассматриваемых – около 60%. В отличие от других конструкций ЭХГ, высокие рабочие температуры позволяют осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии для получения пара высокого давления с целью повышения суммарного КПД генерации электрической энергии до 70% [9].

На основе проведенного аналитического исследования можно сделать вывод, что основным фактором внедрения ресурсосберегающих технологий в систему электроснабжения промышленных предприятий является разработка и внедрение комбинированных энергосистем на базе мини-ГЭС и ЭХГ.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью работы является повышение энергоэффективности комбинированных систем электроснабжения с применением мини-ГЭС и ЭХГ для условий Крымского полуострова с целью внедрения ресурсосберегающих технологий в систему электроснабжения промышленных предприятий.

Для разработки технических решений по повышению энергоэффективности систем автономного электроснабжения, направленных на внедрение ресурсосберегающих технологий, с целью снижения потребления органических видов топлив, а именно применение мини-ГЭС и ЭХГ, был проведен анализ гидрологических параметров горных рек Крыма по данным многолетних наблюдений; обоснован выбор рациональной конструкции мини-ГЭС и ЭХГ с учетом особенности территории размещения объекта. Учитывая требования государственной программы по энергосбережению традиционных

энергоносителей, предлагаемые технические решения являются весьма актуальными для автономного электроснабжения промышленных предприятий Крымского региона.

В качестве объекта для разработки технических решений автономного электроснабжения промышленного предприятия был выбран завод по производству пенобетонных блоков установленной мощностью 60 кВт, расположенный в с. Танковое Бахчисарайского района. Так как Бахчисарайский район является не только индустриальным центром, но и заповедной зоной и в нем сосредоточен значительный культурный и научный потенциал Крыма, то технические решения по электроснабжению завода направлены на снижение потребления органических видов топлив и как следствие уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, что являются приоритетными и актуальными.

План местности с размещением завода по производству пенобетонных блоков в с. Танковое представлен на рис. 4 [10].



Рис. 4. План местности с размещением завода по производству пенобетонных блоков в с. Танковое

Основополагающим фактором при выборе данного объекта послужило наличие реки с подходящим среднегодовым расходом воды, а также наличие свободных площадей, где планируется установка комбинированной энергосистемы для автономного электроснабжения предприятия. Анализ данных по среднегодовому стоку реки Бельбек позволил обосновывать выбор места установки мини-ГЭС в районе завода. Показатель среднегодового расхода в 2,75 м³/с (рис. 5) сходен с соответствующими показателями малых рек для таких стран как Германия и Австрия для которых разработаны и приняты к реализации программы по обеспечению электроснабжения зданий и сооружений с применением мини-ГЭС.

Для выбранного района строительства завода была применена энергосхема состоящая из трех бесплотинных водоворотных-всесезонных мини-ГЭС (БВВМГЭС). Учитывая данные среднемесячного расхода реки Бельбек (рис. 5), расчет

вырабатываемой электрической мощности одной мини-ГЭС проводим по формуле (1) [11]:

$$P_{эл} = Q \cdot H \cdot g \cdot \eta \quad (1)$$

где: $P_{эл}$ – электрическая мощность, кВт;
 Q – среднемесячный расход, m^3/c ;
 g – ускорение свободного падения;
 η – КПД мини-ГЭС;
 H – напор.

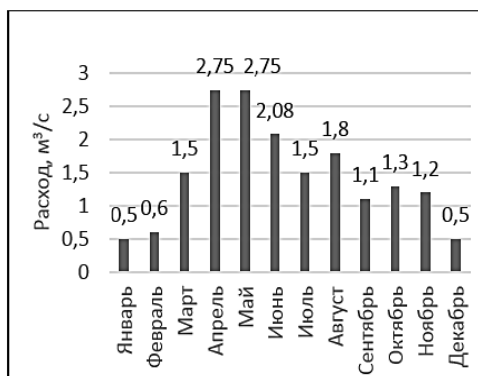


Рис. 5. График среднемесячного расхода реки Бельбек

Результаты расчета выработки электроэнергии представлены в табл. 1 и построена графическая зависимость среднемесячной выработки электроэнергии на мини-ГЭС (рис. 6).

Таблица 1
 Среднемесячная выработка электроэнергии на одной БВВМГЭС

Месяц	Расход среднемесячный, $Q, m^3/c$	Выработка электроэнергии, $P_{эл}, кВт \cdot ч$
Январь	0,5	5,15
Февраль	0,6	6,18
Март	1,5	15,45
Апрель	2,75	28,32
Май	2,75	28,32
Июнь	2,08	21,42
Июль	1,5	15,45
Август	1,8	18,54
Сентябрь	1,1	11,33
Октябрь	1,3	13,39
Ноябрь	1,2	12,36
Декабрь	1,05	11,03



Рис. 6. График среднемесячной выработки электроэнергии одной БВВМГЭС

Мини-ГЭС содержит заглубленный в вихревой поток вертикальный корпус ротора, разделенный на барабаны со смещенными по окружности лопастями для равномерной работы. Лопасти делятся три вида: внутренние створчатые, поворотные ступенчатые и флюгерные. Флюгерные лопасти вращаются в обратном направлении от барабанов, так как работают на встречной ветви потока. Передача вращения в одном направлении осуществляется за счет устройства, взаимосвязанного с центральным валом ротора и мультипликатором. Все части и механизмы закрепляются в корпусе, который является основой крепления конструкции в вихревом потоке. Примененная конструкция мини-ГЭС позволяет увеличить мощность и может быть установлена в потоке воды на различной глубине. Проведенные расчеты показывают, что прибавка в конструкцию БВВМГЭС флюгерной лопасти, берущей силу со встречной ветви потока, дает увеличение суммарной площади лопасти под нагрузкой на 30-35%, соответственно настолько же и КПД. В целях улучшения энергоэффективности БВВМГЭС предлагается применение водозаборов для повышения расходных характеристик реки на 30% (рис. 7).

План размещения блока БВВМГЭС на реке Бельбек и энергоблока ЭХГ на территории завода представлен на рис. 7.

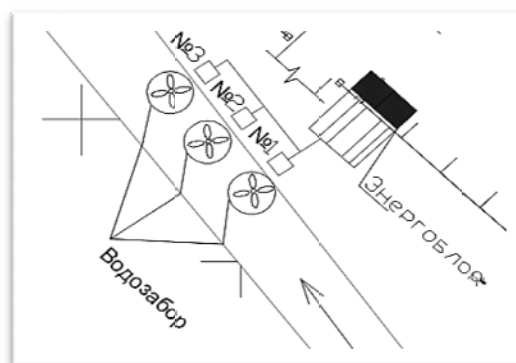


Рис. 7. План-схема размещения блока БВВМГЭС на реке Бельбек

Анализ полученных графических зависимостей среднемесячной выработки электроэнергии говорит о преимуществах применения мини-ГЭС для автономного электроснабжения промышленных предприятий в горных районах Крыма.

С целью выравнивания режима электропотребления и снижения износа оборудования предприятия, предлагается аккумулирование излишков электроэнергии в ночное время. Проведенные теоретические исследования систем электрохимического преобразования энергии показывают эффективность их применения в течение значительной части года как приставка к генерирующим мини-ГЭС. С целью подтверждения данной гипотезы по повышению мощности системы, использующей энергию ВИЭ, был разработан экспериментальный стенд на основе

макетного образца ЭХГ состоящего из: электролизера, емкостей хранения газов (H_2 и O_2), топливного элемента. Принципиальная схема макетного образца ЭХГ представлена на рис. 8.

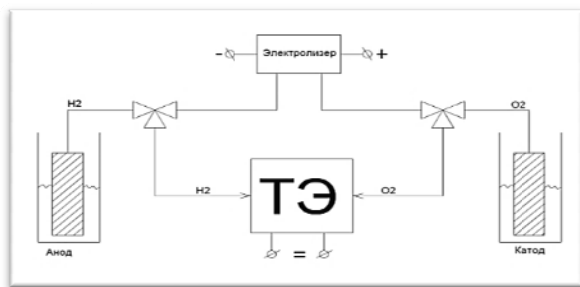


Рис. 8. Принципиальная схема разработанного макетного образца ЭХГ

На рис. 9 представлен внешний вид разработанного варианта топливного элемента на основе протонно-обменной мембраны и макетный образец лабораторно-исследовательской установки ЭХГ.

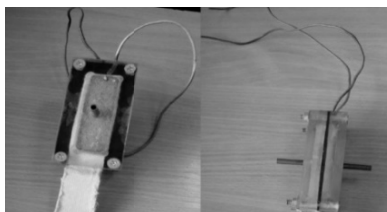


Рис. 9. Макетный образец топливного элемента на основе протонно-обменной мембраны и лабораторно-исследовательской установки ЭХГ

Исходя из проведенных испытаний лабораторно-исследовательской установки ЭХГ и полученных вольт-амперных характеристик (рис. 10), можно сделать вывод о целесообразности применения ЭХГ совместно с мини-ГЭС с целью повышения энергоэффективности автономных систем электроснабжения.

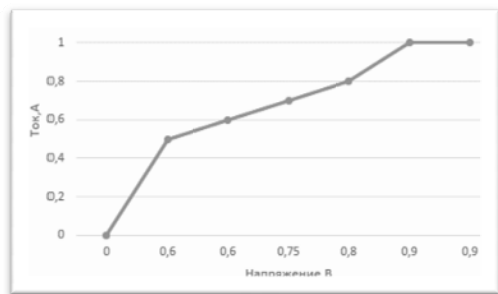


Рис. 10. Вольт-амперная характеристика испытаний лабораторно-исследовательской установки ЭХГ

Проведенные теоретические исследования и испытания лабораторно-исследовательской установки ЭХГ позволили разработать схемное решение автономной энергосистемы на базе ВИЭ в составе мини-ГЭС и ЭХГ (рис. 11).

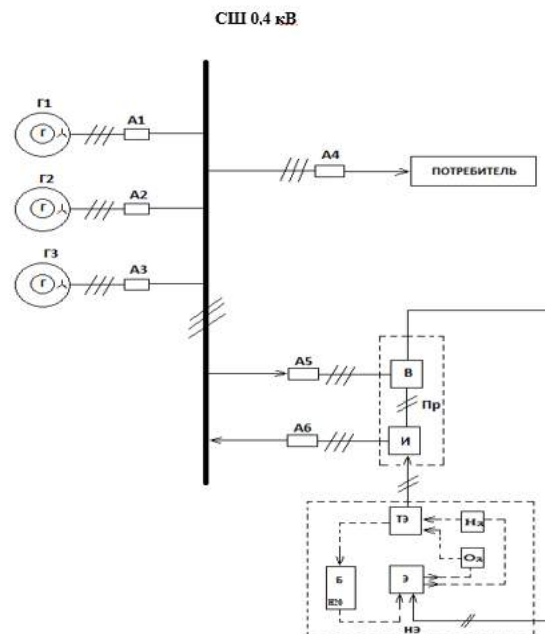


Рис. 11. Схемное решение автономной энергосистемы промышленного предприятия в составе мини-ГЭС и ЭХГ: Г1-Г3 – асинхронный, трехфазный генератор, А1-А6 – автоматический выключатель, Пр – полный управляемый полупроводниковый 3-х фазный преобразователь в составе выпрямителя (В) и инвертора (И), НЭ – накопитель энергии в составе блока топливных элементов (ТЭ), электролизера (Э), баллонов с H_2 и O_2 и емкости сбора реакционной воды (Б)

В рассматриваемой энергосистеме предусмотрена работа автономной сети электроснабжения предприятия и соединение с единой сетью. Автономная часть предполагает установку трех блоков мини-ГЭС с асинхронными, трехфазными генераторами, которые при скольжении s от 0,01 до 0,15 генерирует частоту тока 50 Гц. При превышении скольжения $s > 0,15$, в турбине предусматривается ограничение частоты вращения. С целью аккумуляции излишков электроэнергии в ночное время и при избыточной выработке на мини-ГЭС предусмотрена установка накопителя энергии на базе ЭХГ, который при разряде вырабатывает электроэнергию и после преобразования выдает в сеть предприятия.

В энергосистеме предусмотрено два режима работы: на мини-ГЭС вырабатывается мощность больше мощности потребления предприятием, избыток мощности идет на заряд ЭХГ;

мощность выработки на мини-ГЭС меньше потребляемой мощности предприятия, в работу включается ЭХГ и генерирует недостающую мощность.

ВЫВОДЫ:

1. Проведена оценка гидрологического потенциала рек Крыма, позволившая определить место размещения промышленного предприятия и оценить выработку электроэнергии на мини-ГЭС 2. Проанализирован рынок представленных моделей ЭХГ, имеющих различия по размерам и конструкции, мощности в зависимости от применения.

2. Проведены экспериментальные исследования разработанной модели ЭХГ на базе «водород-кислородного» топливного элемента показавшие целесообразность применения ЭХГ совместно с мини-ГЭС с целью повышения энергоэффективности автономных систем электроснабжения.

3. Предложенное схемное решение автономной энергосистемы промышленного предприятия в составе мини-ГЭС и ЭХГ в качестве накопителя избыточной электроэнергии позволит выровнять режим электропотребления и снизить износ оборудования предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Закон Республики Крым «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в Республике Крым» №77 – ЗРК от 28.01.2015 г. / Правительство Республики Крым. – Крым, 2015. – 19 с.

2. Приказ «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации региональных и муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» №916 от 11.12.2014 г. / Правительство Республики Крым.- Крым, 2014.- 25 с.

3. Сокут Л.Д. Возможности повышения эффективности солнечных электростанций в объединенной электрической сети за счет применения накопителей энергии [Текст] / Л.Д. Сокут, А.С. Муровская, А.Н. Курзо // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы» (Пермь, 08.02.2017 г.). – В 2 ч. Ч.1 / Уфа: Омега сайнс, 2017. – С.70-73.

4. Муровский С.П. Расчет параметров накопителей энергии для солнечных электростанций при включении их в объединенную энергосеть [Текст] / Л.Д. Сокут, С.П. Муровский, В.П. Лесик // Международный научный журнал «Символ науки», № 02-2/2017/ – В 2 ч. Ч 2. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 74-77.

5. Поверхностные водные объекты Крыма. Справочник. - Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 113 с.

6. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.

7. Аваков В.Б., Зинин В.И., Ландграф И.К. Автономные энергоустановки на основе высокотемпературных электрохимических

генераторов для промышленных и коммунальных объектов // Теплоэнергоэффективные технологии. – 1997. – № 4. – С. 25–29.

8. Тарасенко А.Б., Школьников Е.И., Водородный цикл и другие способы буферного аккумулирования электроэнергии для энергоустановок на солнечных батареях: сравнительный технико-экономический анализ. / Тезисы докладов Второй Международной конференции «Технологии хранения водорода», (г. Москва, 28-29 октября 2009 г.) // М.: Издательство МЭИ, 2009. - С. 43-44.

9. Андреев В.М., Забродский А.Г., Когновицкий С.О., Интегрированная энергоустановка с накопителем энергии на основе водородного цикла / Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ №2 (46), 2007. - С.99-105.

10. Электронный ресурс: <http://poluostrov-krum.com/goroda/bahchisaray/klimat-bahchisaraya>

11. Муровский С.П. Разработка эффективной системы автономного энергоснабжения удаленных объектов на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии. / С.П. Муровский, П.Н. Кузнецов // Строительство и техногенная безопасность.- 2012.- № 43.- С. 122-126.

REFERENCES

1. The law of the Republic of Crimea "On energy saving and increasing energy efficiency in the Republic of Crimea" №77 – ZRK dated 28.01.2015 of the Government of the Republic of Crimea. – Crimea, 2015. – 19 S.

2. Order "On approval of methodological recommendations for the development and implementation of regional and municipal programs in the field of energy saving and improving energy efficiency" No. 916 dated 11.12.2014 / the Government of the Republic of Crimea.- Crimea, 2014.- 25 C.

3. Sokut L. D. the possibility of increasing the efficiency of solar power plants in the United electric network through the use of energy storage [Text] / L. D. Sokut, A. S. Morawska, A. N. Curso // Collection of articles of International scientific-practical conference "Introduction of results of innovative development: problems and prospects" (Perm, G. 08.02.2017). – 2 h H 1 / Ufa: omega Sainz, 2017. – P. 70-73.

4. Murawski S. P. Calculation of parameters of energy storage for solar power plants when you include them in the merged grid [Text] / L. D. Sokut, S. P. Muravsky, V. P. Lesik // international scientific journal "science Symbol", No. 02-2/2017/ – 2 h, CH 2. – Ufa: AETERNA, 2017. – Pp. 74-77.

5. Surface water bodies of the Crimea. Reference. - Simferopol: Resolvethis ARC, 2004. – 113 C.

6. Korovin N. In. Fuel cells and electrochemical power plant. – M.: Publishing MEI, 2005. – 280 p.

7. Avakov, V. B., Zinin V. I., Landgraf I. K. Autonomous power plant based on high temperature electrochemical generators for industrial and municipal

facilities // Teploenergoeffektivnye technology. – 1997. – No. 4. – S. 25-29.

8. Tarasenko A. B., Shkolnikov E. I., Hydrogen cycle and other methods of the buffer storage of electricity for power plants with solar cells: a comparative techno-economic analysis. / Abstracts of the Second International conference "Technologies for hydrogen storage", (Moscow, 28-29 October 2009) // M.: Publishing house of MPEI, 2009. - Pp. 43-44.

9. Andreev V. M., Makarov A. G., Kognovitsky S. O., Integrated power plant with energy storage based on

the hydrogen cycle, international journal "Alternative energy and ecology" AEE No. 2 (46), 2007. - P. 99-105.

10. Electronic resource: <http://poluostrov-krym.com/goroda/bahchisaray/klimat-bahchisaraya>

11. Murawski S. P. development of an effective system of Autonomous power supply of remote objects based on renewable energy. / S. P. Murawski, P. N. Kuznetsov // Construction and industrial safety.- 2012.- No. 43.- P. 122-126.

Murovskiy S.P., Kuplenniy V.O., Taranenko B.I.

IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN SYSTEM OF POWER SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Summary. The article analyzes the development prospects of Autonomous power supply systems of industrial enterprises on the basis of mini-hydro and electrochemical generators to reduce the consumption of fossil fuels. Considered the technical decisions aimed at improvement of energy efficiency by introducing combined. Autonomous power supply systems on base of mini-hydro and electrochemical generators, allowing redistributing the power between consumers within the enterprise or accumulating it in the system of electrochemical generation at times of low consumption.

Key words: resource saving, electricity, mini-hydro, electrochemical generator, the combined system of industrial power supply, Crimea

МОДЕЛЬ ТОКОПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ТОНКИХ ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ПЛЕНКАХ НА ОСНОВЕ α -Si:H.

Быков М.А., Бекиров Э.А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181
e-mail: bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация. Описана физико-математическая модель и методика численных исследований токопереноса фотоносителей в тонких пленках аморфного гидрогенизированного кремния. Приводятся результаты расчетов зависимости фототока от толщины пленки.

Ключевые слова: аморфный гидрогенизированный кремний, фотопроводимость, процесс фотогенерации.

ВВЕДЕНИЕ

Фотопреобразующие пленки аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) в настоящее время получили достаточно широкое распространение, как материал для создания микроэлектронных приборов, а именно: фотопреобразователей энергии, тонкопленочных транзисторов, диодов и т.п. Характеристики таких устройств определяются как свойствами материалов, так и геометрией, в частности, толщиной пленки аморфного кремния.

В виду того, что недостаток глубоких знаний о физике процессов, происходящих в структурах на основе неупорядоченных полупроводников, включая процессы транспорта и рекомбинации носителей заряда, отсутствие ясных представлений об их свойствах и закономерностях формирования затрудняет практическую реализацию приборов на их основе.

В работах, посвященных изучению электрических и фотоэлектрических свойств данного материала, измерения и расчеты проводились на пленках, толщина которых более 1 мкм. Технология позволяет создавать приборы на основе пленок меньшей толщины, вплоть до десятков нанометров. Исследования, проведенные в работах [1-3], показали, что величина проводимости и фотопроводимости пленок a-Si:H зависит от их толщины, причем характер изменения данных параметров при изменении толщины различен для нелегированных и легированных пленок a-Si:H.

Целью данной работы является представление численных результатов исследования механизмов переноса и свойств пленок a-Si:H с толщиной меньшей 1 мкм, когда толщина пленки соизмерима с диффузионной длиной неравновесных носителей и характерными размерами области приповерхностного искривления зон, обусловленного поверхностными состояниями.

1. Модель структуры

Решение поставленной задачи наиболее целесообразно проводить в кинетическом приближении. При описании процессов переноса

носителей в аморфном кремнии можно использовать модель, предложенную в [2, 3], дополнив ее представлениями из [4]. При этом процесс переноса носителей в аморфном кремнии описывается в терминах прыжковой проводимости для неупорядоченной системы с наличием случайного поля хаотически расположенных заряженных точечных центров. Проводимость описывается переходами носителей между различными локализованными состояниями.

Потенциал внешнего электрического поля в пленке удовлетворяет уравнению Пуассона [4]:

$$\Delta\varphi = -\frac{1}{\varepsilon}(\rho(\vec{r}) - \sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i), \quad (1)$$

где ρ – объемный заряд примесей, $\sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i$ – объемный заряд, создаваемый свободными носителями. Корреляционная функция случайного поля представляется в виде [5]:

$$\varphi_0(r) = \frac{2\pi n_i e^4}{\varepsilon^2} r_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right), \quad (2)$$

где $r_0 = \left(\frac{4\pi n_0 e^2}{\varepsilon T}\right) = \alpha^{-1}$ – радиус

экранирования, n_i – концентрация центров, e – заряд электрона, ε – диэлектрическая проницаемость образца, а $r = r_1 - r_2$ – расстояние между двумя точками в образце. Таким образом, внешняя электрическая сила, действующая на носители заряда $\vec{F} = \nabla_r \psi(\vec{r}, t)$, где $\psi = \varphi + \varphi_0$ – потенциал электрического поля в точке его действия на носитель тока.

Кинетическое уравнение для аморфного кремния в стационарном состоянии можно записать в виде, предложенном в [5], переписав правую часть с учетом всех основных процессов генерации и рекомбинации носителей тока.

$$\frac{\partial f_{\lambda}}{\partial t} = - \sum_{\lambda'} \{W_{\lambda\lambda'} f_{\lambda} (1 - f_{\lambda'}) - W_{\lambda'\lambda} f_{\lambda'} (1 - f_{\lambda})\}, \quad (3)$$

где f_{λ} - неравновесный диагональный элемент одночастичной матрицы плотности, $W_{\lambda\lambda'}$ - вероятность перехода между состояниями λ и λ' .

Вероятности перескоков между различными парами центров меняются случайным образом и в широком интервале. В результате изменения заселенности состояний, наиболее легкие направления перескоков могут быть блокированными.

Генерация носителей тока характеризуется темпом оптической генерации G , который зависит от мощности потока излучения, энергии фотонов, вероятности фотопоглощения и глубины. При описании диффузии фотогенерированных носителей заряда можно воспользоваться законом поглощения света Ламберта: $G = G_0 \exp(-\chi cd)$, где χ - удельный показатель поглощения света в α -Si:H, c - концентрация вещества, d - глубина, на которой рассчитывается поглощение.

Для интерпретации фотопроводимости использовались следующие модели рекомбинации:

1) рекомбинация «зона - хвост» происходит при захвате неравновесного носителя из свободной зоны на состояние хвоста противоположной зоны, захватившее перед этим носитель другого знака и действующее как рекомбинационный центр. Количество состояний хвоста увеличиваются по мере уменьшения температуры;

2) рекомбинация «хвост - оборванная связь» происходит при тунелировании захваченных носителей из состояния хвостов зон на состояния оборванных связей;

3) рекомбинация «хвост - хвост» - это туннельная рекомбинация между электронами, захваченными на состояния хвоста зоны проводимости, и дырками, захваченными на состояния хвоста валентной зоны.

В [3] показано, что в действительности нужно учитывать все возможные механизмы рекомбинации и выделять из них основной в зависимости от спектра состояний носителей, типа и концентрации дефектов, внешних условий (температура, интенсивность света и т.д.).

При описании процессов рекомбинации носителей и их захвата на соответствующие ловушки использовалась модель, предложенная в [2, 3], дополненная представлениями, описанными в [5].

Плотность состояний в неупорядоченном полупроводнике при $|E| \gg \sqrt{\psi_1}$ [5]:

$$\rho(E) = \frac{\psi_1 \exp\left(-\frac{E^2}{2\psi_1}\right)}{2\pi^2 |E|^{3/2}} + \frac{\alpha \cdot \exp\left(-\frac{E^2}{2\psi_1}\right)}{8\sqrt{2}\pi^{3/2} \sqrt{\psi_1}} \left(E - \frac{\alpha |E|^{3/2}}{\sqrt{2\pi\psi_1}} \right), \quad (4)$$

где $\psi_1 = 2\pi m_i e^4 r_0 / \varepsilon^2$, E - энергия состояния, $\alpha^{-1} = r_0$ - характерная длина, роль которой играет радиус экранирования.

Определив вероятности генерации и рекомбинации носителей, входящие в правую часть кинетического уравнения, можно решить систему уравнений (1, 3). В аморфном полупроводнике поле, найденное из уравнения (1), дополняется случайной аддитивной добавкой (2). Методика решения рассмотренной выше системы уравнений подробно изложена в [4].

2. Результаты численного моделирования

Расчет проводился для тонких пленок α -Si:H. Результаты расчетов сравнивались с характеристиками экспериментальных образцов.

Полупроводниковые пленки α -Si:H были получены на магнетронной установке типа УРМЗ.279.026, при давлении в рабочей камере 10-2 - 10-3 Па, при напряжении и токе мишени - 500-650В и 1,5-2А. Скорость роста составляла 0,3-0,4 мкм/мин. Сверху на пленку дополнительно наносились алюминиевые омические контакты с использованием пленочных и металлических масок.

При проведении расчетов в качестве параметров модели использовались значения величин, полученные из экспериментальных исследований [1] и литературных источников [2, 3, 6].

Ширина щели подвижности принималась равной 1.8 эВ. Положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны задавалось равным 1.05 эВ. Для параметров оборванных связей принимались следующие значения: $E_D = 0.9$ эВ, $U = 0.3$ эВ. Начальный темп фотогенерации принимался равным $G_0 = 10^{19}$ см⁻³с⁻¹.

Из полученной экспериментально спектральной зависимости коэффициента поглощения на частотах видимого спектра [1] рассчитывался коэффициент оптической генерации. В результате, при решении кинетического уравнения получены зависимости коэффициента прохождения неравновесных носителей от толщины пленки (рис.1) для разных значений напряженности электрического поля (кривые 1 - E=3 кВ/см, 2 - E=8 кВ/см, 3 - E=20 кВ/см).

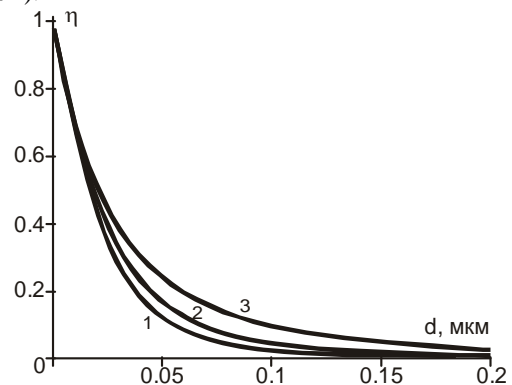


Рис.1. Вероятности прохождения носителей

Расчет проводимости пленок проводился для аморфного кремния с различной степенью гидрирования в области низких напряженностей внешнего поля (до 3 кВ/см). На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования тепловой удельной проводимости для различных концентраций водорода (кривые 1 - 10%, 2 - 30%, 3- 40%).

Анализ зависимости удельной проводимости от напряженности внешнего поля в пленке на α -Si показал что, во-первых, удельная проводимость зависит от толщины пленки, во-вторых, при напряжениях порядка 3-5 кВ/см характер зависимости проводимости от напряженности поля меняется (рис.2).

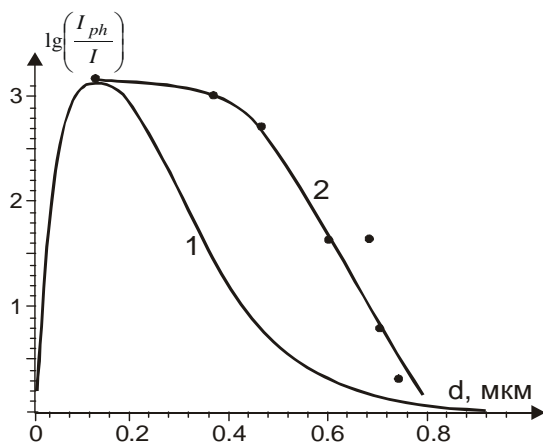


Рис.2. Зависимость удельной проводимости от напряженности внешнего поля α -Si:H пленки

Так как с увеличением толщины увеличивается количество фотогенерированных носителей, а вероятность их собирания падает из-за рекомбинационных процессов, должна существовать такая толщина пленки, при которой эти процессы согласуются.

Анализ зависимостей фототока при облучении светом с длиной волны 0,47 мкм от толщины пленки аморфного кремния (рис.3), полученных из расчетов (кривая 1) и экспериментально [6] (кривая 2) показал наличие такой оптимальной толщины.

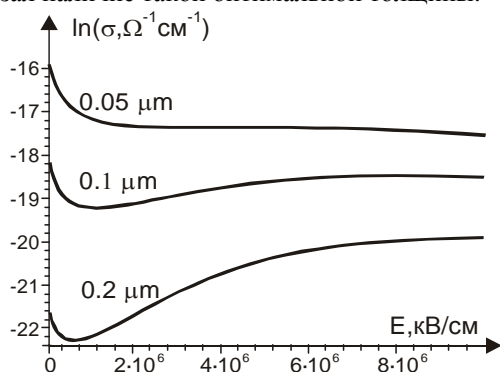


Рис.3. Зависимости фототока от толщины пленки

ВЫВОДЫ

В работе предложена модель, которая адекватно описывает процессы фотогенерации и переноса

носителей в α -Si:H. В результате проведенных исследований получены зависимости проводимости пленок от параметров аморфного кремния. Показана зависимость фотопроводимости от толщины пленки аморфного кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордиенко Ю.Е., Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Шадрин А.А. Особенности лавинного пробоя в кремниевых ПТШ по результатам численного моделирования // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2006. – Вып.121. – С.146-152.
2. Bykov M.A., Mazinov A.S Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silico // Proceedings of SPIE. – 2005. –V. 6023, – P. 60230Q1-60230Q9.
3. Slipchenko N. I., Bykov M.A., Mazinov A.S Research of spectral description films of amorphous hydrogenated silicon received by a magnetron method with the use of an ionic source // Proceedings of SPIE. – 2008. –V. 7008, – P. 700811-1 – 700811-10.
4. Кузнецов С.В. Численный расчет температурных зависимостей фотопроводимости α -Si:H p-типа // ФТП. – 2001. – Т.35, вып.10. – С.1244-1249.
5. М.А.Выков, А.С. Mazinov Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silicon // Proc. of SPIE - Vol. 6023. - P.60230Q1-60320Q9.
6. Быков М.А. Исследование влияния концентрации водорода на свойства пленок аморфного гидрогенизированного кремния полученных магнетронным методом // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – 4/3(22). – С.36-38.
7. Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Чурюмов Г.И., Шадрин А.А. Модель ПТШ субмикронных размеров на кремнии. Ч.1 // Радиотехника и информатика. – Харьков. – 2004. – №3. – С.47–53.
8. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Кайпер Р., Миронов А.Г., Эндерлайн Р., Эсер Б. Электронная теория неупорядоченных полупроводников. – М.: Наука, 1981. – 384 с.
9. Быков М.А., Мазинов А.С. Оптические характеристики аморфных тонкопленочных структур. // Сборник трудов IV Международной конференции «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» –Санкт-Петербург, 2004.
10. Быков М.А., Слипченко Н.И., Зуев С.А. Герчио И.Ю. Оптимизация оптоэлектронных характеристик гетероструктур на основе аморфного и кристаллического кремния // Сборник научных трудов 2-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития». –Кацивели, –2009.
11. Быков М.А., Слипченко Н.И., Зуев С.А. Модель токопереноса в гетероструктуре аморфный-монокристаллический кремний // Сборник научных трудов 3-й Международной научной конференции

«Электронная компонентная база. Микро-, Опто и наноэлектроники» - Харьков-Кацивели -2010.

REFERENCES

1. Gordienko Y. E., Zuev S. A., Starostenko V. V., Tereshchenko V. Yu., Shadrin A. A. Peculiarities of avalanche breakdown in silicon MESFET according to the results of numerical modeling // journal of communications technology. Seakr. lived. scientific.-tech. collection – 2006. – Vol.121. – P. 146-152.

2. Bykov M. A., Mazinov A. S Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silico // Proceedings of SPIE. – 2005. –V. 6023, – P. 60230Q1-60230Q9.

3. Slipchenko N. I., Bykov M. A., Mazinov A. S. Research of spectral description films of amorphous hydrogenated silicon received by a magnetron method with the use of an ionic source // Proceedings of SPIE. – 2008. –V. 7008, – P. 700811-1 – 700811-10.

4. Kuznetsov, S. V., Numerical calculation of temperature dependences of photoconductivity of a-Si:H p-type Fiz. I tekhn. – 2001. – Vol. 35, issue.10. S. 1244-1249.

5. M. A. Bykov, A. S. Mazinov Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silicon // Proc. of SPIE - Vol. 6023. - P. 60230Q1-60320Q9.

6. Bykov M. A. Research of influence of hydrogen concentration on the properties of films of amorphous hydrogenated silicon received by a magnetron method //

East European journal of advanced technologies. – 2006. – 4/3(22). – P. 36-38.

7. Zuev S. A., Starostenko V. V., Tereshchenko V. Yu., Churyumov G. I.,

Shadrin A. A. Model of MESFET submicron size silicon. Part 1 // Radioelektronika I informatika. – Kharkiv. – 2004. – No. 3. – S. 47–53.

8. Bonch-Bruevich V. L., Zvyagin I. P., Kuyper, R., Mironov A. G., Enderlein R., Eser B. Electronic theory of disordered semiconductors. – M.: Nauka, 1981. – 384 p.

9. Bykov M. A., Mazinov A. S. Optical characteristics of amorphous thin-film structures. // Proceedings of IV International conference "Amorphous and microcrystalline semiconductors", Saint-Petersburg, 2004.

10. Bykov M. A., Slipchenko N. And. Zuev S. A., Garcia I. Y. Optimization of optoelectronic characteristics of the heterostructures based on amorphous and crystalline silicon // Collection of scientific works of the 2nd International scientific conference "Electronic components base. The state and prospects of development". –Katsiveli, -2009.

11. Bykov M. A., Slipchenko N. And. Zuev S. A. Model of current transfer in the heterostructure of amorphous, monocrystalline silicon // Collection of scientific papers of the 3rd International scientific conference "Electronic components base. Micro-, Opto- and nanoelectronics" - Kharkiv-Katsiveli -2010.

Bykov M. A, Bekirov E.A.

MODEL OF CURRENT TRANSPORT CARRIERS IN PHOTOVOLTAIC CONVERTERS THIN FILMS BASED ON α - SI:H

Summary. The physical and mathematical model and technique of numerical researches photocarriers current in hydrogenised thin amorphous silicon films is described. Results of photocurrent dependence from film thickness calculations are presented.

Key words: amorphous hydrogenated silicon, photoconductivity, processes of photogeneration

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУИ С ПРЕЦЕССИРУЮЩИМ ВИХРЕВЫМ ЯДРОМ

(Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-08-00074а)

Зайцев О.Н.¹, Степанцова Н.А.², Аверкова О.А.³, Логачев К.И.⁴, Уваров В.А.⁵

^{1,2}Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181 ,

^{3,4,5}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова», г. Белгород

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования сильнозакрученной свободной изотермической струи с прецессирующим вихревым ядром. Выявлено, что распределение радиальной и тангенциальной составляющих скорости при удалении от среза подающего патрубка имеют максимум, зеркально меняющий свое положение относительно центральной оси с шагом равным 1 калибру вследствие влияния вихревого ядра на структуру потока. Показано, что аксиальная составляющая, взятая на различном расстоянии от оси струи, характеризуется наличием на начальном участке положительных и отрицательных скоростей, разделение которых соответствует внешней и внутренней части закрученной струи, при этом изменение скорости по длине струи имеет четыре четко выраженных участка, что обусловлено наличием зоны обратных токов, а изменение скорости по оси струи свидетельствует о нелинейном изменении формы данной зоны.

Ключевые слова: закрученная струя, аэродинамика, прецессия вихревого ядра.

ВВЕДЕНИЕ.

Достижение оптимального теплосъема в теплогенераторах малой мощности (до 300 кВт) с помощью существующих методов регулирования [1-3, 7-8] в настоящее время затруднительно с экономической точки зрения.

В то же время широкое распространение получили вращающиеся потоки, область применения которых охватывает процессы производства тепловой энергии, передачи и использования ее, а также процессы, связанные с использованием тепла в технологических производствах. При этом использование свойства аэродинамики вращающихся потоков - центробежного эффекта, возникновения обратных токов в центральной области, позволяет решить проблемы интенсификации производственных процессов, оптимизировать работу оборудования и его конструктивные параметры.

Однако, неустойчивость процессов, происходящих при первичном распаде закрученного потока (появление области возвратного течения), появление и вырождение вихревого прецессирующего ядра при определенных значениях степени крутки потока, вызывает значительные трудности при применении крутки в технологических процессах [1-5], что требует анализа причин низкой эффективности применения вращающихся потоков в тепловых процессах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Разработка новых энергосберегающих способов и конструктивных решений для снижения расходов топлива в децентрализованных системах теплоснабжения, локализации тепловых источников малой мощности и рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе наряду с теоретическими

исследованиями требует получение экспериментальных данных по аэродинамике взаимодействующих вращающихся потоков.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-08-00074а.

Для решения поставленной задачи на основании рекомендаций [5-6, 10] был разработан и изготовлен экспериментальный стенд. Экспериментальная установка состоит из сопла, диаметром 100 мм, с тангенциальным подводом потока, гибких воздуховодов, вентилятора высокого давления, задвижки для регулирования расхода воздуха.

Для выполнения измерений скорости установка снабжена термоэлектроданометром с возможностью определения направления скорости, с шаровым зондом и координатной сеткой для распределения точек замеров. Измерение расхода газа осуществлялось с помощью тарированной диафрагмы методом переменного перепада давления.

Перед началом измерений производилось подключение термоэлектроданометра к сети, проверка прибора и установка сопла для создания исследуемого вида закрученной струи. Далее выполнялась установка координатной сетки по срезу сопла или в требуемом сечении, и определялось количество точек подлежащих замеру.

После включения вентилятора выполнялись замеры аксиальной, тангенциальной и радиальной скорости в данном сечении, далее координатная сетка переносилась на расстояние, соответствующее следующему сечению с последующими измерениями.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

Полученные в результате экспериментальных исследований данные, после оценки их

достоверности представлены в виде графических зависимостей на рис.1-4.

Распределения радиальной и тангенциальной составляющих скорости на срезе патрубка (рис. 1) аналогично профилям для сильнозакрученных струй, приведенных в многочисленных работах [1-5], однако следует отметить, что распределение тангенциальной скорости в отличие от более сглаженного профиля радиальной, имеет четко выраженный минимум, расположенный на границе обратных токов, что вероятно, вызвано резким расширением струи при выходе из сопла и вовлечением окружающей массы воздуха в возвратное течение на оси струи, при этом разница в скорости между центральной осью и границей области обратных токов возникает вследствие инерционности массы окружающего воздуха и максимума тангенциальной скорости, приходящегося на периферийную область.

Эволюция распределения радиальной скорости при удалении от среза подающего патрубка (рис.3(a))

показывает, что максимум данной составляющей скорости зеркально меняет свое положение относительно центральной оси с шагом 0,1 м, а минимум (соответствуя области обратных токов) расширяется, уменьшаясь в абсолютном значении по мере увеличения расстояния от источника струи. Такое поведение скорости может объясняться односторонним тангенциальным подводом воздуха, что приводит к неравномерному распределению вращающейся массы вокруг оси, однако, такое возможно при замерах скорости с распределением по времени, равном угловой скорости вращения, а в данном случае замеры проводились в один промежуток времени. То есть наиболее вероятным является влияние вихревого ядра, винтовая траектория которого (во втором разделе данной работы было показано, что вихревое ядро не прямолинейно, а скручивается вокруг центральной оси закрученного потока) и, очевидно, имеет шаг, кратный диаметру патрубка.

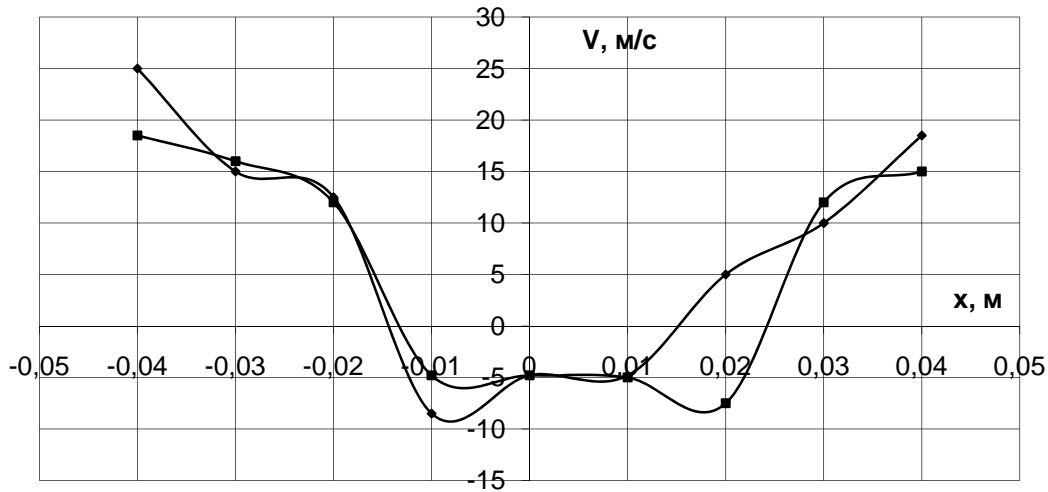
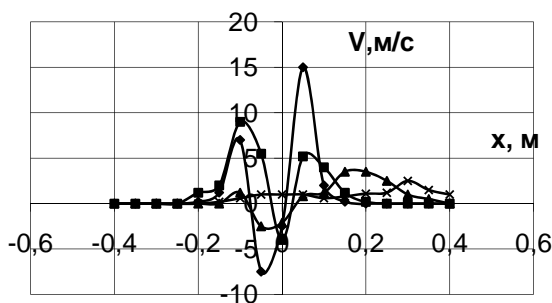
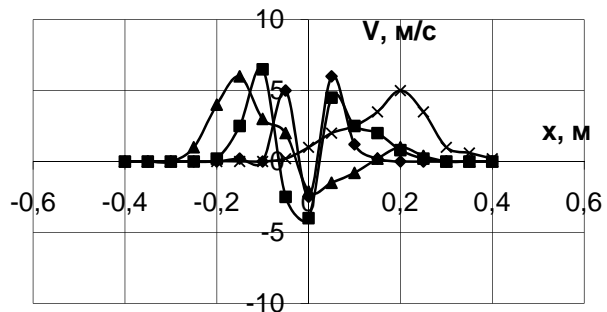


Рис.1. Распределение скорости на срезе патрубка:

- ◆ — радиальная составляющая скорости, V_r , м/с;
- — тангенциальная составляющая скорости, V_φ , м/с.



а) радиальная составляющая



б) тангенциальная составляющая

Рис.2. Распределение скорости в одиночной струе:

- ◆ — на расстоянии 0,1 м от патрубка; ■ — на расстоянии 0,2 м от патрубка;
- ▲ — на расстоянии 0,3 м от патрубка; x — на расстоянии 0,4 м от патрубка.

Профиль тангенциальной скорости (рис.2 (б)), приведенный на различных расстояниях от патрубка также характеризуется перемещением максимума относительно оси в зависимости от рассматриваемого сечения, что подтверждает предположение о влиянии вихревого ядра на скорость закрученного потока, при этом область обратных токов (зона отрицательных скоростей в центральной области) исчезает, как и в случае радиальной составляющей скорости на расстоянии 3 калибров, а сами профили скорости аналогичны. Однако, в отличие от радиальной скорости, тангенциальная составляющая имеет максимум не только на выходе струи из патрубка, а на расстоянии 2 калибров, и в дальнейшем снижается по абсолютной величине. Данный эффект вызван перестройкой поля скоростей начального участка в поле скоростей основного, а также влиянием области пониженного давления (зоны обратных токов) вследствие изменения направления аксиальной скорости части потока, расположенного на границе с данной областью.

Анализ аксиальной составляющей скорости, взятой на различном расстоянии от оси струи, (рис.3) показал наличие на начальном участке положительных и отрицательных скоростей, разделение которых соответствует внешней и внутренней части закрученной струи, при этом изменение скорости по длине струи имеет четыре

четко выраженных участка. Так периферийные слои струи на начальном участке имеют максимум, далее, вследствие расширения области обратных токов, происходит уменьшение и изменение направления движения, но на расстоянии 2 калибров (на границе зоны обратных токов) аксиальная скорость вновь принимает положительные максимальные для данного сечения значения, на последнем участке происходит плавное уменьшение скорости, что соответствует затуханию струи на основном участке. В центральной области струи на начальном участке аксиальная скорость отрицательна (движение газового потока противоположно направлению оси), но имеет максимальное абсолютное значение. На расстоянии 1 калибра также наблюдается максимум скорости, но уже с противоположным знаком, по мере дальнейшего распространения струи происходят аналогичные колебания с изменением направления скорости через каждый калибр, при этом наблюдается уменьшение скорости по абсолютному значению. Такое поведение аксиальной составляющей скорости в центральной области объясняется наличием зоны обратных токов, а изменение скорости по оси струи свидетельствует о непрямолинейном изменении формы данной зоны (на начальном участке происходит ее сужение, затем, на основном — увеличение в поперечном размере и, далее, ее «схлопывание»).

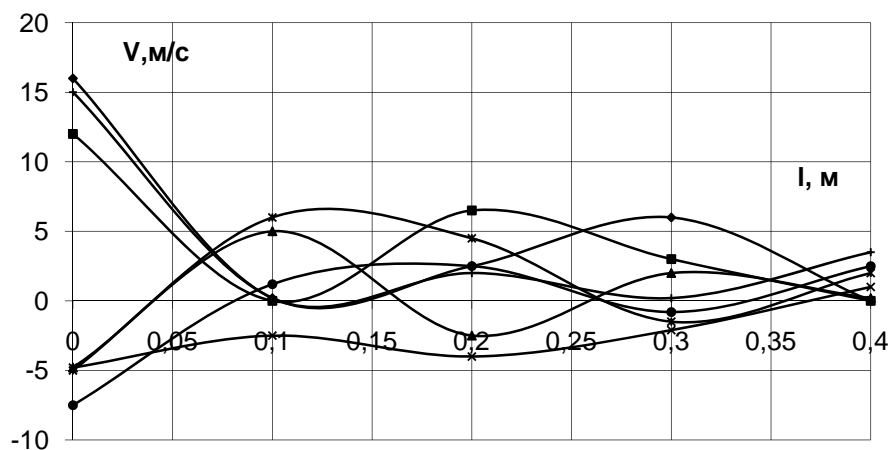


Рис.3. Распределение аксиальной скорости:

◆ — на расстоянии $Z = -0,15$ м от оси струи; ■ — на расстоянии $Z = -0,1$ м от оси струи; ▲ — на расстоянии $Z = -0,05$ м от оси струи; x — на оси струи; ж — на расстоянии $Z = 0,05$ м от оси струи; • — на расстоянии $Z = 0,1$ м от оси струи; + — на расстоянии $Z = 0,15$ м от оси струи.

Анализ распределения тангенциальной составляющей скорости в различных сечениях по длине закрученной струи, представленной в обобщенных координатах V/V_{max} и $\ln(x/x_{max})$ (рис.4), общепринятых для представления таких зависимостей [4, 5, 9, 10] показал, что полученные зависимости имеют одинаковый профиль для любого поперечного сечения струи, но смещаются

вдоль оси абсцисс по мере удаления сечения от начала струи. Сравнение этих графиков с данными с других авторов [1-5, 7, 8] позволяет сделать вывод о совпадении результатов с достаточной точностью. Однако, такое представление не дает возможности проанализировать происходящие в вращающихся струях процессы [10, 11], хотя и удобно для разработки инженерных методик расчетов.

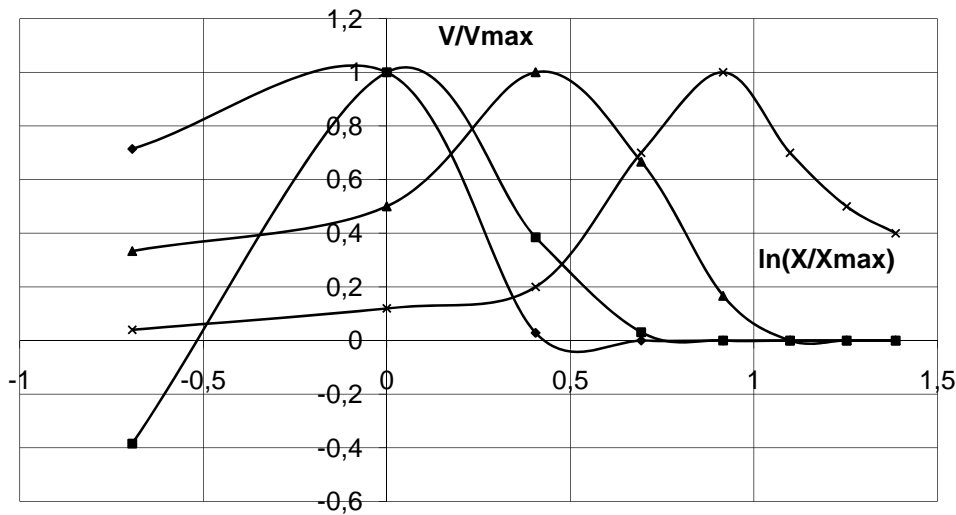


Рис.4. Распределение тангенциальной скорости в безразмерных координатах:

◆ — на расстоянии 1 калибра от патрубка; ■ — на расстоянии 2 калибров; ▲ — на расстоянии 3 калибров; x — на расстоянии 4 калибров.

ВЫВОДЫ.

Таким образом, выполненное экспериментальное исследование сильнозакрученной свободной изотермической струи с прецессирующим вихревым ядром показало, что распределение радиальной и тангенциальной составляющих скорости при удалении от среза подающего патрубка имеют максимум, зеркально меняющий свое положение относительно центральной оси с шагом равным 1 калибру вследствие влияния вихревого ядра на структуру потока. Аксиальная составляющая, взятая на различном расстоянии от оси струи, характеризуется наличием на начальном участке положительных и отрицательных скоростей, разделение которых соответствует внешней и внутренней части закрученной струи, при этом изменение скорости по длине струи имеет четыре четко выраженных участка, что обусловлено наличием зоны обратных токов, а изменение скорости по оси струи свидетельствует о нелинейном изменении формы данной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Гупта, Д.Лилли, Н.Сайред. Закрученные потоки: Пер. с англ. /А.Гупта, Д.Лилли, Н.Сайред. - М.: Мир, 1987,—588с.
2. Найденов Г.Ф. Газогорелочные устройства с регулируемыми характеристиками факела. - К.: Техніка, 1974. - 112 с.
3. Сабуров Э.Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсивным конвективным теплообменом. - Архангельск: Сев-зап. кн. из-во, 1995. - 341 с.
4. Устименко Б.П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях. - Алма-Ата: Наука, 1977. - 228 с.

5. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков.—К.: Наукова думка, 1989.—192 с.

6. Алексеенко С.В. Введение в теорию концентрированных вихрей /С.В.Алексеенко, П.А.Куйбин, В.А.Окулов.-Новосибирск:Институт теплофизики СО РАН, 2007. - 507с.

7. Штым А.Н., Воротников Е.Г., Распутин О.В., Штым К.А. Опыт освоения вихревой технологии сжигания твердого топлива // Энергетик.- 2011.- №9.- с.23-25.

8. Штым А.Н., Штым К.А., Дорогов Е.Ю. Котельные установки с циклонными предтопками: монография / А.Н. Штым, К.А. Штым, Е.Ю. Дорогов; Дальневос.федерал.ун-т.- Владивосток: Изд-во дом Дальневос.федерал.ун-та, 2012.-421 с.

9. Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. / СПб.: Судостроение, 2005.-392 с.

10. Гримитлин А.М., Дацок Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования: монография / А.М.Гримитлин, Т.А.Дацок, Д.М. Денисихина.- СПб : АВОК Северо-Запад, 2013. - 192 с.

- 11.Юрченко О., Любарец А., Дихтярь Т., Зайцев О. Экспериментальные исследования колебаний скорости в сильнозакрученной газовой струе с прецессирующим вихревым ядром // Труды международной конференции «Энергия -2010», Lublin: Motrol, 2010, сб. № 12С, с.266-272

REFERENCES

1. A. Gupta, D. Lilley, N. Sired. Swirling flows: TRANS. from English. /A. Gupta, D. Lilley, N. Sired. - M.: Mir, 1987,—588c.
2. Naidenov, G. F. gas burner device with adjustable characteristics of the torch. – K.: Techno, 1974. – 112 p.
3. Saburov E. N. Cyclone heating device with intensive convective heat transfer. – Arkhangelsk: North-West. kN. in, 1995. – 341 p.
4. Ustimenko B. P. the Processes of turbulent transfer in rotating flows. – Alma-ATA: Nauka, 1977. – 228 p.
5. Khalatov A. A. Theory and practice of swirling flows.—K.: Naukova Dumka, 1989.-192 C.
6. Alekseenko S. V. introduction to the theory of concentrated vortices /S. V. Alekseenko, P. A. Kuibin, V. A. Okulov.-Novosibirsk:Institute of Thermophysics SB RAS, 2007. – 507c.
7. Stem A. N., E. Vorotnikov, O. V. Rasputin, Shtym K. A. Experience of development of vortical technology of burning of a solid fuel // energetic.- 2011.- No. 9.- p. 23-25.
8. Stem A. N., Shtym K. A., E. Y. Dorogov Boilers with cyclone predoplaty: monograph / A. N. Stim, K. A. Stam, E. Yu. Dorogov; Delnevo.fed.Univ. of Illinois - Vladivostok: Publishing house Dalnevost.fed.University press, 2012.-421 S.
9. Bystrov Y. A., Isaev S. A., Kudryavtsev N. A. Leont'ev A. I. Numerical simulation of vortex intensification of heat exchange in packages of tubes. / SPb.: Shipbuilding, 2005.-392 p.
10. Grititlin, A. M., T. A. Datsyuk, Deniskina D. M. Mathematical modeling in the design of systems of ventilation and conditioning systems: monograph / A. M. Grititlin, T. A. Datsyuk, D. M. Deniskina.- St. Petersburg : AVOK Severo-Zapad, 2013. – 192 p.
11. Yurchenko O., Lyubartsev A., Dihtjar ' T., Zaitsev O. Experimental study of fluctuations of velocity in silkscreen gas jet with precancerous vortex kernel // Proceedings of the international conference "Energy -2010", Lublin: Motrol, 2010, SB No. 12C, pp. 266-272

Zaitsev O.N., Stepantsova N.A, Averkova O.A., Logachev K.I., Uvarov V.A.

INVESTIGATION OF A FREE SPINDLE CAGE PRECESSING VORTEX NUCLEI

Summary. The results of an experimental investigation of a strongly wound free isothermal jet with a precessing vortex core are presented. It was found that the distribution of the radial and tangential velocity components when moving away from the cutoff of the delivery branch pipe has a maximum that mirrors its position relative to the central axis in steps of 1 gauge due to the influence of the vortex core on the flow structure. It is shown that the axial component taken at different distances from the axis of the jet is characterized by the presence of positive and negative velocities in the initial section, the separation of which corresponds to the outer and inner parts of the swirling jet, while the velocity variation along the length of the jet has four distinct sections, zones of reverse currents, and the change in velocity along the axis of the jet indicates a nonlinear change in the shape of this zone.

Key words: swirling jet, aerodynamics, precession of the vortex core.

КОМПАКТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Г.Т. Амбросова, Е.Н. Матюшенко, Н.В. Синеева

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

Адрес: 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д.113

E-mail: ematyushenko1991@mail.ru

Аннотация. В данной статье дается краткая характеристика технологии очистки в компактной установке высококонцентрированной производственной сточной жидкости предприятия пищевой промышленности, отмечаются особенности обработки образующихся осадков. Перечисляются проектные недоработки, их влияние на качество очистки и стабильность работы комплекса, приводятся рекомендации по их устранению. Описываются часто встречающиеся нарушения в работе установки, комментируются причины их появления и способы устранения. Приводятся данные по концентрации загрязнений в поступающей и очищенной сточной жидкости, указываются предельно-допустимые концентрации (ПДК) этих показателей в стоках перед их сбросом в водоём.

Ключевые слова: компактная установка, очистка стоков, удаление фосфора, нитрификация, денитрификация,

ВВЕДЕНИЕ

Компактная установка (КУ) производительностью 300 м³/сут предназначена для очистки высококонцентрированных стоков предприятия мясной промышленности. На этом предприятии производственная канализационная сеть служит для отвода стоков от цехов основного производства, стоки от санузлов, душевых, прачечной, столовой отводятся по сети хозяйственно-бытовой канализации. Оба вида стоков поступают на установку с высоким коэффициентом неравномерности, зависящим от графика работы производственных цехов, режима работы столовой, прачечной и времени пользования душем. Канализационная сеть, транспортирующая производственные и бытовые стоки, имеет небольшую протяженность, в общей сложности не превышающую 500 метров. Стоки из производственных цехов поступают в насосную станцию производственных стоков, а бытовые стоки в насосную станцию хозяйственно-фекальных стоков. Далее они откачиваются в общий резервуар-усреднитель.

Существующая технология очистки стоков и обработки осадков

Технологическая схема очистки стоков и обработки осадков представлена на рис. 1. Из насосных станций производственных и бытовых стоков по трубопроводу стоки (1) подаются в резервуар-усреднитель (2), предназначенный для усреднения стоков по расходу и составу,

корректировки стоков по рН и гомогенизации органических веществ. Ввод щелочи в резервуар позволяет не только обеспечить нормальную работу флотатора (7), но исключить запах на стадии механической очистки, так как при значении рН 9–9,5, которое поддерживается в усреднителе, весь сероводород находится в растворимой форме. Ввод едкого натра 25% концентрации осуществляется автоматически. Далее сточная жидкость откачивается на барабанное сито (5), имеющее по всей поверхности барабана отверстия диаметром 0,8 мм. Освобожденная от крупных органических включений сточная жидкость самотеком поступает во флотатор (7). Задежанные отбросы самотеком сбрасываются в накопитель (6) с последующим вывозом на полигон твердых бытовых отходов. Флотатор работает в напорном режиме, 30% технической воды, насыщенной воздухом при давлении 5–7 бар, способствует освобождению сточной жидкости от коллоидных частиц, удаление которых обычным отстаиванием невозможно. Водно-воздушная смесь подается через диффузоры в трёх точках по дну флотатора. Образующаяся пена, представляющая собой сфлотированные органические частицы, насосом откачивается для обработки в аэробный стабилизатор. Осветленная сточная жидкость из флотатора самотеком поступает в резервуар осветленных стоков, а далее также самотеком направляется в биореактор (8), работающий в режиме контактной стабилизации.

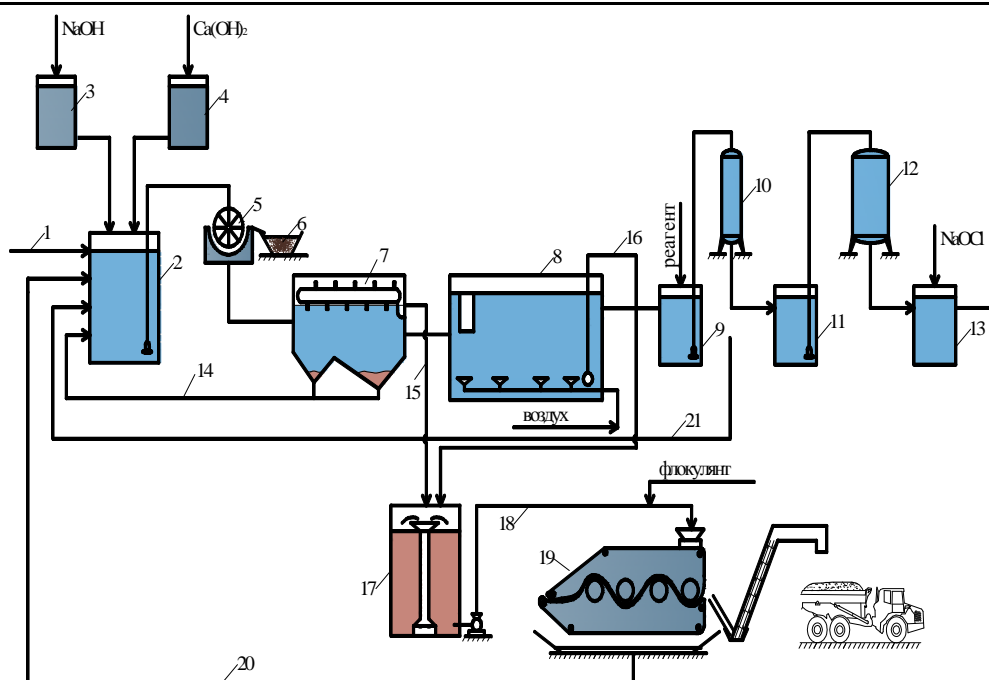


Рис. 1 Технологическая схема очистки высококонцентрированных производственных стоков предприятия пищевой промышленности

- 1 – смесь производственных и бытовых сточных вод; 2 – резервуар-усреднитель; 3 – бак приготовления щелочи; 4 – бак приготовления извести; 5 – барабанное сито; 6 – емкость для приема отбросов из барабанного сита; 7 – флотатор; 8 – биореактор; 9 – резервуар биологически очищенных стоков; 10 – песчаный фильтр; 11 – резервуар доочищенных стоков; 12 – угольные фильтры; 13 – резервуар очищенных стоков; 14 – осадок из флотатора; 15 – пена из флотатора; 16 – избыточный активный ил; 17 – аэробный стабилизатор; 18 – стабилизированный осадок; 19 – фильтр-пресс для обезвоживания осадка; 20 – фильтрат; 21 – промывная вода песчаных фильтров.

В биореакторе последовательно протекает несколько процессов: денитрификация, окисление органических веществ в аэробных условиях, нитрификация, отстаивание и слив. Процесс денитрификации протекает в период запуска сточной жидкости в биореактор. На стадии денитрификации или восстановления нитритов и нитратов до NO , N_2O или N_2 одновременно осуществляется процесс окисления легкоокисляемых органических веществ в бескислородных условиях. На этой стадии в условиях острого дефицита кислорода факультативные бактерии используют для дыхания связанный кислород нитритов и нитратов. Концентрация растворенного кислорода в денитрификаторе поддерживается на уровне 0–0,5 мг/л. Концентрация растворенного O_2 , температура и объем иловой смеси в биореакторе регистрируются стационарно установленными датчиками с передачей показаний на дисплей, расположенный в диспетчерской. Перемешивание поступающей сточной жидкости и иловой смеси, находящейся в биореакторе, производится в режиме пульс-пауз. Режим предполагает периодическое включение воздуходувки на кратковременный период работы. Воздуходувка включается в работу через каждые 10 минут, период работы

воздуходувки устанавливается в программе настроек на 30, 60 или 90 секунд. Главным при выборе периода работы воздуходувки является поддержание концентрации растворенного кислорода на минимально возможном уровне. На стадии денитрификации для восстановления окисленной формы азота (NO^{2-} и NO^{3-}) используется только часть органических веществ, поступающих со сточной жидкостью, остальная окисляется в период работы биореактор в режиме аэробного окисления органических веществ.

После завершения процесса денитрификации наступает период окисления в аэробных условиях органических веществ, неостребованных на стадии денитрификации. В этот промежуток времени концентрация растворенного O_2 в биореакторе поддерживается на уровне 2–2,5 мг/л, благоприятном для поддержания максимальной скорости окисления органических веществ в аэробных условиях, и воздуходувка также работает в периодическом режиме, однако она включается в работу при снижении концентрации растворенного кислорода до 2 мг/л и выключается при достижении 2,5 мг/л. Процесс окисления органических веществ завершается при снижении БПК_{полн} до 15–20 мг/л и далее начинается процесс нитрификации.

На стадии нитрификации концентрация растворенного O_2 поддерживается на уровне 3–4 мг/л. Воздуходувка также работает в периодическом режиме и включается при снижении концентрации растворенного кислорода до 3 мг/л, а выключается при достижении 4 мг/л. В ходе эксплуатации компактной установки подмечено, что, если воздуходувка отключается при значении 4 мг/л, то какое-то время концентрация растворенного O_2 в иловой смеси постепенно увеличивается и может достигать 4,15–4,25 мг/л, затем в течение 10–30 секунд сохраняется неизменной и начинает снижаться медленно или быстро в зависимости от концентрации ранее поступивших загрязнений. После завершения последнего цикла биологической очистки стоков (нитрификации) наступает период отстаивания иловой смеси. В программе настроек денитрификация продолжается 4 часа, аэробное окисление и нитрификация 6 часов, отстаивание и слив сточной жидкости по 1 часу. Итого за сутки совершается два полных цикла по 12 часов, из них слив производится только два часа в сутки.

Выпуск сточной жидкости из биореакторов осуществляется в резервуар биологически очищенных стоков (9), а затем насосами подается на песчаный фильтр (10). По проекту был принят двухслойный фильтр пропускной способностью 10 м³/ч. Загружен песком фракцией 0,4–0,8 мм и гидроантрацитом фракцией 1,6–2,5 мм. Общая высота рабочей загрузки 1,4 м, поддерживающий слой высотой 0,2 м фракцией 4–6 мм. Промывка фильтра принята водяная с интенсивностью 9 л/м²·ч. Для промывки фильтра проектом предусмотрено использование биологически очищенной сточной жидкости после биореакторов. Сточная жидкость после фильтра сбрасывается в резервуар-накопитель (11) и далее закачивается в фильтры, загруженные активированным углем (12).

Угольные фильтры предназначены для удаления труднорастворимых органических веществ (в основном лигнина-естественного биополимера), которые невозможно удалить биологическим путём. Перед сбросом стоков в водоём (рыбохозяйственный II категории) сточная жидкость обеззараживается гипохлоритом натрия ($NaOCl$) при начальной дозе 3 мг/л по активному хлору. Контакт сточной жидкости и хлорной воды, вводимой насосом-дозатором, осуществляется в приемном резервуаре насосной станции (13), откачивающей стоки с территории предприятия в водоём.

Проектная технологическая схема обработки осадка представлена следующим образом. Пена после флотатора и избыточный активный ил из биореактора, загружаются в аэробный стабилизатор (17). Причём пена загружается во время работы флотатора (8 часов в сутки), а избыточный активный ил во время слива биологически очищенной сточной жидкости (2 часа в сутки), когда концентрация осевшего активного ила имеет максимальные значения. Аэробный стабилизатор оборудован эрлифтом для насыщения стабилизируемого осадка кислородом. Для обезвоживания

стабилизированного осадка предусмотрен ленточный фильтр-пресс «KLEIN» (19), работающий с флокулянтном Праестол. Приготовление флокулянта происходит на установке в автоматическом режиме. Доза вводимого флокулянта находится в пределах 1,5–3 кг на тонну обезвоживаемого осадка, что вполне достаточно для стабилизированного осадка. Обезвоженный осадок выгружается в накопительную емкость и периодически вывозится на полигоне твердых бытовых отходов. Осевший во флотаторе осадок (14), фильтрат (20) фильтр-пресса, грязная вода от промывки песчаного фильтра (21) после ряда проведенных усовершенствований КУ решили направлять в резервуар-усреднитель.

В целом, компактная установка работает в периодическом режиме: при откачке сточной жидкости из резервуара-усреднителя работают барабанное сито, флотатор, резервуар осветленных стоков, из которого осветленная сточная жидкость закачивается в биореактор. Далее после завершения всего цикла биологической очистки, завершающимся сливом биологически очищенной сточной жидкости, в работу включаются фильтры песчаные и угольные. Аэробный стабилизатор работает в непрерывном режиме, выгрузка стабилизированного осадка на фильтр-пресс производится два раза в сутки, каждый раз по 2 часа непрерывной работы. Осадок обезвоживается до влажности 70–75 %.

Проектные недоработки и пути их решения

После детального изучения проектной документации по компактной установке был выявлен целый ряд проектных недоработок, часть из которых была устранена эксплуатацией. Ниже приводится перечень основных неудачных инженерных решений и пути их устранения.

В состав компактной установки включено по одному сооружению (резервуар-усреднитель, резервуар осветленных стоков, резервуар биологически очищенных стоков, песчаный фильтр, резервуар доочищенных стоков, аэробный стабилизатор) и по одному оборудованию (барабанное сито, флотатор, фильтр-пресс). Любые профилактические или ремонтные работы, требующие больших затрат времени, вынуждают выключать очистные сооружения из работы. Если производственные цеха работали в обычном режиме, то поступающие стоки приходилось вывозить ассенизационными машинами на специальные полигоны. Это увеличивает эксплуатационные затраты, связанные с вывозом стоков автотранспортом и размещением этих стоков на полигоне твердых бытовых отходов, а также дестабилизирует работу сооружений биологической очистки, которые не получают необходимой питательной подпитки. Эту проектную недоработку устранить невозможно, поэтому все профилактические и ремонтные работы

эксплуатация очистных сооружений приурочивает к плановым остановкам основного производства.

Мало того, что резервуар-усреднитель принят один, но он ещё имеет малые размеры, его вместимость не превышает четырёхчасового приёма стоков. Обычно резервуары-усреднители рассчитываются с учётом графика притока сточной жидкости на очистные сооружения, в среднем их объём равен 18–20 часовому усреднению стоков. Для предприятия, имеющего высокий коэффициент часовой неравномерности, как по притоку сточной жидкости, так и поступлению загрязнений, недостаточный объём резервуара-усреднителя практически не решает проблемы сокращения требуемых объёмов сооружений. При этом не решается вопрос стабилизации работы комплекса по очистке сточных вод, особенно биореакторов, наиболее чувствительных к изменению нагрузки по органическим загрязнениям. Строительство дополнительного резервуара-усреднителя запланировано на период капитальной реконструкции объекта, намеченной на ближайшие годы.

К сожалению, не предусмотрены резервуары-накопители растворов, образующихся при санитарной обработке технологического оборудования. Эти растворы помимо высокой концентрации органических веществ, удаляемых из технологического оборудования при его мойке, содержат СПАВ (синтетически поверхностные вещества) и обеззараживающие средства. При попадании на очистные сооружения канализации свежих моющих растворов нарушается работа биореакторов и аэробных стабилизаторов (погибает биомасса), последние подвержены влиянию в большей степени, так как они имеют намного меньшие размеры и принимают высококонцентрированную пену. Следует иметь в виду, что активность обеззараживающих средств с течением времени в этих растворах теряется, и они могут малыми порциями срабатывать на очистные сооружения. Строительство резервуаров-накопителей также запланировано на период капитальной реконструкции объекта, намеченной на ближайшие годы.

Отбросы, удаляемые из барабанного сита представлены в основном водой и крупными органическими включениями, которые собираются в ёмкость и вывозятся на полигон твердых бытовых отходов. С целью сокращения эксплуатационных затрат на вывоз крупных включений автотранспортом, оплату размещения этих отходов, а также сохранения от загрязнения окружающей среды предложено снимаемые отбросы измельчать в мацераторе и возвращать в резервуар-усреднитель. Реконструкция этого узла также запланировано на период капитальной реконструкции объекта, намеченной на ближайшие годы.

В проекте было указано снижение фосфора с 20–40 мг/л до 2 мг/л на стадии механической и биологической очистки. Однако анализ принятой проектом технологии очистки сточной жидкости

показал, что снизить фосфор на 90–95 % невозможно только за счёт его использования на синтез биомассы в биореакторах. В дальнейшем практика эксплуатации КУ подтвердила это предположение. Рассмотрим это на примере. Примем средний фактический приросте активного ила равным 500–600 мг/л, примем также среднюю долю фосфора в клетке микроорганизмов равной 1–2 % от массы сухого вещества клетки. Тогда получается, что на синтез новых клеток требуется всего лишь 5–12 мг/л фосфора. Таким образом, при поступлении в биореакторы фосфора в количестве 20–40 мг/л после биореактора его концентрация уменьшится за счёт использования на синтез биомассы только до 15–28 мг/л. Авторами настоящей статьи предложена и в настоящее время реализована технология снижения основной массы фосфора на стадии усреднения стоков путем дозирования извести в резервуар-усреднитель [1]. Количество вводимой извести обеспечивает связывание основной части фосфатов с известью в труднорастворимую соль ортофосфорной кислоты $[Ca_5OH(PO_4)_3]$. Остаточная концентрация фосфора после флотатора поддерживается в пределах 7–14 мг/л, что обеспечит необходимое количество фосфора для нормальной работы биореактора. Подмечено, что ввод извести в резервуар-усреднитель позволяет снизить концентрацию сульфатов в поступающей сточной жидкости с 50–90 мг/л до 7–25 мг/л.

Согласно проектным данным для промывки песчаного и угольного фильтров предложено использовать биологически очищенную сточную жидкость после биореакторов. Действительно, такой вариант экономит эксплуатационные затраты, так как не требуются затраты на доочистку стоков, которые потом будут использованы для промывки фильтров. Однако при этом не учтено следующее. В процессе эксплуатации биореакторов возможно нарушение их работы по разным причинам: в результате «вспухания» активного ила или его гибели, снижения качества очистки из-за залпового сброса органических загрязнений на сооружения биологической очистки, невозможности своевременной откачки избыточного активного ила из биореакторов, приводящей к повышению уровня стояния активного ила в момент слива сточной жидкости и многое другое. Вынос частиц активного ила из биореакторов может быть столь значительным, что такая техническая вода, используемая для промывки фильтра, явится источником загрязнения его рабочей загрузки. Например, при развитии в биореакторе процесса «вспухания» активного ила вынос ила может достигать 50–100 мг/л. Промывка фильтра водой даже с меньшей концентрацией исключает получение в фильтрате концентрации взвешенных веществ 2 мг/л. Рекомендовано использовать для промывки профильтрованную сточную жидкость. На сегодня произведен демонтаж промывных насосов в резервуаре биологически очищенных стоков с перенесением их в резервуар доочищенных стоков.

Проектная схема предусматривала возврат промывной воды песчаного фильтра, содержащей мелкие частицы активного ила и песка, в резервуар осветленных стоков с последующей их закачкой в биореакторы, оборудованные мембранными аэраторами. Длительная эксплуатация по такой схеме сокращает срока службы дорогостоящих аэраторов, имеющих размеры пор 30–50 мкм, из-за их засорения. Рекомендовано промывную воду фильтра сбрасывать в резервуар-усреднитель (см. рис. 1), при этом часть минеральных частиц будет задерживаться на барабанном сите, часть окажется в аэробном стабилизаторе и далее по цепочке будет обезвоживаться на фильтр-прессе.

Принятая проектом технология доочистки стоков по фосфору не обеспечивает снижение фосфора до ПДК (0,2 мг/л) при введении хлорного железа из-за высокой концентрации фосфора, поступающего из биореактора. После биореактора концентрация фосфора, как уже указывалось ранее, составляет примерно 15–28 мг/л. Для получения необходимого эффекта реагент требуется вводить в соотношении по массе $P:Fe^{3+} = 1:(1,5-2)$. Хлорное железо неплохой реагент, он относится к одному из самых активных, содержит хлор, способен не только связывать фосфор в труднорастворимое соединение ($FePO_4$), но и предотвращать образование биопленки на фильтрующей загрузке. Однако при высокой концентрации фосфора, поступающего на фильтр, доза вводимого реагента в пересчёте на (Fe^{3+}) для рассматриваемого случая должна составлять 22,5–56 мг/л. В этом случае остаточная концентрация железа (также в пересчёте на Fe^{3+}) в очищенной сточной жидкости всегда будет превышать ПДК на сброс в водоём (0,1 мг/л). Во избежание ухудшения качества очистки стоков рекомендовано заменить хлорное железо на сернокислый алюминий $[Al_2(SO_4)_3]$ или ОХА. При этом производить предварительное связывание фосфора известью на стадии усреднения сточной жидкости. В сочетании с частичным использованием фосфора на синтез биомассы в биореакторе это дает хороший результат. В настоящее время удаление фосфора на этом объекте с доведением его остаточной концентрации до 0,2 мг/л в очищенной сточной жидкости производится по этой схеме.

К серьёзной проблеме реализованного проекта относится вопрос, связанный с ограниченной пропускной способностью КУ. Суть этой проблемы заключалась в следующем. Максимальная расчётная проектная пропускная способность установки составляла 300 м³/сут. При двух работающих биореакторах каждый должен обрабатывать 150 м³/сут. Если полный цикл в биореакторе протекает за 12 часов, то каждую смену из биореактора за час должно отводиться 75 м³. К сожалению, фактическая пропускная способность фильтра согласно проектной схеме составляет 10 м³/час при объёме резервуара биологически очищенных стоков равном 30 м³. Таким образом, пропускная способность узла выпуска сточной жидкости из биореактора на песчаный фильтр составляет 40 м³/ч.

Увеличить пропуск стоков через этот узел за счёт увеличения продолжительности слива сточной жидкости из биореактора (например, слив осуществлять 2 ч, вместо 1 ч) не представлялось возможным по двум причинам. Во-первых, нитрифицированный активный ил, находясь в течение трёх часов (1 час до слива и 2 часа в период слива) без доступа кислорода, будет подвергаться сильнейшей денитрификации с массовым его всплытием на поверхность биореакторов. Во-вторых, при длительном нахождении активного ила в анаэробных условиях создаются благоприятные условия для развития процесса дефосфатирования, сопровождающегося обогащением сточной жидкости фосфором. В-третьих, при достаточно высокой температуре сточной жидкости (27–34⁰С), которая поддерживается в тёплый период года, длительное нахождение в анаэробных условиях активного ила приводит к качественному изменению его свойств, иногда перерождающемуся во «вспухание» активного ила. Первоначально эта проблема была решена путем увеличения фракции рабочей загрузки фильтра с 0,6–0,8 мм до 1,6–2,5 мм. Практика показала, что такой вариант не приемлем, так как это приводит к прохождению через крупную загрузку кристалликов ортофосфорной кислоты, которые образуются после введения реагента, дозирование которого производится в резервуар биологически очищенных стоков. В процессе эксплуатации проблема была решена путем увеличения резервуара биологически очищенных стоков вдвое за счёт имеющегося резервного резервуара и замены фильтра на фильтр с большей пропускной способностью. Во вновь смонтированном однослойном фильтре предусмотрена песчаная загрузка фракцией 0,6–1,2 мм и предусмотрена водо-воздушная промывка.

Для двух угольных фильтров не предусмотрена система регенерации загрузки. В процессе эксплуатации после исчерпания обменной ёмкости фильтр будет работать как обычный зернистый фильтр, предназначенный для задержания взвешенных веществ, а трудноокисляемые органические вещества (в основном лигнин) будут сбрасываться в водоём. Лигнин не удаляется биологическим путем, его можно удалить только окислителями (озоном, пероксидом водорода, хлором), либо реагентами (известью, сернокислым алюминием, ОХА). К сожалению, вопрос удаления из сточной жидкости лигнина на этом объекте пока остается нерешенным.

Часто повторяющиеся нарушения в работе компактной установки

Длительное наблюдение за работой компактной установки и поиск оптимального технологического режима позволили выявить целый ряд возможных нарушений в её работе. Ниже приводится перечень наиболее часто повторяющихся нарушений и способов их устранения.

На очистные сооружения поступает практически не аммонифицированная сточная жидкость. Так, концентрация аммонийного азота в поступающих на очистку производственных стоках не превышает 0,6 мг/л, в то время как на синтез биомассы активного ила требуется минимум 25–30 мг/л при приросте избыточного ила 500–600 мг/л. Это обстоятельство естественно отражается на снижении скорости окисления органических веществ в биореакторах. Только по этой причине продолжительность обработки сточной жидкости в биореакторах составляет около 7–8 суток в зависимости от фактического притока сточной жидкости. Следует признать, что при такой концентрации достичь в очищенной сточной жидкости предельно-допустимую концентрацию аммонийного азота (0,4 мг/л), установленную для сброса в рыбохозяйственный водоём, довольно просто. Для городских стоков глубокая аммонификация сточной жидкости протекает в канализационных сетях, поэтому средняя продолжительность обработки сточной жидкости в аэротенках составляет 6–8 часов. Предполагается, что устройство резервуаро-усреднителей больших размеров может помимо усреднения расхода и состава сточной жидкости отчасти решить проблему её аммонификации.

Частым нарушением в работе барабанного сита является засорение отверстий жиром и органическими частицами. Это объясняется двумя причинами: недостаточной гомогенизацией органических частиц, связанной с ограниченным временем пребывания сточной жидкости в резервуаре-усреднителе и его промывкой холодной водой. После включения дополнительного узла по подогреву до 60°C технической воды, используемой для промывки, сито стало работать стабильно.

Флотатор, работающий с высоким давлением в сатураторе (4–7 атм) и повышенным расходом циркуляционной воды, обеспечивает очень высокий эффект изъятия взвешенных веществ из сточной жидкости, в результате в биореакторах формируются облегченные «хлопочки» активного ила с неудовлетворительными седиментационными свойствами. Это провоцирует повышенный вынос активного ила из биореакторов и увеличивает число промывок песчаного фильтра. По этой причине в процессе эксплуатации постоянно отслеживается качество поступающей сточной жидкости и регулируется подача в сатуратор технической воды и воздуха.

«Вспухание» активного ила относится к самому часто повторяющемуся нарушению в работе биореакторов. «Вспухание» может быть вызвано многими причинами: залповым сбросом органических загрязнений, повышенной эффективностью работы флотатора, чрезмерной интенсивностью аэрации в биореакторах, длительной работой биореактора в режиме острого дефицита кислорода, массовой гибелью активного ила, вызванной поступлением токсичных стоков, подпиткой активного ила в биореакторах углеводами (сахаром или лимонной кислотой) во

время вынужденной или запланированной остановки производственных цехов, длительной работой биореактора при низких значениях фосфора и pH. В связи с этим разработаны рекомендации, своевременно исключающие все случаи, провоцирующие развитие явления «вспухания» активного ила в биореакторе.

Очень часто в биореакторах наблюдается дефосфатирование сточной жидкости либо из-за чрезмерной аэрации активного ила, либо из-за острого дефицита кислорода. В первом случае это происходит в результате длительной аэрации сточной жидкости, поступившей с небольшим количеством органических загрязнений, приводящей к самоокислению бактериальных клеток и выходу наружу их содержимого. Во втором случае при остром дефиците O₂ начинается перестройка микроорганизмов с аэробного дыхания на анаэробное сбраживание и микроорганизмы освобождаются от части фосфора, использованного ими в аэробных условиях на синтез молекулы АТФ. Усугубление этих нарушений предупреждается путём своевременной корректировки программы настройки технологического режима работы биореакторов.

Очень часто активный ил в биореакторах погибает из-за поступления даже небольшого количества сточной жидкости, содержащей моющие и дезинфицирующие средства. После чего активный ил может восстанавливаться в зависимости глубины поражения в течение 3–4 недель. Наличие культиваторов для выращивания активного ила на производственных стоках позволило бы в течение короткого времени восстановить активный ил и стабилизировать работу биореакторов. На этом объекте под культиваторы предполагается выделить емкости, которые будут высвобождены при проведении капитальной реконструкции компактной установки. В настоящее время в качестве культиватора используется емкость около 0,6 м³, подпитка активного ила осуществляется как сточной жидкостью, так и концентрированными отходами производства.

Серьёзным нарушением в работе комплекса по очистке сточных вод является интенсивное развитие в биореакторах процесса денитрификации во время отстаивания иловой смеси, особенно это характерно для летнего периода, когда температура сточной жидкости может достигать 27–34°C. Процесс денитрификации сопровождается массовым всплыванием на поверхность биореакторов активного ила и его выноса на песчаный фильтр. В связи с этим было принято решение: в период, предшествующий отстаиванию, иловую смесь насыщать растворённым кислородом до предельно возможной концентрации (7–8 мг/л). Это мероприятие не решает проблему полностью, но сглаживает её остроту [2].

С позиции сегодняшнего дня явным недостатком проекта является отсутствие датчиков контроля группы азота (аммонийного, нитритов и нитратов), фосфора как в биореакторах, так и на всех этапах

очистки сточной жидкости. Наличие датчиков контроля группы азота с помощью которых включаются и выключаются воздухоподогреватели позволило бы исключить нежелательные отклонения этих показателей от ПДК. Установка датчиков намечена на период проведения капитальной реконструкции очистных сооружений канализации.

В ходе наблюдения за работой вновь смонтированного песчаного фильтра удалось установить интересную закономерность, позволяющую определить качество промывки фильтрующей загрузки [3]. Так, при идеальной промывке концентрация фосфора после фильтра снижается на 0,3–1,5 мг/л; эффект изъятия тем выше, чем выше количество мелких кристалликов ортофосфорной кислоты поступает на фильтр со сточной жидкостью. При нормальной промывке концентрация фосфора до и после фильтра остается неизменной, при некачественной промывке концентрация фосфора после фильтра увеличивается на 0,3–2 мг/л. При обнаружении некачественной промывки фильтр промывается в ручном режиме, а затем переводится в автоматический.

В аэробном стабилизаторе насыщение сточной жидкости кислородом производится эрлифтом, диффузор которого находится на высоте примерно 1 м от дна. Практика эксплуатации показала, что эрлифт не только повреждает механически стабилизируемый осадок (разрушает хлопок ила и травмирует простейших-индикаторов), но малоэффективен по насыщению иловой смеси кислородом. Более того, при критическом снижении уровня осадка в стабилизаторе его насыщение

кислородом прекращается. Концентрация растворенного кислорода в этом сооружении, как правило, составляет 0,5–1 мг/л, что явно недостаточно для аэробных процессов. Осадок практически не уплотняется даже при его концентрации 6–8 г/л из-за его сильной дисперсии. Замена системы распределения воздуха на средне-пузырчатую аэрацию намечена на период проведения капитальной реконструкции компактной установки.

Частым нарушением работы фильтр-пресса является сползание осадка с ленты и скапливание осадка, проникающего через поры фильтровальной ленты под последними валиками. Факторов, вызывающих неудовлетворительную работу фильтр-пресса достаточно много. Прежде всего, это недостаток или избыток вводимого флокулянта, использование старого флокулянта, некачественная промывка верхней и нижней лент из-за засорения форсунок или недостаточного давления подаваемой технической воды, затирание фильтровальных лент, низкого значения рН обезвоживаемого осадка и наличия в нём большого количества мелких несоагулированных частиц. Накопленные в процессе эксплуатации знания основных причин нарушения работы фильтр-пресса позволяют эксплуатации исключать их повторения путем своевременного проведения профилактических работ.

В таблице 1 приводятся данные по эффективности работы компактной установки по усредненным годовым данным поступающей и очищенной сточной жидкости за период с 2014 по 2017 гг.

Таблица 1.
Показатели поступающей и очищенной сточной жидкости

№	Показатель	Значение показателей сточной жидкости		
		поступающая	очищенная	ПДК при сбросе в водоём
1.	Взвешенные вещества, мг/л	2100–2600	0–0,5	2
2.	БПК _{полн.} , мг/л	2300–2700	2,5–3,5	3
3.	ХПК	3200–4500	30–50	30
4.	Группа азота:			
	азот общий, мг/л	120–160	–	–
	аммонийный азот, мг/л	0,2–0,6	0,04–0,15	0,4
	нитриты, мг/л	отсутствуют	0,05–0,08	0,08
	нитраты, мг/л	отсутствуют	15–28	28
5.	Сульфаты, мг/л	50–90	7–25	58
6.	Фосфор (по Р), мг/л	20–40	0,2–0,4	0,2
7.	Хлориды, мг/л	50–70	50–70	80
8.	ПАВ, мг/л	10–20	0,25–0,35	0,41
9.	Жиры, мг/л	50–100	отсутствуют	отсутствуют
10.	Активная реакция (рН)	4,5–5,5	7,5–8,5	6,5–8,5
11.	Температура, °С	20–40	20–35	не более 40

Как видно из таблицы 1, качество очистки практически по всем показателям отвечает ПДК,

исключение составляет показатель по ХПК, значение которого всегда выше нормы, что

обусловлено наличием в стоках остаточной концентрации труднорастворимых органических загрязнений, в том числе лигнина. По другим показателям, например, взвешенным веществам, аммонийному азоту, сульфатам ПАВ значения показателей намного ниже ПДК. ПАВ представлены в основном сапонинами, которые относятся к естественным вспенивателям, которые при концентрации 0,41 мг/л не образуют пены в водоёме при любой волне.

ВЫВОД

После устранения большей части имевшихся проектных недоработок и предотвращения ситуаций, вызывающих нежелательные явления, компактная установка способна обеспечить требуемую степень очистки стоков при их сбросе в рыбо-хозяйственный водоём I или II категории. Предстоящая в ближайшие 2–3 года капитальная реконструкция компактной установки позволит значительно стабилизировать её работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2593877 Российская Федерация, МПК С 02 F 9/04, С 02 F 1/58, С 02 F 101/10, С 02 F 103/28, С 02 F 103/32. Способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов [Текст] / Г.Т. Амбросова, Е.Н. Матюшенко, К.П. Гавриленко, М.Ю. Немшилова, К.А. Разгоняева.; заявитель и патентообладатель НГАСУ (Сибстрин). – № 2014144829/05; заявл. 05.11.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. – 9 с.

2. Амбросова Г.Т. Сравнительная оценка применяемых методов удаления фосфора из сточной

жидкости / Г.Т. Амбросова, А.А. Функ, С.Д. Иванова, Ш. Ганзориг // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016, №2. – С. 25–36.

3. Ambrosova Galina, Matyushenko Evgeny, Funk Anna. On the question of reduction of phosphates. Proceeding of 8th International Conference Contemporary Problems of Architecture and Construction. Yerevan, Armenia, October 26–28, 2016. – pp. 7–9.

REFERENCES

1. Pat. 2593877 Russian Federation, IPC C 02 F 9/04, C 02 F 1/58, C 02 F 101/10, C 02 F 103/28, C 02 F 103/32. Method of purification of waste fluid from phosphates and sulphates [Text] / G.T. Ambrosova, E.N. Matyushenko, K.P. Gavrilenko, M.Yu. Nemshilova, K.A. Razgonyaev; the applicant and the patent holder of the NSASU (Sibstrin). - No. 2014144829/05; claimed. 11/05/2014; publ. August 10, 2016, Bul. № 22. - 9 with.

2. Ambrosova G.T. Comparative evaluation of the applied methods of phosphorus removal from the sewage liquid / G.T. Ambrosova, A.A. Funk, S.D. Ivanova, Sh. Ganzorig // Water supply and sanitary engineering. - 2016, №2. - P. 25-36.

3. Ambrosova Galina, Matyushenko Evgeny, Funk Anna. On the question of reduction of phosphates. Proceeding of the 8th International Conference of Contemporary Problems of Architecture and Construction. Yerevan, Armenia, October 26-28, 2016. - pp. 7-9.

G.T. Ambrosova, E.N. Matyushenko, N.V. Sineeva

COMPACT PLANT FOR CLEANING THE STOCK OF THE ENTERPRISE OF THE FOOD INDUSTRY

Summary. This article describes the brief characteristics of treatment technology of high-concentrated industrial wastewater of a food industry enterprise and defines sludge treatment peculiarities in a compact plant. Design shortcomings and their impact on the treatment quality and the work stability of the complex are listed, recommendations for their elimination are given. The article describes common violations in the installation, as well as the reasons of their occurrence and ways of their elimination. Data for the concentration of pollutants in incoming and purified wastewater are indicated, admissible concentration limits (ACL) of these indicators in wastewater before dumping it into a water body are analyzed.

Key words: compact plant, bioreactor, wastewater treatment, phasparus removal, nitrification, denitrification.

УДК 551.435.627

РОЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕРРИТОРИИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

Ефремов В.А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181

Аннотация. Рассмотрена целесообразность применения механизма оценки поведения оползня в различных ситуациях с помощью методов, базирующихся на теории случайных величин и процессов; проанализированы неожиданности, которые могут встречаться при выборе участков статистического натурного наблюдения для определения параметров, влияющих на механизм поведения оползня, рассмотрен алгоритм определения характеристик случайных процессов через соответствующие функции, изображенные через математическое ожидание.

Ключевые слова: поведение оползней; статистические методы; случайные величины и процессы; параметры влияния; алгоритм определения; математическое ожидание.

ВВЕДЕНИЕ

Комплекс наблюдений поведения оползня при подготовке строительной площадки — процесс весьма сложный, так как здесь нельзя применить методы, разработанные на основании натурных наблюдений на одном из участков оползня. Скажем, для изучения процесса наблюдений поведения оползня и разработке по результатам исследования методов управления его поведением, необходимо провести множество наблюдений: за уровнем химизма подземных вод; за характером и скоростью смещения оползня; за изменением напряженно-деформированного состояния пород; за эффективностью дежурного инженерно-геологического надзора состояния важных объектов хозяйствования и пр.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

К числу авторов научных работ, которые анализировались в процессе написания статьи, автор относит: Анисимову Т.И., Древетняк А.А. [1], рассматривающих вопросы моделирования экономической оценки рекреационных земель в оползневых зонах с учетом определения их главных характеристик; Васильева Е.А., Павловскую О.Г. [2], рассматривающих исследования динамических процессов оползневых зон; Гуляева Ю.П. [3], рассматривающего проблемы деформации сооружений в оползневых зонах строительства; Кривогуз Д.О. [4], рассматривающего возможность применения метода двумерного статистического анализа для определения оползневой чувствительности восточной части Керченского полуострова; Кривогуз Д.О., Малько С.В., Семенову А.Ю. [5], рассматривающих динамику оползневых процессов и деятельность по улучшению развития Республики Крым; Смирнова Н.В., Дунина И.В. занимавшихся описанием технических приложений; Лазарева В.М. [7], рассматривающего процессы природного и технико-природного характера, отрицательно

влияющие на устойчивость хозяйственных процессов; Павловскую О.Г., Хорошилову В.С. [8], рассматривающих применение статистических методов исследований оползневых процессов на основе геодезических наблюдений; авторы, участвовавшие в Международной практической конференции «Проблемы снижения природных опасностей и рисков» [9], излагающие широкий круг вопросов по количественному анализу природных и техногенных рисков; Румшицкого Л.В. [10], где автор интересовался элементами теории вероятностей в применении их для оценки природных и техногенных катастроф; Симоняна В.В. [11], исследующего проблемы оползневых смещений на основе использования теории случайных функций; Шмойлову Р.А. [12], рассматривающую практические примеры, решаемые на основе теории статистики.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель статьи — проанализировать эффективность применения статистических методов, базирующихся на теории случайных величин, для оценки поведения оползней в конкретных условиях.

Сейчас, как правило, указанные зависимости определяются методами, базирующимися на теории случайных величин, с помощью которых логически определяются конечные результаты исследований. Однако насколько эффективны эти методы, рассмотрим ниже.

Главными элементами в данных методах являются события и количественная характеристика, определяющая вероятность их появления. При этом под событием подразумевается всякий факт, который может произойти или не произойти на изучаемой площади оползня. Следовательно, для количественного сравнения событий между собой по степени возможности их проявления, каждому из них нужно поставить в соответствие определенное число случайных величин,

характеризующих исследуемые явления. Они могут принимать различные значения, которые заранее указать нельзя, вследствие изменения их случайным образом от обследования к обследованию. Однако одного перечня случайных величин еще недостаточно для тех или иных выводов. Нужно еще знать, как часто, то есть с какой вероятностью они принимают соответствующие значения.

И еще одну особенность случайных величин следует отметить — их основной характеристикой является функция распределения при исследовании поведения оползня, как правило, заранее она не известна, вследствие чего возникает необходимость определять ее по эмпирическим данным. При этом во многих случаях, исходя из некоторых дополнительных соображений, может быть выдвинута гипотеза (предположение) о виде функции распределения, а из опытных (экспериментальных) данных определяются параметры распределения. Саму же выдвинутую гипотезу необходимо проверить по эмпирическим данным, то есть по выборке. Таким образом, нужны критерии, которые позволили бы судить, согласуются ли наблюдаемые значения x_i ($i=1, 2, \dots, n$) случайной величины X с гипотезой о ее функции распределения. В математической статистике для этой цели используются критерии согласия, из которых наиболее популярными являются критерии χ^2 (Пирсона), Колмогорова, Мизеса.

Каждое прикладное исследование, связанное со случайными явлениями, требует осуществления эксперимента, в результате которого получают опытные (статистические данные). Разработка методов регистрации, описания и анализа опытных данных, получаемых в результате наблюдений массовых случайных явлений, составляет предмет прикладной науки — математической статистики, которая дополняет теорию вероятности. Одной из основных задач математической статистики является определение закона распределения случайных величин. Обычно она включает следующие этапы:

представления экспериментальных (статистических) данных в форме статистического ряда;

определение параметров закона распределения; проверка согласия теоретического и статистического распределения по критериям согласия;

построение графика теоретической кривой распределения, если это необходимо.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Теперь, когда мы знаем, что слова «случайная величина» в обыденном смысле употребляют тогда, когда хотят подчеркнуть неизвестность конкретного значения этой величины, попробуем

разобраться в её математической интерпретации, так как в математике в эти же слова «случайная величина» вкладывается вполне определенный положительный смысл. То есть, с математической точки зрения, не зная какое значение примет эта величина в данном конкретном случае, известно какие значения, она может принять и каковы, вероятности тех или иных значений.

И хотя на основании этих данных нельзя точно предсказать результаты одного наблюдения, связанного с этой случайной величиной, но возможно весьма надежно предсказать совокупность результатов на основе большого числа наблюдений.

Итак, запомним важное, — чтобы делать необходимые обобщения на основании множества случайных величин, необходимо знать какие значения они могут принимать и каковы вероятности этих значений.

Теперь приведем здесь энциклопедическое понятие — «случайная величина» — это, «поддающаяся измерению скалярная или векторная величина определенного физического смысла, значения, компоненты которой, подвержены некоторому неконтролируемому разбросу при повторениях исследуемого эксперимента. Можно также сказать, что случайная величина f — это функция, определенная на множестве элементарных событий — ω , то есть, $\xi = f(\omega)$. Если случайная величина принимает конечное или счетное число попарно различных значений x_1, x_2, \dots, x_n с вероятностями p_1, \dots, p_2, \dots , то её называют дискретной. Случайная величина называется непрерывной, если ее функция распределения непрерывна.

В зависимости от своей природы, своего назначения одномерные дискретные величины подразделяются на количественные, ординальные (или порядковые) и номинальные (или классификационные). Количественная случайная величина позволяет измерять степень проявления анализируемого свойства обследуемого объекта в определенной шкале. Ординальная случайная величина, позволяет упорядочивать обследуемые в ходе случайных экспериментов объекты, по степени проявления в них анализируемого свойства. Номинальная случайная величина, позволяет разбить обследуемые в ходе случайных экспериментов объекты, на не поддающиеся упорядочению однородные по анализируемому свойству классы. Примерами могут служить: f_1 — среднедушевой доход семьи (количественная случайная величина), f_2 — качество жилищных условий (например, с четырьмя градациями — «плохое», «удовлетворительное», «хорошее» и «очень хорошее») — ординальная случайная величина; f_3 — профессия главы семьи — номинальная случайная величина.

Такое детальное рассмотрение случайной величины, как одного из основных понятий теории вероятности и статистических методов

исследования, позволяющих моделировать любой процесс, на протекание которого влияют случайные факторы, необходимые, чтобы выявить насколько правомерно применение аппарата исследований, базирующегося на положениях о случайных величинах в теории и прикладных вопросах механизма поведения оползней.

Рассмотрим, какие положения в аппарате основном на теории случайных чисел нельзя нарушать при обследовании поведения оползней.

Начнем с того, что в предметах исследования статистическими методами могут присутствовать случайные величины, как казуального характера, которые не поддаются обобщению (единичный случай, или величина, в которой нельзя определить количественные характеристики) и нормальные, то есть случайные величины поддающиеся обобщению (множественность повторений, и у которых имеется возможность определить количественные характеристики). Учитывая, что в статистике такая классификация случайных величин отсутствует, случайные величины казуального характера, количество которых при статических измерениях для обоснования тех или иных сторон поведения оползней, встречаются в большом количестве, могут попадать в ряды статистических наблюдений.

Теперь рассмотрим, какие неожиданности могут встретиться при выборе участка статистического натурального наблюдения для определения тех или других параметров, влияющих на механизм поведения оползней.

Выбор участка статистического натурального наблюдения — первая стадия статистического исследования, представляющая собой процесс сбора первичных данных о различных процессах поведения оползней. Здесь под статистическим подразумевается лишь такое наблюдение, которое обеспечивает регистрацию фактов фиксируемых тем или иным прибором для последующего обобщения.

Выбор участка производится после произведенных инженерно-геологических обследований территории оползней; создания и проверки классификационных схем поведения оползней, организации решения сети и получения результатов режимных наблюдений. Данные работы включают изучение геолого-геоморфологических условий; динамику оползней; физико-механических свойств пород; гидрогеологических условий и режима подземных вод; кинематику оползней; уровня напряженности состояния пород на склоне; параметров техногенного воздействия на склон; особенности строения оползневой склона.

В тоже время при выборе участка (массива) статистических натуральных наблюдений за поведением оползней, нарушается основной принцип статистических наблюдений, который гласит, что выбираемый участок оползней должен быть типичным для всех оползней региона соответствующего вида, где на основе

обобщенных результатов обследования можно делать определенные выводы для оценки поведения оползней данного вида. Однако на оползневых территориях идентичных участков не существует. Поэтому если мы проводим, скажем, обследование химизма подземных вод в период интенсивного развития оползневого процесса на основе показаний некоторого количества скважин, оценочные показатели нельзя использовать на других участках оползней потому, что там будут совершенно другие случайные величины, со своими количественными характеристиками, которых мы не знаем. Это же касается и других случайных величин поведения оползней. Кроме того количественную характеристику скрытых случайных величин мы определить не можем — о них мы знаем только то, что они существуют и должны проявиться на соответствующем этапе активизации оползней. Мало того, что в результате аппроксимации разбросанных случайных величин, полученные результаты могут использоваться для характеристики только обследуемого участка, так и рекомендации будут вероятностного характера — это может или не может произойти.

Рассмотрим как выполняется требование о полноте статистических данных (о полноте охвата единиц изучаемой совокупности сторон того или иного явления, а также полноты охвата во времени).

В основном, при натуральных статистических обследованиях того или иного участка, в основном, рассматриваются случайные переменные, обладающие количественными значениями в соответствующих интервалах, с учетом определения возможностей использования земель под строительство объектов, расположенных на оползнях. Это могут быть разного рода признаки функционального назначения — местоположение, сохранение пейзажа, наличие инженерных сетей и др. Однако, для введения таких переменных в регрессивную модель их необходимо преобразовывать в количественные. Этот процесс не совсем прост, а в оползневых условиях вообще трудноосуществим, так как здесь будут действовать разнонаправленные факторы.

При обследовании участка оползней с целью использования земель для строительных нужд, количественные случайные данные включают в себя данные, отдельные значения которых, полученные в результате измерения выражаются определенными числами.

В процессе обследования поведения оползней, весьма трудно определить, по какой шкале идет измерение. В зависимости от этого экспертные оценки могут содержать больший или меньший объем информации и обладать различной способностью к математической формализации. Различие объемов информации имеет существенное влияние для использования случайных величин в статистическом моделировании, так как здесь пригодны только такие данные, которые можно представить в виде

случайных переменных, принимающих числовые значения.

При обследовании поведения оползня надо помнить, что в современной теории измерения существует несколько основных видов шкал наименований: порядковая (рангов) интервальная, сравнение обычно отношений и абсолютная.

Первые две шкалы являются качественными, и на них не будем акцентировать внимание, потому что в них отсутствуют понятия начало отсчета и масштаба времени, что не приемлемо для обследования поведения оползня. Третья шкала сравнения объекта не приемлема для оползневого участка. Следовательно, здесь должны использоваться шкалы, применимые к количественным признакам, они классифицируются по объему допустимых операций над случайными числами, по особенностям выбора точки отчета и масштаба. То есть, количественные шкалы позволяют определить насколько (шкалы интервалов и разностей) или во сколько (шкалы отношений и абсолютная) один объект отличается от другого по выбранному показателю. Однако, выполнить требования шкалы интервалов в процессе обследования оползня в сравнении объектов обследования невозможно, так как идентичного объекта не существует, а процессы определяющие поведение оползня характерны по количественной оценке, только для данной оценки. Следовательно, обобщать их для выявления поведения оползня на другом участке бессмысленно — они пригодны для выявления поведенческих характеристик только для обследования данного участка.

Шкала интервалов предназначена для отражения величин свойств обследуемого участка. В целом данная шкала может применяться в обследовании оползней, однако обосновать равенство интервалов весьма проблематично.

Абсолютная шкала характерна тем, что в ней принимается нулевая точка отсчета и единичный масштаб. Она применяется при измерении количества параметров, влияющих на характер поведения какого-либо процесса.

Выбор той или иной шкалы измерения определяется наличием информации об измеряемом признаке и целями измерения. Применение количественных шкал требует значительно более полной информации об оползне по сравнению с применением качественных шкал. Кроме того, следует обращать внимание на правильное согласование выбираемой шкалы измерения с целями исследования.

При исследовании поведения оползня, в первую очередь, при построении регрессионных моделей, необходимо определить качественные характеристики факторов, влияющих на поведение оползня. После чего надо рассмотреть несколько способов преобразования качественных переменных в количественные.

Здесь надо исходить из того, что при изучении влияния рассматриваемого фактора на поведение оползня, он имеет два качественных

признака, — реальное, положительное и отрицательное влияние на поведение оползня. При этом наличие признака — кодируется, а отсутствие 0. Следовательно, признак закодированный (1), может принимать несколько значений (n), каждое из которых, в свою очередь указывает на наличие или отсутствие указанного свойства. Как правило, мы исследуем поведение оползня с точки зрения функционального использования поверхностных земель для застройки, а также с целью сокращения степени вероятности разрушения объектов хозяйствования в зоне возможной активизации оползня.

В регрессивной модели необходимо отразить влияние функционального назначения на величину убытка, который может быть получен в момент активизации оползня.

Здесь влияние можно отразить, вводом бинарных переменных:

$X_1 = I$ — отражает факт принадлежности используемого фактора к i -му виду оползней, $x = 0$ — в противном случае.

$X_2 = I$ — отражает факт принадлежности используемого фактора именно к конкретному оползню $m \in i$.

Однако следует уточнить, что модель, построенная с использованием подобных групп бинарных переменных, может применяться для оценки влияния исследуемых факторов на поведение оползня только на конкретном его участке, то есть нельзя аппроксимированную нормаль использовать даже на других участках кроме обследуемого участка того же оползня. То есть, сам недостаток использования бинарных переменных — необходимость ввода для каждого пункта шкалы наименований отдельной переменной, указывает на то, что этот метод для обследования закономерностей поведения оползней не приемлем. Это еще подтверждает и тем, что при количественном множестве факторов сравнить не с чем, участков — аналогов не существует. Значит, оценить, хотя бы примерную правильность параметров данного управления регрессии — невыполнимая задача. Она не вписывается в рамки требований применения статистических методов.

Ведь проверка модели, на ее правильность определения существует для выяснения того соответствует ли модель для отражения определенных ситуаций поведения оползня, как реальной системы. Кроме того, проверка на адекватность позволяет убедиться, что решение, полученное в рамках построенной модели, имеет смысл и интуитивно приемлемо. Следовательно, общепринятым методом проверки адекватности модели является сравнение полученного решения (поведение модели) с известными ранее решениями или поведением реальной системы. Модель считается адекватной, если при определенных начальных условиях ее поведение совпадает с поведением исходной системы при тех же начальных условиях, однако реальной модели поведения оползня не существует.

Следующим затруднением использования экономико-статистических методов для обследования закономерностей поведения оползня является создание информационного банка данных о геологической среде оползня.

Информационная база геологической среды является основой разработки механизма поведения оползня, связующим звеном разномасштабных моделей, позволяющих при определенном количестве и качестве информации получить достоверное представление о состоянии оползня и выработать соответствующие положения об оценке влияния различных факторов на оползень как систему. Наличие информации о состоянии оползня позволяет в кратчайшие сроки получать необходимый справочный материал, на базе которого решаются задачи состояния, прогноза активизации оползня и оперативно решать задачи моделирования поведения оползня при его выходе из устойчивого или неустойчивого равновесия.

К сожалению, при изучении геологической среды и оценки развития геологических процессов оползня трудно использовать преимущество информационной базы и вот почему:

практически почти все случайные величины характеризующие состояние обследуемого участка оползня скрыты от наблюдения, скажем 8-10 метров толщей наносных пород, о которых наблюдатель знает только то, что они существуют, а как и когда они будут проявляться неизвестно. Такие случайные переменные необходимо относить в разряд «казуальных», то есть не поддающихся обобщению даже в площади исследуемого участка. Они должны исключаться из площади разброса случайных величин, подготавливаемых для аппроксимации:

создание банка данных о геологической среде оползня должно базироваться на выражении «дорога ложка к обеду — только неизвестно, когда будет обед», то есть когда оползень начнет переходить от покоя в активное состояние никто не знает. Оползень может находиться в покое десятками лет. Следовательно, если банк данных сформирован, скажем, пятнадцать лет назад, его информационные данные будут не пригодны для сравнения состояния оползня перед катастрофой и непосредственно после нее;

полученный банк данных, характеризующих состояние исследуемого участка для оценки геологического состояния любого другого участка оползня, не пригоден. Там совсем другие характеристики их геологического состояния.

Формирование же банка данных только для исследования одного участка — слишком дорогое мероприятие.

Сейчас широкое распространение получили методы создания информационных банков данных на базе использования ЭВМ при исследовании природных систем. Считается, что наличие таких информационных систем дает возможность оперативно решать ряд прогнозных и справочных задач. Однако формирование исходных данных для решения этих задач остается неизменным. А

так как ЭВМ — это мельница, в которую если засыпать качественную пшеницу на выходе получишь качественную муку, а засыплешь лебеду и получишь молотую лебеду.

Этот пример показывает, что ЭВМ качество исходной информации не улучшит.

Далее посмотрим, насколько проводимые наблюдения соответствуют основным требованиям к статистическим наблюдениям массовости и стабильности. Как правило, массовость наблюдения достигается за счет увеличения времени наблюдения и расширения площади участка оползня, на котором предполагается проводить натурные наблюдения.

Оба этих требования при обследовании *i*-го участка оползня выполнить трудно потому, что расширение резко увеличивает затраты на проведение данного процесса. А, учитывая, что выводы по наблюдениям обобщать и использовать для других участков нельзя, резко увеличивать затраты по обследованию участка не целесообразно. Нельзя обеспечить массовость и за счет увеличения времени обследования, так как управляющие параметры и случайные величины, характеризующие состояние оползня, постоянно меняются. Нельзя в полной мере обеспечить и второе требование — стабильность, то есть неизменность, так как однажды собранная информация способна устаревать, следовательно, необходимо получать новую.

Кроме того, трудно организовать в классической форме и статистическое наблюдение, обеспечивающее регистрацию устанавливаемых факторов для последующего обобщения, планомерность статистических наблюдений, то есть организации, техники сбора информации, формирования итоговых результатов.

Практически невозможно организовать системность наблюдения за состоянием оползня, которое предусматривает проведение его обследования непрерывно и регулярно, так как такой подход позволяет изучить тенденции и закономерность поведения оползня как в спокойном, так и в активном состоянии. Проблематично соблюсти и другие важные требования в процессе статистического обследования оползня, к которым относятся:

полнота статистических данных (полнота охвата единиц изучаемой совокупности сторон того или иного явления, а так же полнота охвата во времени;

достоверность и точность данных, обеспечивающих их соответствие фактическому положению;

единообразие и сопоставимость данных, позволяющих проводить их обобщение.

При проведении исследований состояния оползня возникают в основном задачи вероятностного характера, которые не требуют характеризовать случайную величину исчерпывающим образом. Здесь бывает достаточно определить ее отдельные числовые

характеристики, позволяющие в сжатой форме выразить наиболее существенные особенности поведения оползня. Это дает возможность сравнительно просто решать многие практические задачи, оставляя в стороне законы распределения и оперируя одними числовыми характеристиками. В свете вышеизложенного автор пришел к выводу, что при обследовании поведения оползней целесообразно отказать от числовых характеристик случайных величин, представляющих собой случайные числа, а перейти к изучению характеристик случайных процессов соответствующей функции.

Здесь функция $m_x(t)$ — значение которой при каждом значении аргумента во времени t равно математическому ожиданию соответствующего состояния случайного процесса ($m_x(t) = M[X(t)]$).

Для описания процесса математического ожидания определяют три величины: математическое ожидание случайного процесса; дисперсию случайного процесса; корреляционную функцию.

При определении математического ожидания случайного процесса, выбирают ряд состояний процесса, обычно с одинаковым шагом при фиксированном значении аргумента во времени, то есть $t_1; t_1 + \Delta t; t_1 + 2\Delta t; \dots$, и в каждом из них вычисляют математические ожидания $M[X(t_1)], M[X(t_2)], \dots$, которые затем наносят на график или подвергают дальнейшей обработке до получения аналитической зависимости.

Таким образом, математическое ожидание случайного процесса есть некоторая средняя функция, около которой по-разному варьируются конкретные реализации случайного процесса.

Дисперсия случайного процесса $X(t)$ как неслучайная $D_x(t)$ значение которой для каждого t равно дисперсии соответствующего состояния случайного процесса записывается следующим образом:

$$D_x(t) = D[X(t)]$$

То есть дисперсия случайного процесса при фиксированном значении аргумента во времени t характеризует разброс возможных реализаций случайного процесса относительно среднего значения. Среднее квадратическое отклонение случайного процесса $\sigma_x(t) = \sqrt{D(t)}$.

Математическое ожидание и дисперсия — весьма важные характеристики случайного процесса, однако для описания основных его особенностей их недостаточно. Например, при рассмотрении двух случайных процессов $X_1(t)$ и $X_2(t)$ с примерно одинаковыми математическими ожиданиями и дисперсией. Скажем случайная функция $X_1(t)$ может происходить при резких колебаниях. Если случайная функция $X_1(t)$ в точке отсчета времени t_1 примет значение, заметно превышающее среднее, то весьма вероятно, что и в точке отсчета времени t_2 она примет значение больше среднего.

Таким образом, для $X_1(t)$ характерна явная зависимость между различными состояниями по

мере увеличения времени t . Во второй функции $X_2(t)$, напротив, зависимость между ее значениями по мере увеличения времени t между ними быстро затухает. Следовательно, различие между случайными процессами $X_1(t)$ и $X_2(t)$ проявляется в характере связи между значениями функции для различных аргументов во времени t_1 и t_2 , которая не улавливается ни математическим ожиданием, ни дисперсией. Поэтому для описания внутренней структуры случайного процесса используется специальная характеристика, называемая *корреляционной функцией* (иначе *автокорреляционной функцией*).

Рассмотрим два состояния случайного процесса $X(t)$, относящиеся к различным периодам времени t_1 и t_2 , то есть две случайные величины $X(t_1)$ и $X(t_2)$, разделенные интервалом времени ($t_2 - t_1$). Очевидно, при близких значениях $t_2 - t_1$ эти случайные величины связаны тесной зависимостью: если $X(t_1)$ приняла какое-то значение, то и величина $X(t_2)$, с большой вероятностью, примет значение близкое к нему.

Однако с увеличением интервала между состояниями во времени t_1 и t_2 зависимость между величинами $X(t_1)$ и $X(t_2)$ должна уменьшиться. Чтобы учесть связь между значениями случайного процесса при различных значениях аргумента, необходимо задать, кроме дисперсии, корреляционный момент значений случайного процесса, соответствующий всем возможным парам значений аргумента. Очевидно, если менять пары значений во времени t_1 и t_2 аргумента случайного процесса $X(t)$ или интервалы между значениями t_1 и t_2 , то изменится и корреляционный момент, являющийся функцией двух аргументов во времени t_1 и t_2 .

На основании выше приведенного можно сделать вывод, что наиболее приемлемым подходом к изучению закономерностей поведения оползней в процессе их активизации является математическое ожидание, базирующееся на положениях теории случайных процессов.

Здесь для решения вероятностной задачи поведения оползня не требуется характеризовать случайную величину исчерпывающим образом с определением законов ее распределения. Достаточно определить ее отдельные числовые характеристики, позволяющие в сжатой форме выразить наиболее существенные особенности распределения. Это дает возможность сравнительно просто решить указанную задачу, оставляя в стороне законы распределения и оперируя числовыми характеристиками.

Изучение оползневых явлений с использованием случайных величин характеризуется достаточной простотой, наглядностью и практичностью. В частности, определение числовых характеристик случайных величин (математического ожидания, дисперсии, моментов высших порядков), а также построение законов распределения позволяют решать круг задач, связанных с исследованием динамики поведения оползня в период его активизации.

Однако, и этот подход, ограничиваясь рассмотрением случайных явлений, как бы в статике, в каких-то фиксированных постоянных условиях, для выявления оползневых процессов оказывается недостаточным, так как здесь чаще встречаются явления, в которых случайность проявляется в форме процесса, то есть случайная величина меняет свое значение в ходе натурального обследования в зависимости от каких-либо аргументов (например, высота неровностей профиля, основы движения оползня в зависимости от длины участка). В отличие от случайной величины, *функция, значение которой при каждом значении аргумента во времени t (или нескольких аргументов) является случайной величиной, называется случайным процессом.*

В оползневом действии, случайный процесс может зависеть от нескольких параметров (аргументов). Однако здесь, мы ограничиваемся рассмотрением случайных процессов, зависящих лишь от одного аргумента — от времени (t). Поэтому в дальнейшем случайные процессы будем обозначать прописными буквами латинского алфавита с указанием в скобках аргумента, например $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$..., а возможные реализации — соответствующими малыми буквами $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$..., отмечая их в случае необходимости различными индексами. Например, в результате проведения n наблюдений над случайным процессом может быть получено n реализаций:

$$x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$$

При обследовании закономерностей поведения оползня рассмотрим его как динамическую систему Y , в которой на ее входе непрерывно поступают какие — то входные воздействия, под действием которых система изменяет свое состояние.

При исследовании оползня как системы возникают два вида задач, которые можно назвать «прямыми» и «обратными».

Прямая задача ставится следующим образом. На входе динамической системы с заданным оператором преобразования A возникает случайный процесс $X(t)$ с известными характеристиками (математическим ожиданием и корреляционной функцией). Необходимо определить аналогичные характеристики системы $Y(t)$, позволяющие вычислить спектр и дисперсию случайного процесса на выходе системы, а, следовательно, оценить точность состояния данной системы.

Обратная задача состоит в том, чтобы при заданных характеристиках случайного процесса на входе системы так выбрать коэффициенты уравнения, определяющие заданный оператор преобразования, чтобы ошибки (дисперсия) здесь была минимальной.

При решении такой задачи (выбора рациональных коэффициентов уровней) предполагается, что сам вид уравнения задан. Наибольший практический интерес представляет задача рационального выбора самого вида

уравнения, или задача об определении оптимального оператора динамической системы. Связанная с так называемым синтезом динамических систем, она успешно решается методами теории случайных процессов.

Таким образом, теория случайных процессов объединяет методы, позволяющие: а) по вероятностным характеристикам случайных процессов определять вероятностные характеристики случайных явлений, связанных с этими случайными процессами; б) обосновать способы определения вероятностных характеристик случайных процессов по их реализациям; в) находить воздействие случайных процессов на различные динамические системы с целью определения поведения заданной динамической системы.

Алгоритм решения задачи рассмотрим на примере случайных движений оползня, которые можно описать синусоидальными функциями, представляющими собой синусоиды одной и той же частоты элементарных событий одной и той же частоты ω с различными амплитудами A_i и начальными фазами Φ_i .

$$X(t) = A_i \sin(\omega t + \Phi_i) \quad (1)$$

где i — номер реализации.

Синусоидальный случайный процесс можно представить как линейную функцию двух некоррелированных случайных величин Z и U с коэффициентами, соответственно равными $\sin \omega t$, $\cos \omega t$ то есть

$$X(t) = Z \sin \omega t + U \cos \omega t \quad (2)$$

Введем замену:

$$Z = A \cos \Phi, U = A \sin \Phi \quad (3)$$

тогда

$$X(t) = A \cos \Phi \sin \omega t + A \sin \Phi \cos \omega t = A(\sin \omega t \cos \Phi + \sin \Phi \cos \omega t)$$

Таким образом, синусоидальный случайный процесс можно представить в виде синусоид одной и той же частоты ω с различными амплитудами и начальными фазами (1) или в виде линейной функции двух некоррелированных случайных величин с коэффициентами $\sin \omega t$, $\cos \omega t$ (2).

Для описания поведения оползня, более удобным является разложение по тригонометрическим функциям (3).

Математическое ожидание $m_x(t)$ случайного процесса $X(t)$ представляет собой линейную функцию математических ожиданий m_Z и m_U случайных величин Z и U с теми же коэффициентами, то есть:

$$m_x(t) = m_Z \sin \omega t + m_U \cos \omega t$$

Дисперсия линейной функции некоррелированных случайных величин равна сумме дисперсий этих случайных величин, умноженных на квадраты соответствующих коэффициентов, то есть:

$$D_x(t) = D_Z \sin^2 \omega t + D_U \cos^2 \omega t$$

Корреляционный момент (K_x) двух линейных функций одних и тех же некоррелированных случайных величин равен сумме дисперсий этих случайных величин, умноженных на произведение соответствующих коэффициентов, то есть:

$$K_x(t_1, t_2) = D_z \sin \omega t_1 \sin \omega t_2 + D_u \cos \omega t_1 \cos \omega t_2$$

В частном случае, когда $D_z = D_H = D$,

$$K_x(t_1, t_2) = D(\sin \omega t_1 \sin \omega t_2 + \cos \omega t_1 \cos \omega t_2) = D \cos \omega(t_1 - t_2)$$

Дисперсию случайного процесса $X(t)$ можно определить, полагая, что $t_1 = t_2 = t$ из следующего выражения:

ВЫВОДЫ

1. Доказывается, что при обследовании поведения оползней статистические методы, базирующиеся на теории случайных величин, с помощью которых логически определяются конечные результаты обследования – не приемлемы.

2. Обосновывается целесообразность перехода, при обследовании поведения оползней, к методу исследований характеристик случайных процессов через соответствующие функции, изображаемые через математическое ожидание.

3. Предложен алгоритм описания соответствующего состояния случайного процесса в поведении оползня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова, Т. И. Судебно-экспертная оценка рекреационных земель, расположенных в оползневых зонах Крыма / Т. И. Анисимова, А. А. Дереветняк. — [Электр. ресурс]. Режим доступа: Archive.nbuv.aov.ua/portal/soc/cum/krice/2009_5519.Pdf

2. Васильев, Е. А. О повышении геодезических исследований динамики оползневых склонов [Текст] / Е. А. Васильев, Ю. П. Гуляев, О. Г. Павловская // Геодезия и картография. — 2010. — №9. — С. 6—9.

3. Гуляев, Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю. П. Гуляев. — Новосибирск: СГГА, 2008. — 256 с.

4. Кривогуз, Д. О. Применение метода двухмерного статистического анализа для определения оползневой чувствительности восточной части Керченского полуострова / Д. О. Кривогуз // XLIV Международная заочная научно-практическая конференция «Инновации в современном мире» [Сб. статей] — №12(43). — Ч. 2 — М.: Интернаука — 2015. — С. 7-12.

5. Кривогуз, Д. О. Оползневая деятельность, как угроза устойчивому развитию Республики Крым [Текст] / О. Д. Кривогуз, С. В. Малько, А. Ю. Семенова // Технические науки — от теории к практике. — 2016. — № 56. — С. 7-12.

$$D_x(t) = D \quad (4)$$

Из выражения (4) делаем заключение, что дисперсия синусоидального случайного процесса постоянна, если дисперсии случайных величин Z , U одинаковы.

Следовательно, с помощью тригонометрических функций $\sin t$, $\cos t$ можно описать любое состояние случайного процесса в поведении оползня и его математическое ожидание $m_x(t)$.

6. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин [и др.] — М.: Наука, 1969. — 512 с.

7. Лазарев, В. М. Опасные природные и технико-природные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природотехнических систем [Монография] / В. М. Лазарев, В. Е. Ольховатенко, М. Г. Рутман. — Томск: Печатная мануфактура, 2005. — 152 с.

8. Павловская О. Г. Статистические исследования оползневых процессов по результатам геодезических наблюдений [Текст] / О. Г. Павловская, В. С. Хорошилов // Вестник СГУГиТ. — 2011. — №3(16) — С. 15-19.

9. Проблемы снижения природных опасностей и рисков // Материалы Международной практической конференции «Геориск»: [Сб. статей], 2012. — в 2-х т. — М.: РУДН, 2012. — 318 с.

10. Румшицкий, Л. З. Элементы теории вероятности. — М.: Наука, 1971. — 256 с.

11. Симонян, В. В. Результаты исследования по определению оползневых смещений с использованием теории случайных функций [Текст] / В. В. Симонян // Геоинформатика и мониторинг земель. — 2007. — С. 188-192.

12. Шмойлова, Р. А. Практикум по теории статистики: [Учебное пособие для ВУЗов] / Р. А. Шмойлова [и др.]; под ред. Р. А. Шмойловой — М.: Финансы и статистика, 2007. — 416 с.

13. Ефремов, А. В. Виды катастроф в оползневом процессе [Текст] / А. В. Ефремов // Строительство и техногенная безопасность. — №51. — 2014. — С. 63-67.

REFERENCES

1. Anisimova, T. I. Forensic assessment of recreational land situated in landslide zones of the Crimea / T. I. Anisimova, A. A., Drevetnyak. — [Electr. resource]. Mode of access: Archive.nbuv.aov.ua/portal/soc/cum/krice/2009_5519.Pdf.

2. Vasiliev, E. A. On the increase in geodetic studies of the dynamics of landslide slopes [Text] / E. A. Vasiliev, Y. P. Gulyaev, O. G. Pavlovskaya // Geodesy and cartography. — 2010. №. 9. — P. 6—9.

3. Gulyaev, Yu. p. prediction of the deformation structures on the basis of geodetic observations [Text] / Yu. p. Gulyaev. — Novosibirsk: SSGA, 2008. — 256 p.
4. Krivoguz, D. O. The Application method of two-dimensional statistical analysis to determine landslide sensitivity the Eastern part of the Kerch Peninsula / D. O. Krivoguz // XLIV international correspondence scientific-practical conference "Innovations in the modern world" [SB. articles] — №12(43). — Part 2 — M.: Internauka — 2015. — P. 7—12.
5. Krivoguz, D. O. Landslide activity as a threat to sustainable development of the Republic of Crimea [Text] / O. D. Krivoguz, S. V. Malko, A. Y. Semenov // Technical science — from theory to practice. — 2016. — № 56. — P. 7—12.
6. Smirnov, N. V. Course of probability theory and mathematical statistics for technical applications [Text] / N. Smirnov, I. V. Dunin [and others] — M.: Nauka, 1969. — 512 p.
7. Lazarev, V. M. Dangerous natural and technonatural processes on the territory of Tomsk and their influence on stability printnamechange systems [Monograph] / V. M. Lazarev, V. E., Olkhovenko, M. G. Rutman. — Tomsk: Printing manufactory, 2005. — 152 p.
8. Pavlovskaya O. G. the Statistical study of landslide processes on the results of geodetic observations [Text] / O. G. Pavlovskaya, V. S. Khoroshilov // Bulletin of the SSGA. — 2011. — №3(16) — P. 15—19.
9. Problems of decrease in natural hazards and risks // proceedings of International practical conference "Georisk": [Coll. articles], 2012. — 2 T. — M.: PFUR, 2012. — 318 p.
10. Rumshiskii, L. H. Elements of the theory of probability. — M.: Nauka, 1971. — 256 p.
11. Simonyan V. V. The Results of investigations on the determination of landslide displacement using the theory of random functions [Text] / V. V. Simonyan // Geoinformatics and land monitoring. — 2007. — P. 188-192.
12. Shmoilova, R. A. Workshop on the theory of statistics: [textbook for Universities] / R. A. Shmoilova [et al.]; edited by R. A. Samoilovoi — M.: Finance and statistics, 2007. — 416 p.
13. Efremov, A. V. Types of disasters in landslide process [Text] / A.V. Efremov // Construction and technogenic safety. — № 51. — 2014. — P. 63-67.

Efremov A. V.

ROLE OF STATISTICAL METHODS TO ASSESS THE BEHAVIOR OF LANDSLIDES BY PREPARATION OF THE TERRITORY FOR CONSTRUCTION

Summary Reviewed the feasibility of the mechanism for assessing landslide in a variety situations using techniques based on the theory of random variables and processes; analyzes the unexpectedness that can occur during the selection segments of a static field observations to determine the parameters influencing the mechanism of landslide, considered the algorithm of definition the characteristics of random processes through the corresponding functions represented through mathematical expectation.

Key words: the behavior of landslides; statistical techniques; random variables and processes; impact parameters; detection algorithm; mathematical expectation.

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ
ДЖАРДЖАВЫ

Тимченко З.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181
E-mail: tim4enko . zin@yandex.ru

(Статья по проекту Программы развития КФУ ФГАОУ ВО
«КФУ им. В.И. Вернадского» - «ГИС-Ландшафт»)

Аннотация: Приводятся рассчитанные гидрографические и гидрологические характеристики неизученной реки Джарджавы, протекающей по территориям Ленинского района и г. Керчь Республики Крым. Река впадает в Керченскую бухту, в районе строящегося крымского моста. Река является неизученной, поэтому гидрологические расчёты проводились с использованием топографических карт, эмпирических формул. Гидрографическое описание выполнено на основании полевых обследований.

Ключевые слова: река, Джарджавы, Керченский полуостров, гидрографические и гидрологические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Река Джарджавы (Черчав Илгасы, овраг Джарджав, Восходовская, Сухая) протекает по территориям Ленинского района и г. Керчь, относится к группе водотоков Керченского полуострова.

**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Краткая характеристика рек и балок Керченского полуострова имеется в работах [3,4,6,7,8,9]. Климатические данные имеются в работе [7]. Следует отметить, что гидрологический режим рек и балок Керченского полуострова не изучен.

Методом исследований является анализ литературных данных и их систематизация, а также

определение гидрографических характеристик по топографическим картам и последующий расчёт гидрологических характеристик, используя рекомендации, изложенные в [5]. Летом 2017 г. было проведено обследование реки с замерами расходов воды по длине реки, в шести точках (рис.1).

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – определение гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений. Задачи: описание водосборного бассейна, поймы, русла; определение гидрографических и гидрологических характеристик.

Работа проводилась по заданию ООО «Аналитический центр «ЭКО-Эксперт».

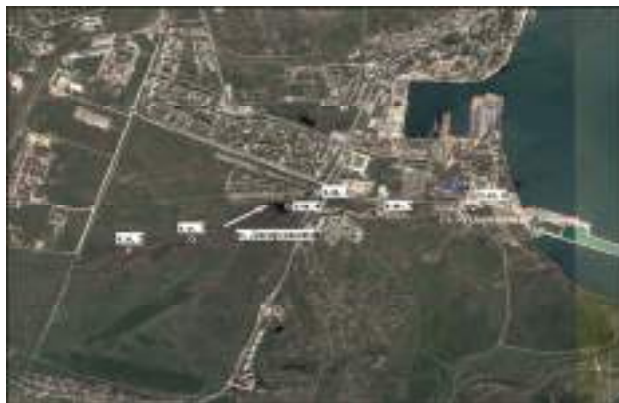


Рис. 1. Карта-схема обследования р. Джарджавы



Рис. 2. Устье р. Джарджавы

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Река Джарджавя начинается сухими балками и оврагами со склонов известкового хребта Юз-Оба, у шоссе Керчь-Феодосия. Впадает в западную часть Керченской бухты, в районе Цементной Слободки, севернее мыса Ак-Бурун, южнее Керченского рыбного порта, расположенного на берегу искусственной бухты Ковш, построенной в 1950 – 60-е годы на месте озера (Соляное, Солончак, Новое), в районе строящегося крымского моста (рис. 2).

Длина реки 8,5 км, площадь водосборного бассейна 24,1 км².

С левого берега в Джарджаву впадает приток, берущий начало на территории микрорайона Восход (бывш. Джарджавя). На водоразделе между ними находится промзона.

Речной сток зарегулирован. На реке построен пруд объёмом 160 тыс. м³, площадь зеркала 12,8 га [2,3].

Водосборный бассейн р. Джарджавя расположен в северо-восточной части Керченского полуострова, характеризующейся мелким складчатым рельефом и слабым развитием речной сети. Местность, прилегающая к долине, мелко- и крупно-холмистая. Для неё характерны небольшие вытянутые с запада на восток возвышенности по обоим берегам реки, разобшённые низинами, впадинами и котловинами, гряды и хребты высотой 40 – 80 м с умеренно крутыми склонами.

Долина реки ящикообразная, широкая (7 – 8 км), протянулась между двумя грядами. Левобережная гряда представляет собой Митридатский (Митридатовый) известняковый гребень, является водоразделом с р. Мелек-Чесме, протекающей через центр г. Керчь. Правобережная гряда тянется вдоль северного края Камышбурунской железорудной мульды, и представляет собой длинный (4,5 км) мшанковый рифовый гребень с курганами (Юз-Оба). Его восточную часть выровняли при строительстве крепости Керчь на мысе Ак-Бурун, западную часть срыли современными каменоломнями по добыче известняка. Хребет уходит в равнинную степь, постепенно сглаживаясь. Склоны долины к подошве выполаживаются и сливаются с дном долины, на устьевом участке - сливаются с окружающей местностью. Склоны долины рассечены притоками, оврагами и балками. Большинство притоков имеет временный характер и совершенно пересыхает летом. Долина частично занята постройками.

Пойма двусторонняя, шириной 50 – 150 м. В паводки происходит её затопление. Грунты поймы глинистые. В нижнем течении пойма занята постройками. Русло реки неразветвлённое, меандрирующее. В нижнем течении спрямлено и укреплено. Ширина русла 2 – 3 м. Глубина русла до 0,5 м; скорости течения по результатам замеров - 0,2 м/с. Русло заросло тростником (до 90%) на всём протяжении (рис. 3). Берега русла сложены глинисто-иловыми грунтами, поросли тростником и рогозом. Дно русла вязкое, илистое. Толщина ила достигает 0,2 – 0,3 см. Очень много различного бытового мусора.



Рис. 3. Заросшее русло р. Джарджавы



Рис. 4. Пруд на р. Джарджавя

В районе Солдатской Слободки русло перегорожено плотиной длиной 200 м, высотой 5 м. Плотина находится в аварийном состоянии (трещины, заросшие мокрый и сухой откосы). Здесь же устроена свалка бытового мусора. Донный водовыпуск, который находится по центру плотины, представляет собой проржавленную трубу. Водосбросное сооружение шириной 2 м также находится в полуразрушенном состоянии. Пруд наполнен на одну четвертую объема (рис. 4). Джарджавская долина представляет собой геологический разлом. На севере она упирается в подножье Керченской мульды, на юге - в хребет Юз-Оба и Камыш-Бурунскую мульду. Долина является частью Индоло-Кубанского прогиба. Южная часть вовлечена в область поднятия, а северная, разделенная примерно по долине р. Джарджавя, медленно опускается. Территория долины включает в себя два языка (отрогов балки), разделенные «восходовской» антиклиналью и железнодорожной насыпью.

На Керченском полуострове преобладают верхнемиоценовые отложения, включающие

сарматский и меотический ярусы. Толща сарматских отложений состоит преимущественно из глин, средний сармат представлен известняками, а в глинах верхнего сармата встречаются мергели.

Согласно гидрогеологическому районированию водосбор Джарджавы относится к району с площадями распространения вод в отложениях мезозойского и третичного возраста. Водоносный горизонт залегает в известняках и песках среднего миоцена с глубиной залегания от 3 – 5 м до 50 м. Водообильные зоны приурочены к прогнутым участкам внутри мульды [2].

Почвы представлены, в основном, каштановыми суглинками, местами щебнистыми. Склоны и дно долины сложены у поверхности каштановыми суглинками со щебёнкой, у бровок обнажаются известняки в виде зубчатых вершинок и утёсов.

Местная растительность характеризуется преобладанием в травостое многолетних ксерофильных (засушливых) растений, преимущественно злаков, из которых наиболее распространенными являются ковыли и типчак. В

числе менее значимых, но постоянных компонентов степи можно назвать такие злаки, как келерия, житняк, луковичный мятлик, а среди разнотравья – полынь, шалфей, горичвет, тюльпан, зопник, из бобовых – клевер, люцерну. Несколько изреженный травостой в большинстве случаев не полностью покрывает почву. Плотные заросли тростника и рогоза, предпочитающие болотные почвы) растут в русле и по берегам. В пойме растёт тамарикс (гребенщик, астраханская сирень), встречается лох серебристый.

В советское время на водосборе было множество искусственных лесопосадок. На склоне хребта Юз-Оба, у железной дороги работниками местных промпредприятий был высажен акациевый лес.

Вдоль всей речной долины можно наблюдать грязевулканические образования – грязевые вулканы (сальды, сопки). Их основание находится на сарматских и меотических глинах.

В верхнем течении реки на водоразделе между двумя истоками находилась промзона. В настоящее время здесь оборудована площадка для размещения стройматериалов, которые используются при строительстве трассы «Таврида». Сама трасса проходит параллельно реке, за хребтом Юз-Оба. В нижнем течении расположены микрорайоны Солдатская Слободка и Цементная Слободка, Рыбный морпорт и др. В нижнем течении вдоль русла реки (с левого берега) проходит ветка железной дороги.

Охраняемые природных территорий и объектов в долине реки нет. Однако, предлагается

обустройство ландшафтного заказника местного значения «Джарджавы» для охраны водно-болотных угодий р. Джарджавы, северных склонов хребта Юз-Оба, степной пустоши и грязевых вулканов – Джарджавского и Никитского [1,8].

Река Джарджавы является неизученной рекой. На ней никогда не было оборудованного гидрометрического поста. Лишь в 1925 г. ботаник Е.В. Вульф вместе с известным исследователем Крыма И.И. Пузановым организовали Керченскую экспедицию, выполняя заказ Крымводхоза на предмет обводнения пастбищ и полей Керченского полуострова. Они провели гидрографическое обследование водотоков Керченского полуострова. Как правило, они представляют собой неглубокие и короткие балки и овраги со стоком в период таяния снега или выпадения интенсивных ливней. В остальное время года они обычно сухие. По классификации Б.Д. Зайкова, учитывающей внутригодовое распределение годового стока, реки Крыма относятся к рекам с паводочным режимом крымского типа. Для них характерным является наступление паводков в любое время года. Питание рек смешанное: снеговое, дождевое и подземное. В многоводный год свыше 90% годового стока проходит весной; в средний по водности год – летом до 90% и зимой 10%; в маловодный год – 100% весной. В летне-осенний период наблюдается устойчивая межень. В отдельные годы и месяцы наблюдается пересыхание русла. Ледовые явления на реке не наблюдаются.

Гидрографические характеристики реки и её водосборного бассейна представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные гидрографические характеристики р. джарджавы и её бассейна

Длина реки, км	8,5
Средний уклон реки, м/км	6
Площадь водосбора, км ²	24,1
Средняя высота водосбора, м	50
Коэффициент извилистости	1,2

Таблица 2.

Характеристики годового стока

Модуль, л/с км ²	Расход, м ³ /с	Объём, млн.	Слой, мм
0,2	0,005	0,152	7

Характеристикой водности реки является норма годового стока - среднееголетнее значение расхода воды. Норма может быть выражена также в виде объёма годового стока, модуля годового стока и слоя годового стока.

Расчётные величины годового стока Джарджавы представлены в табл. 2.

Изменчивость годового стока характеризуется коэффициентом вариации (cv):

$$CV = 1,0.$$

Несимметричность гидрологического ряда характеризуется коэффициентом асимметрии (Cs). Коэффициент асимметрии годового стока для рек Крыма:

$$C_s = 2C_v .$$

Расходы воды в годы различной водности представлены в табл. 3.

В табл.3: k – модульный коэффициент перехода от нормы годового стока к расходам различной водности: P = 1,5% - очень многоводный и многоводный год; P = 50% - средний по водности год; P = 75% - маловодный год; P = 95% - очень маловодный год.

Для расчётов внутригодового распределения стока взята типовая схема для малых рек

Таблица 3.
Расходы воды в годы различной водности, м³/с

Характеристика	Водность года, %				
	1%	5%	50%	75%	95%
k	4,6	3,0	0,693	0,288	0,051
Расходы, м ³ /с	0,05	0,03	0,007	0,003	0,001
Объёмы, млн. м ³	1,58	0,95	0,32	0,10	0,04

Таблица 4.
Типовая схема внутригодового распределения стока, %

P, %	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
1; 5	2,3	7	81	4	2,5	1,5
50	0,5	0,5	0	0	0	0,7
75	0	0	100	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0
1; 5	4	10	73	5	4,5	2,5
50	0	0	0	0	0	1
75	0	0	0	0	0	0
95	100	0	0	0	0	0

Используя данные по годовому стоку (табл. 3) и типовой схеме внутригодового распределения стока (табл. 4) рассчитаны среднемесячные расходы воды в разные по водности годы, по которым построены

гидрографы годового стока для лет разной водности (рис.5).

Характерной особенностью рек Крыма является их паводочный режим. После выпадения большого количества осадков реки превращаются в бурные потоки с расходами во много раз превышающими среднегодовые значения, приводящие к разрушениям (рис. 6).

Формирование выдающихся паводков происходит за счёт выпадения жидких осадков, непродолжительных, но интенсивных. Продолжительность стояния высоких уровней незначительна из-за кратковременности ливневых паводков.

Срочные максимальные расходы воды и объёмы дождевых паводков в разные по водности годы представлены в табл. 5

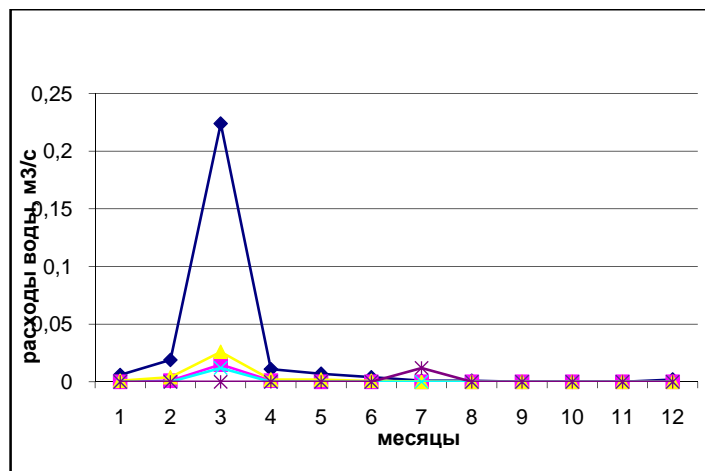


Рис. 5. Гидрографы годового стока для лет разной водности



Рис. 6. Разрушенные береговые укрепления

Таблица 5.

Срочные максимальные расходы воды и объёмы паводков

Максимальные расходы, м ³ /с				
1%	2%	5%	10%	25%
27,0	20,2	13,5	9,2	2,7
Объёмы паводков млн. м ³				
1%	2%	5%	10%	25%
1,35	1,01	0,675	0,344	0,135

В летний период устанавливаются минимальные расходы воды. Причём в средний по водности год наблюдается пересыхание русла в течение 40 – 60 дней, а в маловодные годы русло сухое почти весь год.

Основным источником твёрдого стока являются эрозия почв и грунтов. Однако изменение гидравлических характеристик русла также создаёт благоприятные условия для аккумуляции или размыва. На расширенных и спрямлённых участках происходит уменьшение скоростей течения, что способствует отложению наносов и в дальнейшем приводит к заиливанию.

Донными наносами являются илы – тонкозернистая горная порода, состоящая из частиц разрушающихся горных пород и твёрдых остатков живых организмов. Причём среднее количество фракций размером менее 0,01 мм достигает 50% от общей массы.

Согласно «Карте средней мутности вод рек и водотоков Крымского полуострова» река Джарджава попадает в зону с мутностью 50 – 100 г/м³. Тогда расход взвешенных наносов равен 0,0005 кг/с, что составляет за год 15,75 т. Объёмный вес мокрого ила, в среднем, равен 2 т/м³. Тогда объём иловых отложений составляет примерно 8 м³ за год.

ВЫВОДЫ

Река Джарджава (Черчав Илгасы, овраг Джерджав, Восходовская, Сухая) относится к группе водотоков Керченского полуострова, которые являются самыми неизученными.

На основании обследования реки установлено визуальное её современное экологическое состояние, проведены замеры расходов воды на разных участках реки.

Проведены расчёты по основным гидрологическим характеристикам при отсутствии данных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ена В. Заповедные ландшафты Тавриды/В. Ена, А. Ена, Ан. Ена. – Симферополь, 2004. – 424 с.
2. Лущик А.В. Обзор формирования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов в Крыму/А.В. Лущик, Н.В. Горбатюк, Т.А. Иваненко // Строительство и техногенная безопасность №6(58), 2017. – С. 99 – 106.
3. Поверхностные водные объекты Крыма: Справочник // Сост. Лисовский А.А., Новик В.А., Тимченко З.В., Мустафаева З.Р. / Под ред. З.В. Тимченко. – Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 131с.
4. Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник // Сост. Лисовский А.А., Новик В.А., Тимченко З.В., Губская У.А. – Симферополь: КРП «Изд-во «Крымучпедгиз», 2011. – 242 с.
5. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. – Л.: ГМИ, 1984. – 448с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. – Т.6 – Украина и Молдавия. – Вып.3 – Крым. – Л.: ГМИ, 1964. – 127с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.6 – Украина и Молдавия. – Вып.3 – Крым. – Л.: ГМИ, 1966. – 344с.
8. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий: Монография. / Под. Ред.

Е.А. Позаченюк. - Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.

9. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма / З.В. Тимченко. - Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2012. – 290 с.

REFERENCE

1. Ena V. Protected landscapes Tauris/V. Ene, A. Ena, An. Ena. – Simferopol, 2004. – 424 p.

2. Lushchik A. Overview of groundwater, the main producing aquifers in the Crimea/A.V. Lushchik, N. In. Gorbatyuk, T. A. Ivanenko // Construction and industrial safety №6(58), 2017. – P. 99 – 106.

3. Surface water bodies of the Crimea: the manual // Comp. Lisowski A. A., Novikov V. A., Timchenko Z. V., Mustafayeva Z. R., ed. by Z. V. Timchenko. – Simferopol: Resolvethis ARC, 2004. – 131c.

4. Surface water bodies of the Crimea. Management and use of water resources: a Handbook /

Ed. Lisowski A. A., Novikov V. A., Timchenko Z. V., Gubskaya U. A. – Simferopol: the PKK, "Ed ", Crimecity", 2011. – 242 p.

5. Manual on determination of design hydrological characteristics. – Leningrad: GMI, 1984. – 448c.

6. Surface water resources of the USSR. Hydrological study. – Vol. 6 – Ukraine and Moldova. – Vol.3 – Crimea. – Leningrad: GMI, 1964. – 127s.

7. Surface water resources of the USSR. – Vol. 6 – Ukraine and Moldova. – Vol.3 – Crimea. – Leningrad: GMI, 1966. – 344c.

8. Modern landscapes of Crimea and adjacent waters]. / Under. Ed. E. A. Pozachenyuk. - Simferopol: Business-Inform, 2009. – 672.

9. Timchenko Z. V. Hydrography and hydrology of the rivers of Ukraine / Z. V. Timchenko. - Simferopol: it "ARIAL", 2012. – 290 p

Tymchenko Z.V.

HYDROGRAPHIC AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RIVER JARJAWI

Summary. The authors calculated the hydrographic and hydrological characteristics of the unexplored river Gargawi, flowing on the territory of Leninsky district and the city of Kerch, Republic of Crimea. The river empties into the Bay of Kerch, in the area of construction of Crimean bridge. The river is unexplored, so hydrological calculations were carried out using topographical maps, empiric formulas. Hydrographic description is made on the basis of field surveys.

Key words: river, Jarjawi, Kerch Peninsula, hydrographic and hydrological characteristics.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО БЕРЕГОЗАЩИТЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА

Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э., Ветрова Н.М.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
E-mail: ecology@gmail.com

Аннотация: В работе рассмотрены результаты изучения эколого-геологических условий (абразия берега, оползание и осыпание) прибрежных территорий при выборе инженерных решений по берегозащите, роль негативных инженерно-геологических процессов при проектировании объектов в рекреационной зоне на примере побережья Западного Крыма. Применен подход к оценке экологических и экономических параметров берегоукрепительных проектов на отдельных территориях Западного Крыма.

Ключевые слова: инженерные решения по берегозащите, эколого-геологические условия, прибрежная территория Крыма

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация абразионных процессов на морских побережьях приводит к существенным отрицательным материальным и социальным последствиям. Это вызывает необходимость организации и проведения постоянных и эффективных берегозащитных и природоохранных наблюдений и мероприятий, которые должны осуществляться постоянно на современном уровне и соответствовать требованиям социально-экономического обоснования инженерных решений и оценке их воздействия на окружающую среду. Особенностью прибрежных территорий Крыма является их приглубость, что обуславливает значительную высоту волн (более 4 м) по линии последнего обрушения. Это в свою очередь, порождает следующие эколого-инженерные проблемы при проектировании берегозащитных мер:

обеспечение устойчивости берегоукрепительных пляжеудерживающих сооружений при воздействии штормовых волн;

обеспечение устойчивости искусственного пляжа при воздействии штормовых волн, которые оттягивают пляжеобразующий материал на глубину, где он теряется безвозвратно.

Благодаря мониторинговым исследованиям [1], была подтверждена главенствующая роль природных абразионных процессов не только в образовании и развитии оползневых систем в береговой зоне Крыма, но и в потере береговой территории - при этом нарушается экологическое состояние береговой полосы. А к антропогенным факторам воздействия на экологическое состояние прибрежных рекреационных зон относятся строительство молов и волноломов, гидротехнических сооружений, которые, вызывая низовые размывы, практически всегда оказывают отрицательное воздействие на режим береговой зоны в части размеров пляжей.

Анализ существующего положения по инженерной защите прибрежной территории

Крыма [2], а также учитывая предложения всех программ, направленных на улучшение и стабилизации экологического состояния побережья, свидетельствует о необходимости увеличения финансирования на специальных берегоукрепительных мероприятиях, поскольку отсрочка строительства приводит не только к увеличению стоимости затрат из-за прогрессирующего характера оползневых и абразионных процессов, но и к разрушению уже существующих дорогостоящих гидротехнических и противооползневых сооружений, жилых построек.

Поэтому, учитывая сложившуюся ситуацию с берегозащитой прибрежных территорий Крыма, требующей возобновления научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ для строительства новых и реконструкции оставшихся берегоукрепительных сооружений, достаточно актуальным рассматривается вопрос эколого-экономического обоснования инженерных решений.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для оценки эффективности методов проектирования и освоения береговой зоны Крыма, в том числе и берегоукрепительного комплекса, требуется соответствующее эколого-экономическое обоснование инженерно-технических решений, учет ряда правил, принципов и региональных особенностей, основанных на теории береговедения [3, 4, 5, 6].

Анализ научной и методической литературы посвященной проблемам и перспективам строительства берегоукрепительных сооружений свидетельствует о недостаточном изучении прикладных аспектов данной проблематики, особенно рассмотрению ее с точки зрения экологической составляющей и региональных особенностей для дальнейшего рационального освоения прибрежных территорий Крыма [7, 8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Хозяйственное освоение (для целей отдыха), одного из богатейших в природно-климатическом отношении, Крымского региона выдвигало свои требования к участкам побережья, в числе которых были строительство различных сооружений для защиты берега от абразии, объекты благоустройства побережья и др. В результате этого берегозащитное строительство в Крыму активно начало развиваться около полувека назад и в настоящий период требуется серьезный комплекс реконструкции и модернизации объектов.

Цель исследований: учитывая уровень сложившихся нарушений в береговой зоне отдельных территорий западного Крыма обосновать комплекс мер (проект), имеющих экологическую целесообразность и определить их экономические параметры в рамках эколого-экономического обоснования инженерных решений по берегоукреплению.

Объект исследования: прибрежная территория в пределах западного побережья Крыма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Интенсивное курортное строительство на абразионных берегах населенных пунктов западного побережья Крыма – таких как, пгт. Николаевка, с. Песчаное, с. Береговое изъело из обращения долю наносов, поступающих за счет размыва закрепленных участков побережья, отрицательно сказалось на балансе вдольбереговых потоков наносов и на определенных параметрах экологического состояния побережья.

Застройка западного побережья от с. Андреевка до с. Учкучевки также сказалась негативно на состоянии береговой зоны - разрушение пляжной полосы из-за активизации абразионных процессов в с. Андреевка и между с. Песчаное и Береговое требует внедрения технических решений по ее реконструкции.

Восстановление пляжной полосы согласуется с экологическими параметрами устойчивости прибрежных территорий, поскольку воссоздание (в случае полного размыва), расширение (в случае частичного размыва) и стабилизация (в случае не изменяющихся параметров пляжа) существующих пляжей является необходимым условием природных процессов для волногашения и сохранения береговой линии.

Комплексные научные исследования берегообразования, проведенные в различные

периоды и на различных территориях выявили важный фактор экологии береговой зоны - пляж – основной элемент защиты берега [6, 7]. В условиях дефицита пляжеобразующего материала во вдоль береговом транспорте наносов создание и расширение пляжей возможно лишь искусственным пополнением их карьерным материалом.

Искусственные пляжи, в зависимости от природных условий, рельефа дна и конфигурации береговой линии в плане, могут быть свободными (без пляжеудерживающих сооружений), так и в комплексе с ними.

Данные закономерности берегоукрепления с экологической точки зрения могут являться природными аналогами и позитивно влиять на экологическое состояние побережья по параметрам – волногашение, низовые размывы, сохранение береговой линии.

Обоснование проектов берегоукрепления кроме экологических и технико-инженерных параметров, в том числе должно включать экономические параметры – сумма затрат на восстановление пляжа (Z) состоит из затрат на приобретение материала, стоимости доставки и стоимости работ по выравниванию материала:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (1)$$

Где Z_1 – затраты на приобретение материала, руб.

Z_2 – стоимость доставки, руб.

Z_3 – работы по выравниванию материала, руб.

Сформулированный подход к эколого-экономическому обоснованию берегозащиты был реализован при подготовке проектов, представленных далее в статье.

Участок в с. Береговое. На исследуемом участке оздоровительного комплекса КНУ им. Шевченко сохранилась откосно-ступенчатая набережная протяженностью 390 м. Пляж размыт, при волнении силой более 3 баллов гашение волн происходит на упоре и нижних ступенях набережной, упор местами нависает над поверхностью пляжа.

При 10-20 метровой ширине пляжа гасятся волны в 4-6 баллов, т.е. ширина пляжа должна составлять как минимум 20 м. Рекомендуется восстановление пляжной полосы шириной 50 м [9]. Наличие пляжа снижает интенсивность размыва и повышает устойчивость берега при условии периодических подпиток его пляжеобразующим материалом.

Для восстановления пляжа шириной 50 м рассчитано количество отсыпаемого материала и стоимость работ (рис. 1, табл. 1).

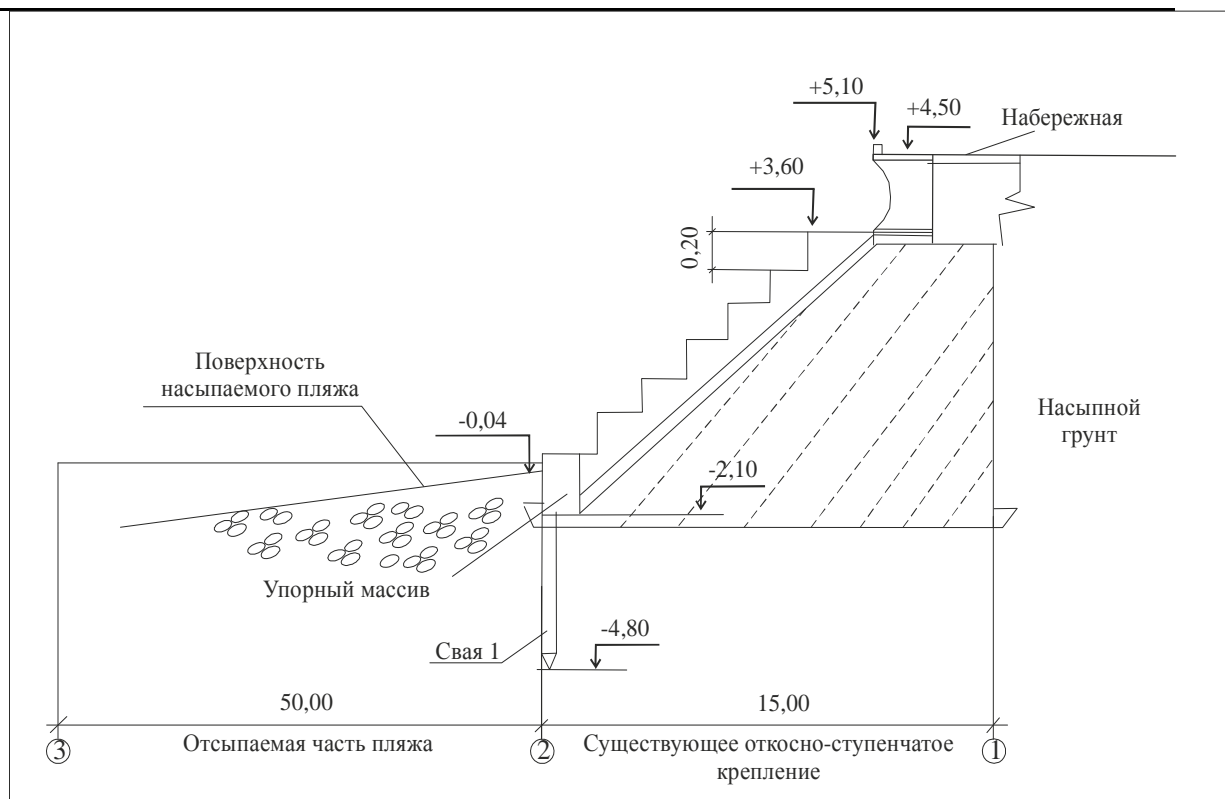


Рис. 1. Поперечный разрез участка пляжа с откосно-ступенчатой набережной с. Береговое (составлен авторами)

Таблица 1.
Характеристики проекта отсыпки пляжа в с. Береговое

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	Расчетная длина пляжа	м	390
2	Расчетная ширина пляжа	м	50
3	Отсыпaeмый объем песчано-гравийной смеси	м ³	15600
4	Масса отсыпаемого материала	т	20280
5	Затраты на приобретение материала (включая доставку)	руб.	13884000
6	Затраты на выполнение работ	руб.	3120000
7	Общая сумма затрат	руб.	17004000

Поскольку насыпной материал не должен образовывать новый клиф, нужно досыпать приблизительно такой же объем для плавного спуска - полученный объем увеличивается в 2 раза, в результате для одного пляжа в существующих условиях потребуется 15600 м³ насыпного материала.

Побережье данного оздоровительного комплекса песчано-галечное, поэтому в качестве насыпного материала выбрана песчано-гравийная смесь, которая будет доставляться из близлежащего карьера. После пересчета песчано-галечной смеси на массу получим, что для подсыпки 15600 м³ потребуется 20280 т песчано-гравийной смеси (табл. 1).

С учетом стоимости песчано-гравийной смеси (ПК «Госстроймета 3.0»), чтобы досыпать необходимый объем, нужно затратить $Z_1 + Z_2 =$

13,884млн. руб, $Z_3 = 120000$ руб. Общая сумма затрат составит $Z = 17,004$ млн. руб.

Санаторно-оздоровительные комплексы выделяют средства на поддержание собственных пляжных территорий, постоянно досыпая их, но выполняют этот процесс не в полной мере и на большинстве участков санитарные нормы - 5 м² на 1 человека - не выдерживаются; пляжи, находящиеся на балансе местных органов власти часто не ремонтируются, что формирует опасности для объектов, находящихся на них.

Участок в с. Андреевка. На исследуемом участке в с. Андреевка пляж в межбунных отсеках размыт, сохранились 3 бунны, для которых необходима реконструкция и отсыпка пляжного материала в межбунном пространстве.

Расчет объемов подсыпки пляжа и технические решения по реконструкции участка берега приведены на рисунке 2.

Как показывает анализ предложенного проекта восстановления пляжного покрытия, воссоздание размытых пляжей, а также их стабилизация на участках размыва требует отсыпки значительных объемов пляжеобразующего материала, что обуславливает высокую стоимость берегозащиты. Такой метод берегозащиты доступен сейчас только крупным рекреационным учреждениям или должен иметь региональное финансирование.

Высокая подвижность песка в штормовой период приводит также к значительным эксплуатационным затратам после завершения строительства. В ряде случаев оказывается целесообразным использование в качестве пляжеобразующего материала для восстановления песчаных пляжей галечно-гравийной смеси, что позволяет в несколько раз сократить объем отсыпаемого материала и стоимость берегозащитных мероприятий при сохранении равной волногасящей способности пляжа. Вследствие большей устойчивости гравийно-

галечного пляжа существенно сокращаются затраты на поддержание его в стабильном состоянии [9].

Все берегоукрепительные работы должны проводиться с учетом особенностей определенной местности; берегозащитные сооружения должны регулировать перемещение наносов в прибрежной зоне моря; мероприятия по защите берега должны сохранять и улучшать экологическую обстановку в прибрежной зоне моря и прилегающих к ней участках суши.

Для восстановления пляжа шириной 30м рассчитано количество отсыпаемого материала и стоимость работ (табл. 2). В существующих условиях потребуется 2100 м³ насыпного материала.

Исходный механический состав естественных пляжей в с. Андреевка песчано-гравийный, поэтому в качестве насыпного материала выбрана песчано-гравийная смесь, которая будет доставляться из близлежащего карьера.

Таблица 2.

Характеристики проекта отсыпки пляжа в с. Андреевка

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	Расчетная длина пляжа	м	140
2	Расчетная ширина пляжа	м	30
3	Отсыпaeмый объем песчано-гравийной смеси	м ³	2100
4	Масса отсыпаемого материала	т	2940
5	Затраты на приобретение материала (включая доставку)	руб.	1869000
6	Затраты на выполнение работ	руб.	588000
7	Общая сумма затрат	руб.	2457000

Технические решения по реконструкции участка берега в с. Андреевка приведены на рис 2.

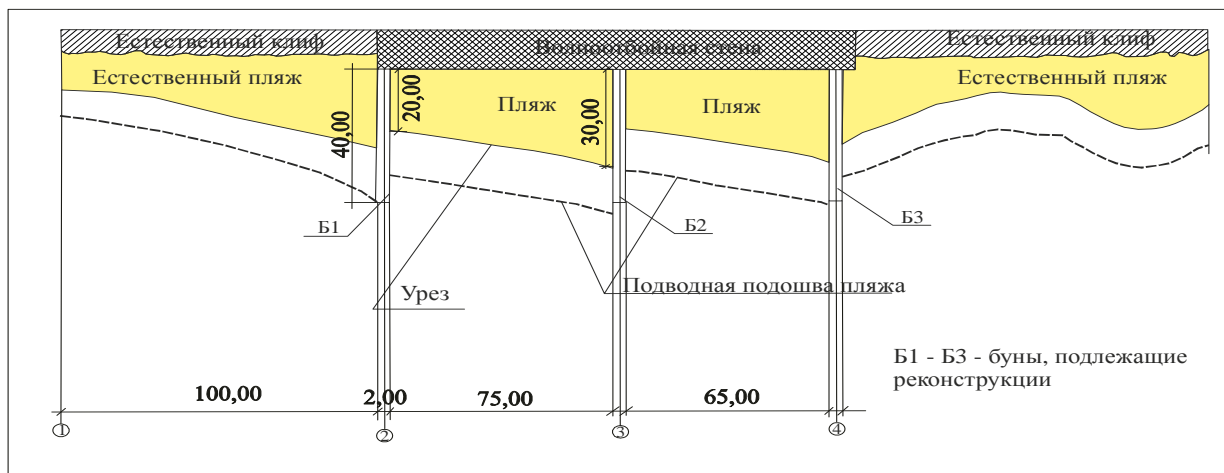


Рис. 2. Предлагаемая схема реконструкции межбуновых отсеков с заполнением пляжным материалом в с. Андреевка

После пересчета песчано-галечной смеси на массу получаем, что по проекту для подсыпки 2100 м³ потребуется 2940 т песчано-гравийной смеси (табл. 2).

С учетом стоимости песчано-гравийной смеси (ПК «Госстроймета 3.0»), чтобы досыпать необходимый объем, нужно затратить $Z_1 + Z_2 = 1869000$ руб, $Z_3 = 588000$ руб. Общая сумма затрат составит $Z = 2,457$ млн. руб.

ВЫВОДЫ

Проекты берегозащитных сооружений должны разрабатываться на основе генеральной схемы берегозащитных мероприятий по данному: региону, подтверждающей их технико-экономическую целесообразность и удовлетворяющую природоохранным и экологическим требованиям.

Размеры и конструкции берегозащитных сооружений определяются их функциональным назначением, геологическим строением и рельефом надводной и подводной частей берегового склона, крупностью и составом наносов, режимом волнений и уровней прибрежной зоны моря.

В генеральной схеме или проекте берегозащитных мероприятий естественный пляж, обеспечивающий защиту прилегающей к нему территории, должен рассматриваться как берегозащитное сооружение. При возникновении необходимости устранения размыва такого пляжа в первую очередь должна быть выяснена и использована возможность механической или гидравлической доставки пляжеформирующего материала на берег для поддержания необходимой ширины пляжа.

По результатам исследований для проблемных участков, требующих берегоукрепительных мероприятий, предложены варианты технических решений по реконструкции участков берега на примере с. Береговое и с. Андреевка. При выборе технических решений выполнено эколого-экономическое обоснование с приведением расчетов объемов подсыпки пляжа, учитывающего расчетную длину и ширину пляжа, отсыпaeмый объем песчано-гравийной смеси, затраты на приобретение материала (включая доставку), затраты на выполнение работ. Общая сумма затрат для участка в с. Береговое составит 17,004 млн. руб., для участка в с. Андреевка – 2,457 млн. руб.

Реализация предложенных технических решений позволит значительному восстановлению пляжного покрытия, воссозданию размытых пляжей, а также их стабилизации не только на анализируемых участках, но на аналогичных, требующих берегоукрепительных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжий М.Н., Сапронова З.Д., Иваненко Т.А., Артемьева А.М., Снегирев В.С. Комплексные мониторинговые исследования состояния берега и берегоукрепительных сооружений Западного Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и

шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 20. 2009. С. 7-10

2. Иваненко Т.А., Ветрова, Н.М. Комплекс экологически безопасных технических решений застройки прибрежных рекреационных зон // Проблемы экологии. 2013. 1 (31). С. 89—97.

3. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. Москва: Изд-во АН СССР, 1962. 710 С.

4. Шуйский Ю.Д. Основы стратегии строительства в береговой зоне Черного и Азовского морей // Исследование береговой зоны морей: Сб. науч. трудов. – Киев: КарбонЛТД, 2001. С. 8 -24.

5. Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 240 с.

6. Шуйский Ю.Д. Основные закономерности морфологии и динамики западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 13. 2005. С. 62 — 72.

7. Махаева Т.В. К геоморфологии и динамике берегов Западного Крыма // Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. Вып.2. К.: издательство Киевского университета, 1968.-С.160-167

8. Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э. Экологическая безопасность освоения прибрежных территорий на современном этапе рекреационно-градостроительного развития Крыма // Гидротехника. №3. 2014. С.20-23.

9. Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э. Оценка влияния опасных экзогенных геологических процессов на рекреационное освоение прибрежной территории Крыма // Материалы 9-й Международной конференции «Строительство в прибрежных курортных регионах» г.Сочи, (23-26 мая, 2016 г.) / Под науч. ред. проф. К. Н. Макарова; Министерство образования и науки РФ; Сочинский гос.ун-т. Сочи, СГУ, 2016. С.56-60

REFERENCES

1. Ginger M. N., Sapronovo Z. D., Ivanenko T. A., Artemyeva A. M., Snegirev V. S. Complex monitoring researches of the state of the shore protection constructions of the Western Ukraine // Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources. Vol. 20. 2009. S. 7-10

2. Ivanenko T. A., Vetrova, N. M. The complex is environmentally friendly technical solutions for the development of coastal recreational areas // Problems Ecolog. 2013. 1 (31). P. 89-97.

3. Zenkovich V. P. osnovy of the doctrine about sea development. Moscow: Izd-vo an SSSR, 1962. 710 S.

4. Shuyskiy, Y. D. Fundamentals of strategy construction in the coastal zone of the Black and Azov seas // the study of the seas: Sat.scientific. works. – Kiev: Carbonet, 2001. Pp. 8 -245. Shuyskiy Yu. d. research Problems of sediment balance in the coastal

zone of the seas. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 240 p.

6. Shuisky Y. D. the Main regularities of the morphology and dynamics of the Western coast of the Crimean Peninsula // Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources. Vol. 13. 2005. P. 62 — 72.

7. Makhaeva T. V. on the geomorphology and dynamics of Western coast of Crimea // Geology of the coast and the bottom of the Black and Azov seas within the USSR. Vol.2. K.: the publishing house of Kyiv University, 1968.-S. 160-167

8. Ivanenko T. A., Sadykova G. E. Ecological safety of development of coastal territories at the present stage recreation of the urban development of the Crimea //]. No. 3. 2014. S. 20-23.

9. Ivanenko T. A., Sadykova G. E. assessment of the impact of hazardous exogenous geological processes in the development of coastal recreational areas of the Crimea // proceedings of the 9th International conference "Construction in coastal resort regions", Sochi, Russia (23-26 may, 2016) / Under scientific editorship of Professor K. N. Makarov; the Ministry of education and science of Russia; Sochi state University, Sochi, Saratov state University, 2016. S. 56-60

Ivanenko T.A., Sadykova G.E., Vetrova N.M.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT ENGINEERING SOLUTIONS FOR PERIGOSAMENTE COASTAL AREAS OF THE CRIMEA

Summary. The paper discusses the results of a study of environmental and geological conditions (abrasion of coasts, slumping and sloughing) in the coastal areas and in the choice of engineering solutions on perigosamente, the role of negative engineering-geological processes in the design of objects in a recreational zone on the example of the Western coast of the Crimea. The approach used to assess the ecological and economic parameters of shore protection projects in selected areas of Western Crimea.

Key words: engineering solutions for perigosamente, abrasion, Western coast of Crimea, the coastal territory of Crimea

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РЕКРЕАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРНОЛЫЖНОГО КУРОРТА «ПУЖАЛОВА ГОРА»)

Афони́на М.И.¹, Князева О.Л.²

¹ФГБОУВПО «Московский государственный строительный университет»

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

e-mail: pz@mgsu.ru, marinamgsu@yandex.ru

²Горнолыжный курорт «Пужалова Гора»

Аннотация. Возникает необходимость в системном изучении многочисленных разнородных объектов рекреации зимней направленности. В работе подробно описан горнолыжный курорт «Пужалова Гора» г. Гороховец. Детальный анализ объекта включает изучение: территориальной структуры, зоны влияния, состава и специфики посетителей, инженерной и транспортной инфраструктуры, экономической эффективности, потребления ресурсов (электроэнергии и воды) и др. Представлены количественные данные, позволяющие анализировать структуру пользователей, в том числе его отдельных частей, на примере тюбинг парка. Выявлена объективная необходимость всесезонной эксплуатации рекреационного комплекса. Материал содержит фотографии, которые позволяют наглядно представить объект исследования. Наличие диаграмм и графиков указывает на длительный период обследования. Выявлены субъективные и объективные факторы, влияющие на развитие объектов зимней рекреации.

Ключевые слова: горнолыжный курорт, рекреационные территории, «Пужалова Гора», исторический город, устойчивое развитие, всесезонный семейный отдых.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Обеспечение функционирования центров рекреации (сезонных и всесезонных) необходимо рассматривать с позиций устойчивого развития территорий, учитывая индивидуальность каждого конкретного объекта. Для обеспечения динамичного развития требуется комплексное изучение, которое позволит объективно оценить текущее состояние и возможные перспективы конкретного объекта.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Центры рекреационной и санаторно-курортной инфраструктуры являются предметом рассмотрения специалистов различной научной и практической деятельности. Принято раздельно рассматривать туристический, архитектурный, градостроительный, технологический аспекты, учитывается инвестиционная привлекательность, а также условия эксплуатации и др.

Исследователи в области строительства и архитектуры рассматривают объемно-планировочные, технологические, конструктивные решения, их эстетическое восприятие, природное окружение и биопозитивность.

Над темой развития отечественных рекреационных территорий, курортных зон, спортивных и зрелищных комплексов плодотворно работали: Преображенский, Зорин, Веденин (1972г.), Трушиньш (1975г.), Мелик-Пашаев (1980г.), Тарас (1980г.), Страускас (1997г.), Ветрова, Федякин (2012г.) и др.

Однако объективное исследование специализированных объектов зимнего спорта и рекреации затруднительно из-за инновационного характера объектов и отсутствия желания

собственников «открывать секреты» своей деятельности. Не смотря на сложности сбора материалов, на эту тему успешно работают Тикунов (1998г.), Николаенко (2003г.), Каштанов, Угольников (2004г.), Лукина (2009г.), Липилина (2010г.), Панченко (2011г.), Шувалов (2012г.), Тикунова, Крапивина (2014г.) Алаева (2015г.) и др.

В связи с развитием форм объектов зимней рекреации и спорта появляется объективная необходимость в их изучении как отдельного научного и практического исследования.

ОРИГИНАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты спортивной архитектуры всегда очень адресны и индивидуальны, ведь они, как правило, проектируются для конкретных задач и для проведения конкретных мероприятий.[1] Одним из направлений специализированной рекреации является отдых на горнолыжных комплексах, который любим россиянами всех возрастных групп и гендерного состава. За последние 20-30 лет были созданы зимние центры: традиционные, инновационные, городские и загородные объекты, временные спортивные рампы, специализированные сноу и тюбинг парки и др.[2-6]. Для обеспечения устойчивой работы комплексов используются новые материалы и технологии, а для их размещения осваиваются новые территории и даже создается искусственный техногенный рельеф. Это позволяет расширить географию объектов зимней рекреации и использовать их потенциал в полном объеме.

Среди малых городов Золотого кольца России важное место занимает древний г. Гороховец, живописно раскинувшийся на высоком левом берегу р. Клязьмы, где история и современность тесно переплетаются [7]. В историческом городе, в котором проживает 15тыс.чел. в 2005г. введен в

эксплуатацию горнолыжный курорт начальной подготовки «Пужалова Гора» с 16 трассами

различной категории сложности.

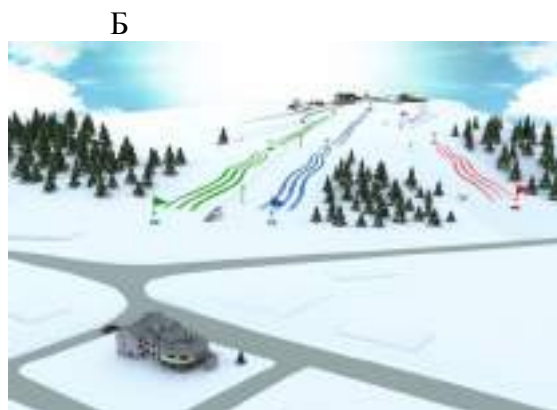


Рис.1. А - Расположение г. Гороховец [8]. Б – Общий вид ГК «Пужалова Гора» [9]

Объект имеет удобное расположение: 80км - от Нижнего Новгорода, 160км - от Владимира и 330км - от Москвы, с открытием современной автомобильной магистрали Москва - Нижний Новгород, существующее расстояние не является преградой (рис.1А), которое особенно привлекательно для любителей зимнего отдыха, проживающих в реальной близости современной трассы.

Автором создания горнолыжного курорта «Пужалова Гора» является А.В. Князев, который собрал в небольшом русском городе практически все

достижения европейских аналогов. Руководство и городская администрация поддержали его к созданию рекреационного комплекса, как еще одного направления развития исторического города.

Курорт небольшой по современным меркам (рис.1Б) - 12га, однако его максимальная загрузка может достигать до 1000 чел/день (самая высокая посещаемость в России до 100 человек на 1га обработанных склонов одновременно), что соответствует уровню европейских горнолыжных центров.



Рис.2. План горнолыжного курорта «Пужалова Гора». 1.Административное здание, 2.Кафе фаст-фуд, Детское кафе. 3.Детский городок «Страна Пингвинов», 4,5,6. Кассы, 7.Подъемник детский, 8.Детская трасса, 9.Тюбинг подъемник, 10.Тюбинг трассы, 11.Сноуборд парк, 12.Учебный подъемник, 13.Учебная трасса, 14.Главный подъемник, 15.Трассы (зеленые,синие), 16. Спортивный подъемник, 17. Трассы (красные), 18.Трасса (черная), 19.Трасса «Летние санки» 20. Стела, 21. Парковка бесплатная, 22. Парковка платная, 23. VIP парковка, 24.Трасса для беговых лыж, 25.Трасса «Верблюд», 26.Гостиница «Водолей», 27,28. Банкоматы, 29.Саночная трасса, 30.Пейнбольная площадка, тир, 31.Трасса для горнолыжного биатлона, 32.Детский каток [8]

ГК «Пужалова Гора» (рис.2) расположен в центре города, вдоль главной городской дороги на естественном склоне. Здесь все компактно и удобно: склоны, детские зоны, гостиница, администрация, банк. Приезжающие могут не только хорошо

отдохнуть и покататься на горных лыжах или сноуборде, но и приобщиться к русскому духовному наследию, которым изобилует город [7].

Территориальная структура главных плоскостных частей следующая: горнолыжные

склоны занимают около 8 га (максимальный перепад высот 70м), на тюбинг парк и детский городок, приходится около 2 га (трасса длиной 150м, шириной до 10м, перепад высот-15м), остальная территория отведена для административной и технологической зоны. Тюбинг склон оснащен специальным 100м подъемником со светопрозрачной крышей, которая позволяет с наибольшим комфортом и безопасностью достигнуть вершины даже самым маленьким. Дети до 7 лет катаются вместе с родителями, старшие-самостоятельно. Часть склона оборудована всесезонным покрытием Snowplast 365[10]. Имеющиеся в наличии 70 тюбов, обеспечивают отсутствие очередей за инвентарем, даже в дни максимальной нагрузки. Детский городок «Страна сказок» с фигурами сказочных героев, батут, двойные качели, карусель «Пиннокио», тарзанку и

другое. С сезона 2008-2009гг. реализуется австрийская программа обучения малышей катанию на горных лыжах. Для увеличения продолжительности сезона работы в 2007г. была введена в эксплуатацию система искусственного оснежения. Склоны оборудованы подъемными устройствами, в вечернее время все трассы освещены и играет музыка.

С 2008г. на горнолыжном курорте начала развитие летняя программа, она была полностью введена в эксплуатацию в 2010г, сделав объект всесезонным. Работает парк приключений «Сказочный лабиринт» с русскими сказочными персонажами и препятствиями. Введен в эксплуатацию аттракцион родельбан (спуск по монорельсовой трубе по склону) протяженностью 1000 м вниз (рис. 3А), детский городок и тюбинг парк(рис.3Б).

А



Б



Рис.3. Летние развлечения «Пужаловой Горы» А-аттракцион Родельбан [8], Б-летний тюбинг парк [фото авторов]

Каждый год организаторы предлагает новые виды развлечений. В зимнем сезоне 2016-2017г был

А



создан сноупарк со специальными сноубордическими фигурами (рис.4.А,Б)

Б



Рис.4 Сноуборд парк 2016-2107гг А. –Трамплин. Б - Прыжок через инсталляцию «Кремлевской стены»[11]

«Пужалова Гора» удостоен многочисленными наградами: Министерства спорта Российской Федерации, Международного Конгресса индустрии по зимним видам спорта, туризма и активного отдыха за большой вклад в развитие активного семейного отдыха в России и др. Объект участвовал

во многих зарубежных выставках, горнолыжных салонах, конгрессах горнолыжной индустрии, это позитивно сказалось на быстром развитии его инфраструктуры, техническом потенциале и окупаемости [12-14].

За первые шесть лет в развитие инфраструктуры центра было инвестировано около 300млн. руб., это

позволило выйти на самоокупаемость уже через 3 года, хотя срок окупаемости аналогичных объектов 15-20 лет. Такое быстрое развитие подтверждает перспективность нового направления деятельности в малых городах средней полосы России.

Посещаемость

Особенностью центра является состав его посетителей, только иногородние гости (рис.5А), постоянные жители Гороховца, не считают

возможным заниматься спортом и отдыхать в своем городе. Основными рекреантами являются группы детей из Н. Новгорода и индивидуальные посетители из Москвы, приезжающие на праздники и выходные за 400 км для получения качественного отдыха. На рис.5Б представлен график посещения объектов с учетом календарного цикла.

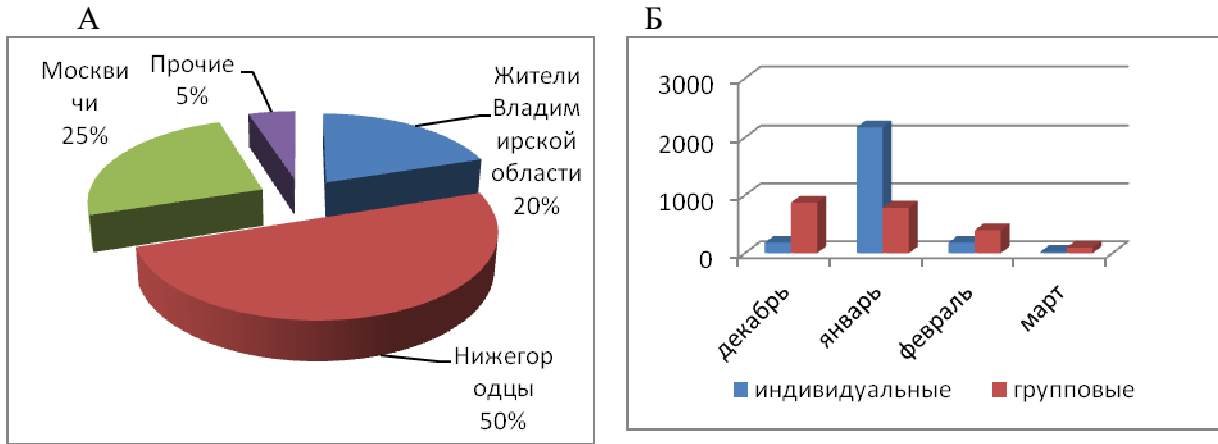


Рис.5 Структура посетителей ГК «Пужалова Гора» сезон 2104-2015гг. А-Города Б-Индивидуальные и групповые посетители

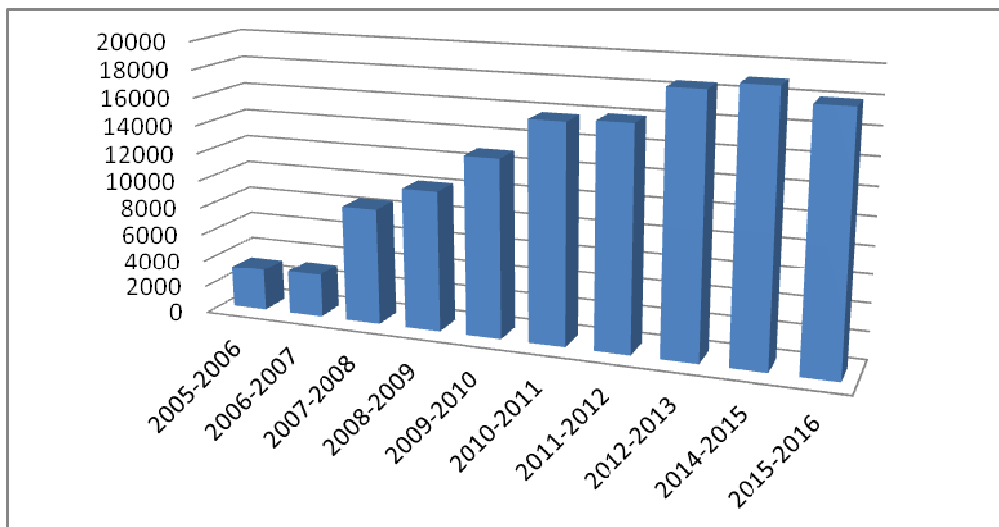


Рис. 6. Посещаемость курорта «Пужалова Гора»

Количество посетителей курорта увеличивается, однако в последние годы темп роста несколько приостановился, что связано с общим покупательским спадом (рис.6). Общее число рекреантов за 12 лет работы около 0,25 млн.чел. (на 1 жителя города приходится более 16 туристов), необходимо учитывать, что рекреационная нагрузка на город повышается только в зимний период, с пиком посещаемость в дни новогодних каникул.

Спрос на зимний активный отдых объективно зависит от:

- погодных условий (температура воздуха, наличие снежного покрова, ветер, наличие солнца);
- социальных программ (праздники, каникулы, выходные);

-технологических возможностей конкретного объекта (наличие подъемных устройств, уровень комфортности, наличие мест в гостинице, разнообразия услуг, наличие парковочных мест).

Для анализа востребованности на курорте ведется постоянное анкетирование, что подтверждает обязательную работу с клиентами и способствует развитию [15].

По результатам опросов клиентов общая оценка курорта 4,7 из 5 возможных. Количественные данные позволяет анализировать структуру посетителей отдельных частей комплекса. Общее количество посетителей тюбинг парка сезона 2014/2015гг.- 4705 человек (из них 2556 чел. –

индивидуальные посетители и 2149 чел.-групповые).

Продолжительность сезонов горнолыжных комплексов в средней полосе России приблизительно одинакова, при условии использования искусственной системы оснежения. [4,16] В основном, горнолыжный сезон открывается в 20 числах ноября и завершается в середине апреля. Каждый год отличается погодными условиями, однако в результате за сезон получается 50 выходных и праздничных дней.

Инфраструктура

Практика показывает, что групповые посетители приезжают на автобусах, а индивидуальные на личных автомобилях, это требует размещения большого количества машин рядом со склонами, поэтому в пиковые дни автомобили заполняют весь центр города. В первые годы для временной

парковки машин использовалась территория футбольного поля вблизи верхней точки курорта. Однако администрация города запретила использование спортивного объекта в качестве временной автопарковки, даже в зимнее время. На объекте стоит острая проблема с организацией стоянок, так как в структуре исторического города не предусмотрены резервные территории для временного хранения автомобилей [17,18].

Еще одно существенное ограничение развития комплекса связано с отсутствием возможности размещения большого количества гостей в зимний период. Собственная гостиница (рис.7А) на 32 номера в зимой заполнена. Номерной фонд на Новый год, зимние каникулы, 8 марта, 23 февраля раскупаются еще ранней осенью (рис.7Б). Остальной период времени гостиницей пользуются желающие, не имеющие отношения к ГК «Пужалова Гора».

А



Б

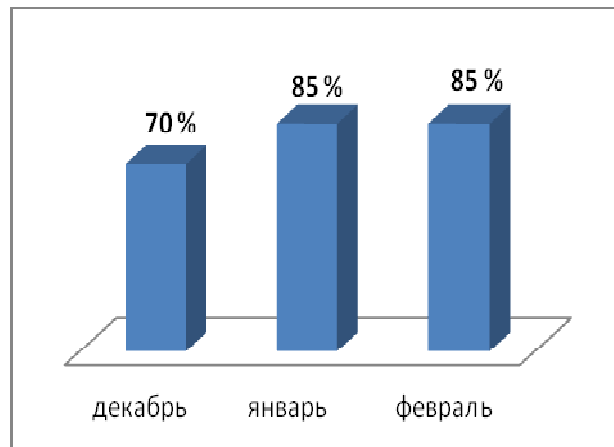


Рис.7. Гостиница «Водолей». А- Общий вид. Б - График загруженности гостиницы в основной период работы.

Экономическая эффективность

При рассмотрении экономики деятельности следует заметить быструю окупаемость данного проекта (рис. 8). Максимальная дневная выручка 3 и 7 января – 770тыс. руб. без учёта общепита и гостиницы, а также рекламы на курорте. Средняя дневная выручка сезона 2010-2011гг.– 400тыс.руб. в выходные и праздничные дни, за сезон – 23700тыс. руб. при длительности сезона (04.12-04.04.) Будние дни не столь насыщены посетителями, поэтому и

выручка составляет около 10 тыс. руб. в день. При полноценной работе всех служб курорт способен реально получать среднюю выручку около 800 тыс. руб. в выходные и праздничные дни, что позволяет не только покрыть расходы, но инвестировать в развитие объекта. В летнее время с мая по октябрь сезон курорт способен зарабатывать 500 тыс. рублей в месяц, что покрывает расходы на межсезонье и заработную плату персонала, работающего на постоянной основе (20 человек).

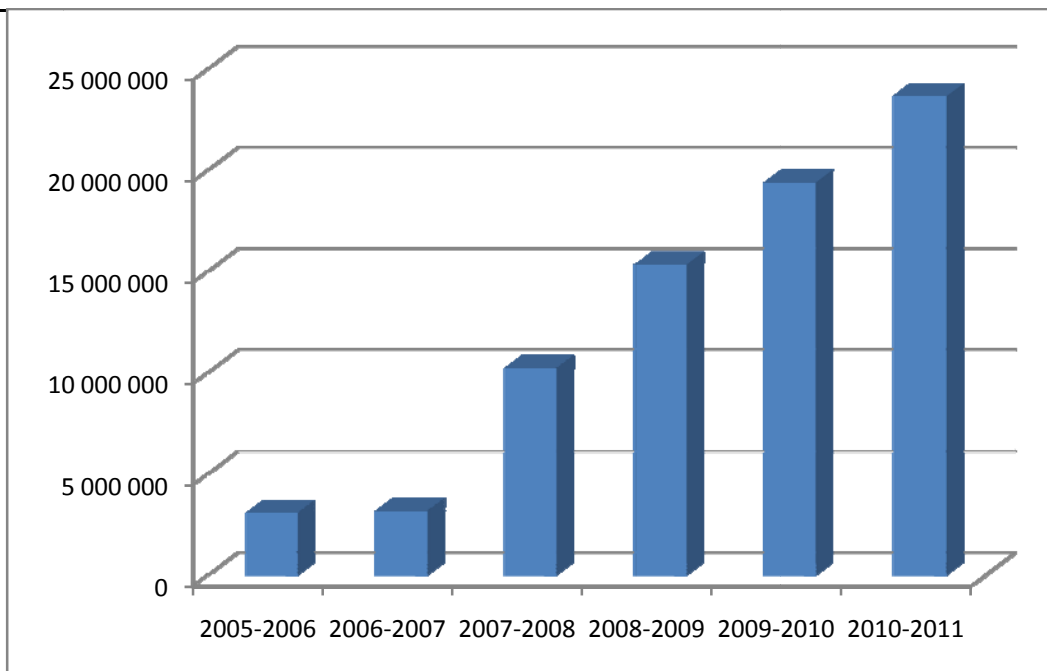


Рис.8. Сезонная выручка ГК «Пужалова Гора»

Продолжительность сезонов горнолыжных комплексов в средней полосе России приблизительно одинакова, при условии использования искусственной системы оснежения. Обычно горнолыжный сезон открывается в 20х числах ноября и работает до середины апреля, однако бывают климатические отклонения. В общей сложности за сезон обычно получается в среднем одинаковое количество дней, которые «кормят» объект в течение года.

На протяжении нескольких сезонов цены на услуги горнолыжного курорта остаются постоянными в связи с экономическими проблемами, а также необходимостью узнаваемости новыми клиентами и получения их лояльности. Цены на равнозначные услуги по сравнению с московскими горнолыжными курортами ниже на 30-100%.

Технологические особенности

Для увеличения продолжительности сезона и увеличения их экономической эффективности на современных аналогичных комплексах широко используют искусственное снегообразование, которое представляет технически сложную систему переработки воды через специальные устройства

(снегогенерирующие пушки и ружья) для получения аналога естественного снега. [16,19,20] Снег должен быть в достаточном количестве, подготовлен и уложен специальными бульдозерами-растраками. Высокая степень подготовки горнолыжных склонов необходима для обеспечения безопасности спортсменов и рекреантов, особенно это касается зон работы подъемных устройств, зоны старта и выката.

Для начала создания искусственного снега высокого качества требуется холодная, устойчивая погода, наличие техники и квалифицированного персонала. Это очень кропотливая и дорогостоящая работа должна быть проведена за 2-3 недели до начала работы сезона катания. Бывает, что практически готовые к началу сезона склоны неожиданно смываются потоком дождя.

Для понимания объемов потребления воды приведем приблизительный расчет $1\text{ м}^3\text{ воды}=1,5\text{ м}^3\text{ снега}$. Это очень приблизительные цифры, показатели выхода снежной массы полностью зависят от погоды (температуры воздуха, влажности, наличия и направления ветра) и места расположения и мощности снегогенерирующих устройств.

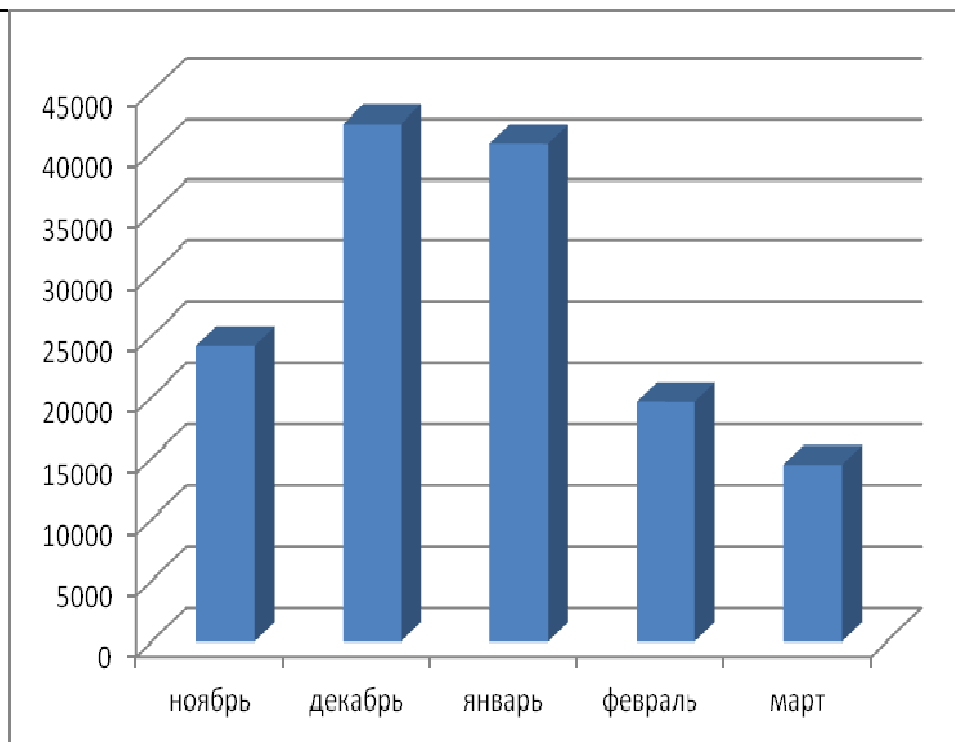


Рис. 9. Потребление энергии (кВт) горнолыжного курорта «Пужалова Гора» г. Гороховец 2015-2016 гг.

Приведем конкретные данные работы горнолыжного курорта в сезоне 2015/2016, продолжительность которого составила 3,5 месяца. За 2 недели до открытия склоны начали снежить. На графике (рис.9) видно начало потребления энергии для генерации снега в ноябре 2015г., пик потребления находится в декабре и январе. Февраль - завершающий месяц активного сезона, потребление энергии на производство снега завершается, электричество требуется только на работу подъемных устройств и технические нужды.

Перспективы

Несмотря на то, что между крупными горнолыжными комплексами с высокими склонами и малыми с пологими и короткими горками существует значительная конкуренция, существует значительный прогресс в развитии общей системы рекреационных зимних спортивных объектов за счет многообразия форм и типов действующих спортивных центров.

Наличие значительных территорий с разнообразными трассами большой протяженности и перепадами высот, позволяют гигантам сохранять высокие цены на услуги, за счет высокого уровня сервиса, что позволяет модернизировать их технологическое оборудование. Комплексы с высокими длинными склонами борются за проведение соревнований, которые означают имидж и соответственно средства, которые можно вкладывать в развитие. Благодаря этому, строятся новые трассы, расширяется ассортимент услуг, появляется возможность загрузить курорт на 100%, что обязательно приводит к некоторому снижению цен. Малые горнолыжные курорты не могут

позволить себе такого развития, однако необычные и специализированные объекты, в том числе ориентированные на семейный отдых, начальный уровень подготовки с высоким уровнем сервиса и комфорта составляют высокую конкуренцию в своем секторе рынка.

На основании серьезной и систематической работы по исследованию рынка зимних услуг курорт «Пужалова Гора» разрабатывает продуманную стратегию дальнейшего развития, которая включает исследование рынка специализированных центров, разработку новых видов склонов и модернизация существующей инфраструктуры. Планируется строительство коттеджей и кемпинга на территории курорта, что позволит после проведения всего комплекса мероприятий, претендовать на расширение рынка.

ВЫВОДЫ

Анализ работы курорта с позиции устойчивого развития деятельности показывает, что малые рекреационные центры имеют значительный потенциал развития, однако для сокращения срока окупаемости необходимо проводить комплексное обследование аналогичных объектов. Анализ складывается из изучения опыта подобных объектов в радиусе влияния (30-200км), их наполняемости, перечня предлагаемых услуг и природных особенностей. Только комплексный анализ градостроительной, технологической, социальной и административной ситуации позволит полноценно использовать имеющийся потенциал территории для рационального развития в целях рекреационной и спортивной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крапивина М.Г., Тикунова И.Н. Классификация горнолыжных курортов Европы. Ж. Наука. Инновации. Технологии. 2015 №1. С.161-163
2. Горланова А.А., Балакина А.Е. Архитектурная типология городских сноупарков/ Научное обозрение. 2016. №12. С 33-37.
3. Афонина М.И. Городские сноупарки – динамично развивающиеся объекты рекреации и спорта / Экология урбанизированных территорий N 4. 2014г. С.49-53
4. Афонина, М.И. Рекреационные тубинг-парки - планировочные и конструктивные решения/М.И. Афонина, М. Паираванд, Е.С.Соколова//Экология урбанизированных территорий. -2015. -№ 3. -С. 79-83.
5. Панченко П. В. Пути совершенствования горнолыжных комплексов юга России / Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 156—161.
6. Андреев Н.И. Гороховецкий край. Очерки прошлого. Гороховец, 1995. - 75 с.
7. Афонина, М.И. Иванов С.В. Опыт и перспектива использования покрытий-заменителей снега в зимних и рекреационных спортивных комплексах / Ж «Экономика строительства и природопользования» 2016 № 1 С.66-72
8. <http://www.puzhalova.ru/photos/102/>
9. Афонина М.И. Щербина Е.В. Пространственная и территориальная организация объектов для зимних видов спорта (российский опыт)/Ж. Биосферная совместимость: человек, регион, технологии – 2016- № 2(14). С. 29-37
10. Ветрова, Н.М. Экологическая безопасность рекреационного региона [Текст]: монография / Н.М. Ветрова. — Симферополь: РИО НАПКС, 2006. — 297 с.,
11. Щербина, Е.В. Некоторые вопросы обеспечения экологической безопасности объектов рекреации и спорта / Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, материалы/Е.В. Щербина, М.И. Афонина//Энергосбережение и экологическая безопасность: Крымская Международная научно-практическая конференция, Крым, Симферополь. -2014. -№ 3(7). -С. 82-85.
12. Z. Ivanova, M. Afonina Setting objectives and developing planning concepts as part of the process of design of Russian urban recreation areas (the social aspect) Procedia Engineering 165(2016) 1402–1409 www.iencedirect.com/science/article/pii/S1877705816342321
13. Основа успешного зимнего туризма- Искусственное оснежение/ BACKSTAGEMAGAZINE
14. Власов Д.Н., Данилина Н.В. Математическое моделирование как инструмент транспортно-планировочной организации города./ Вестник МГСУ. 2010. № 4-5. С. 169-173
15. Щербина Е.В., Слепнев М.А. Система градостроительных регламентов для обеспечения устойчивого развития территорий /Научное обозрение. 2016. № 6. С. 240-244.

16. M. Afonina A.Marshalkovich The peculiarities of the construction and the resource provision of modern winter sports and recreational complexes The collection includes 8th International Conference «Science and Technology» by SCIEURO in London, 23-29 April 2017 №1, V.2 2017 P.50-63 https://yadi.sk/d/OcbKUt_V3HyTKD

17. Мехов К. С. Процессы получения искусственного снега и его физические свойства // Проблемы инженерной гляциологии. Новосибирск: Наука, 1986. С. 84-87.

REFERENCES

1. Krapivina M. G., Tikunova I. N. The classification of ski resorts in Europe. J. Science. Innovation. Technology. 2015 No. 1. With. 161-163
2. Gorlanova A. A., Balakina A. E. Architectural typology, urban snowparks/ Scientific review. 2016. No. 12. With 33-37.
3. Afonina M. I. Urban snow parks – fast-growing recreation and sports / Ecology of urbanized areas N 4. 2014. P. 49-53
4. Afonina M. I. Recreational tubing parks - planning and design solutions/M. I. Afonina, M. Paravant, E. S. Sokolova//Ecology of urbanized areas. - 2015. - No. 3. -Pp. 79-83.
5. Panchenko, P. V. the ways of improvement of ski resorts in the South of Russia / the Bulletin]. state architectural.-builds. Univ. Ser.: Construction and architectural. 2011. Vol. 23(42). S. 156-161.
6. Andreev N. And. Gorokhovetsky edge. Essays of the past. Gorokhovets, 1995. - 75 S.
7. Afonina M. I. Ivanov S. V. Experience and prospects of use coatings substitute of snow in the winter and recreational sports complexes / W "the Economics of the construction and environmental management" 2016 No. 1 С. 66-72
8. <http://www.puzhalova.ru/photos/102/>
9. Afonina M. I. Shcherbina E. Spatial and territorial organization of facilities for winter sports (Russian experience)/J. Biosphere compatibility: people, region, technology – 2016- № 2(14). S. 29-37
10. Vetrova, N. M. Environmental safety recreational region [Text]: monograph / N. M. Vetrov. — Simferopol: RIO NAPCS, 2006. -297 S.,
11. Shcherbina E. V. Some issues of ensuring ecological safety of objects of recreation and sport / Biosphere compatibility: people, region, technology, materials/E. V. Shcherbina, M. Afonina I//energy Saving and environmental safety: Crimean international scientific conference, Crimea, Simferopol. -2014. -№ 3(7). -P.82-85.
12. Z. Ivanova, M. Afonina Setting objectives and developing planning concepts as part of the process of design of Russian urban recreation areas (the social aspect) Procedia Engineering 165(2016) 1402-1409 www.iencedirect.com/science/article/pii/S1877705816342321
13. The basis of successful winter tourism- Artificial snow/ BACKSTAGEMAGAZINE
14. Vlasov D. N., Danilina N. In. Mathematical modeling as a tool for transportation and planning

organization of the city./ Vestnik MGSU. 2010. No. 4-5. P. 169-173

15. Shtsherbina E. V., Slepnev M. A. the System of town-planning regulations for sustainable development of territories /Scientific review. 2016. No. 6. P. 240-244.

16. M. A. Afonina Marshalkovich The peculiarities of The construction and the resource

provision of modern winter sports and recreational complexes, The collection includes 8th International Conference "Science and Technology" by SCIEURO in London, 23-29 April 2017 No. 1, 2017 V. 2 p. 50-63 https://yadi.sk/d/OcbKUt_V3HyTKD

17. Bellows, K. C. Processes of artificial snow and its physical properties // Problems of engineering glaciology. Novosibirsk: Nauka, 1986. P. 84-87.

Afonina M.I., Knyazeva O.L.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF A RECREATIONAL FACILITY TO PROVIDE ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF THE "PIJALOVA MOUNTAIN" SNORK SPA)

Summary. There is a need for a systematic study of the many heterogeneous objects of winter recreation. The work described in detail the ski resort «Puzhalova Gora» in Gorokhovets. Detailed analysis of the facility includes the study of: territorial structure, zone of influence, composition and specifics of visitors, engineering and transport infrastructure, economic efficiency, consumption of resources (electricity and water), etc. Quantitative data are presented that allow analyzing the structure of users, including its individual parts, for example, the tubing of the park. The objective necessity of all-season operation of a recreational complex is revealed. The material contains photographs that make it possible to visualize the object of research. The presence of diagrams and graphs indicates a long survey period. Subjective and objective factors affecting the development of winter recreation facilities have been identified.

Key words: ski resort, recreational areas, «Puzhalova Gora», historical city, sustainable development, all-season family vacation.

РУКОВОДСТВО 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 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)

[Лицензионный договор о предоставлении права использования статьи](#)

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия –загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты lisa.858@yandex.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 B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

УДК в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами

Название статьи шрифт TNR 12 пт все прописными.

Имя и фамилия автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.

Место работы авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail

Аннотация статьи (Abstract) 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.

Предмет исследования (Subject): 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

Некоторые общие положения.

Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.

Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.

Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.

Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).

Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.

Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).

Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.

В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.

В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.

Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.

При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.

От редколлегии

В статье журнала «Строительство и техногенная безопасность» №7(59)-2017 «ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ» на стр. 141 авторов статьи следует читать Захаров Р.Ю., Волкова Н.