

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 11(63) – 2018

Основан в 1996 году.

Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

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

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

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

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

Главный редактор

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

Заместители главного редактора:

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

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО

И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 11(63) – 2018

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 2 от 07.06.2018)

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

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

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

Подписан в печать 31.08.2018.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

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

Тираж 100 экз.

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

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
<http://cfuv.ru>, io_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 каталогу агентства «Роспечать».
Подписной индекс: 64974 (полугодовая).
Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЛЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА <i>Зуева А. А., Нагаева З. С.</i>	7
ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ <i>Живица В.В., Сорокина Н.А.</i>	15
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛНИСТЫХ ОБОЛОЧЕК <i>Чепурненко А.С., Кочура В.Г., Сайбель А.В.</i>	27
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗДАНИЙ <i>Кузьмичев А.А.</i>	33
РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОГО МАССОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗДАНИЙ <i>Азаров В.Н., Кузьмичев А.А., Соловьева Т.В.</i>	39

Раздел 2. Строительство

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ <i>Братчун В.И., Беспалов В.Л.</i>	47
ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ <i>Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Костандов Ю.А., Бахтин А.С., Коваленко С.Н.</i>	57
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САНАЦИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ <i>Цона Н.В.</i>	67
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НАРУЖНЫХ СТЕН, ПОЛОВ И КРОВЕЛЬ <i>Шаленный В.Т.</i>	79
ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ <i>Любомирский Н.В., Николаенко Е.Ю., Николаенко В.В., Бахтин А.С.</i>	89

Раздел 3. Инженерное обеспечение

ОПЫТ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИЯ <i>Дарманян А.П., Урецкий Е.А., Субботкин Л. Д. Мороз В.В.</i>	97
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЧАСОВОГО МАКСИМУМА ПРИ ЧИСЛЕ ЖИТЕЛЕЙ МЕНЕЕ ТЫСЯЧИ ЧЕЛОВЕК <i>Боровский Б.И., Духтярь Т.В.</i>	105
ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМУ КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ КРЫМА <i>Муровская А.С.</i>	109

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ <i>Пашенцева Л.В., Пашенцев А.И.</i>	119
МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЦЕПИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ <i>Сокут Л.Д., Муровский С.П., Акуличев Н.М.</i>	129
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ <i>Аверкова О.А., Логачев К.И., Уваров В.А</i>	137
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ <i>Николенко И.В., Котовская Е.Е., Фетляев Э.Э.</i>	147
ЗАВИСИМОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ, МОЩНОСТИ И ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ МАШИН ОТ ЧАСТОТЫ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ <i>Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Абибуллаев А.Н.</i>	161
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ <i>Федюшко Ю. М.</i>	171
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ БОЛЬШИХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК <i>Сопов И.В., Муровская А.С.</i>	175
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКЦИОННЫХ ДОВОДЧИКОВ В ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ <i>Топорен С.С., Яценко А.Э.</i>	183
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА В СООРУЖЕНИЯХ ПОЛУОТКРЫТОГО ТИПА <i>Зайцев О.Н., Дихтярь Т.В., Циплина А.А.</i>	187
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ БИФИЛЯРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ. <i>Зайцев О.Н., Степанцова Н.А., Эмирова Э.Э.</i>	195
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИОННОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ СТОКОВ <i>Леонтьев А.В., Стом Д.И., Толстой М.Ю., Чижик К.И.</i>	205

Раздел 4. Экологическая безопасность

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ПОБЕДНАЯ (ГЛАВНОГО КОЛЛЕКТОРА №5) <i>Тимченко З.В.</i>	213
ЛИСТ ПАМЯТИ	221
СПИСОК АВТОРОВ	225
РУКОВОДСТВО ДЛЯ АВТОРОВ	227

CONTENT

Section 1. Town planning

SYSTEM APPROACH IN THE STUDY OF THE TOWN-PLANNING ORGANIZATION OF RESIDENTIAL FORMATIONS UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA <i>Zueva A.A., Nagaeva Z. S.</i>	7
PRINCIPLES OF TERRITORIAL PLANNING PLACEMENT OF TOURISTIC CLUSTERS IN THE REPUBLIC OF CRIMEA <i>Zhivitsa V.V., Sorokina N.A.</i>	15
FINITE-ELEMENTAL ANALYSIS OF THE STRESS-DEFORMED CONDITION OF WAVEFORM SHELLS <i>Chepurnenko A.S., Kochura V.G., Saybel A.V.</i>	27
EXPERIMENTAL STUDIES OF ADHESION OF URBAN DUST ON VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS <i>Kuzmichev A.A.</i>	33
CALCULATION OF THE INTEGRATED MASS COEFFICIENT OF ADHESION OF URBAN DUST ON VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS <i>Azarov V.N., Kuzmichev A.A., Solovyeva T.V.</i>	39

Section 2. Construction

ABOUT THE PURPOSE OF COMPLEX MODIFICATION OF ROAD ASPHALT-CONCRETE <i>Bratchun V.I., Bespalov V.L.</i>	47
STRENGTH AND DEFORMATION OF CONSTRUCTION MATERIALS OF FORCED CARBONATE TERRORISM <i>Lyubomirsky N.V., Fedorkin S.I., Kostandov Yu.A., Bakhtin A.S., Kovalenko S.N.</i>	57
ANALYSIS OF THE BASIC METHODS OF CARRYING OUT THE ENERGY SANATATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS <i>Zopa N.V.</i>	67
RESOURCE-SAVING DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF APPLICATION OF FANS FROM FANS IN MULTI-LAYER DESIGNS OF EXTERNAL WALLS, FLOORS AND ROOF <i>Shalenny V.T.</i>	79
PROCESSES OF STRUCTURAL FORMATION OF A GAZ-CONCRETE NEO-MAXIMUM SOLIDITY AT FORCED INTERACTION WITH CARBON-GAS GAS <i>Lyubomirsky N.V., Nikolaenko E.Yu., Nikolaenko V.V., Bakhtin A.S.</i>	89

Section 3. Engineering Support

EXPERIENCE OF THE RECYCLED USE OF SEWAGE WATER AT THE ENTERPRISE OF MACHINERY AND ENGINEERING <i>Uretskiy E.A., Subbotkin L.D. Moroz V.V.</i>	97
DETERMINATION OF THE VALUES OF THE COEFFICIENT OF A HOUR MAXIMUM WITH A LIVING FEWER THAN THOUSANDS OF PEOPLE <i>Borovsky B.I., Dikhtyar T.V.</i>	105
INTRODUCTION OF NEW SCHEMATIC SOLUTIONS TO THE COMBINED ELECTRICITY SYSTEM OF RESIDENTIAL FACILITIES OF CRIMEA <i>Murovskaya A.S.</i>	109

SYSTEMATIZATION OF FACTORS INFLUENCING THE RELIABILITY OF OPERATION OF THERMAL NETWORKS <i>Pashentseva L.V., Pashentsev A.I.</i>	119
MODELING OF THE UNIVERSAL SEMICONDUCTOR CONVERTER IN THE CHAIN OF ELECTRIC MACHINES OF MIDDLE AND BIG POWER <i>Sokut L.D., Murovsky S.P., Akulichev N.M.</i>	129
ENERGY SAVING IN EXHAUST VENTILATION SYSTEMS <i>Averkova O.A., Logachev K.I., Uvarov V.A.</i>	137
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF INTRODUCING THE CONTINUOUS WASHING SYSTEM ON WATER-WATER PURIFICATION FACILITIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA <i>Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Fetlyayev E.E.</i>	147
DEPENDENCE OF SLIPPING, POWER, AND ROTATING TIME OF ASYNCHRONOUS MACHINES FROM THE NETWORK FREQUENCY IN TRANSITION MODE OF OPERATION <i>Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Abibullaev A.N.</i>	161
METHODS OF DIAGNOSTICS AND ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES BY GEORADIOLOGICAL METHODS <i>Fedyushko Yu. M.</i>	171
AUTOMATION OF CALCULATION OF SOME PARAMETERS OF THE POWER CONTROL SYSTEM OF LARGE VETROELECTRIC INSTALLATIONS <i>Sopov I.V., Murovskaya A.S.</i>	175
APPLICATION OF EQUEROUS PERFORMERS IN OFFICE SPACES <i>Toporen S.S., Yatsenko A.E.</i>	183
IMPROVEMENT OF MICROCLIMATE SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION OF THE SEMI-CURRENT TYPE <i>Zaitsev O.N., Dikhtyar T.V., Tsiplina AA.</i>	187
IMPROVEMENT OF THE WORK OF BIFILARY HYDRAULIC CHANGED SYSTEMS OF WATER HEATING. <i>Zaitsev O.N., Stepantsova N.A., Emirova E.E.</i>	195
INVESTIGATION OF THE INTENSIFICATION OF FLOTATION AND BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PROCESSES BASED ON THE APPLICATION OF MODEL STRAWS <i>Leontiev A.V., Stom D.I. , Tolstoy M.Y., Chizhik K.I.</i>	205

Section 4. Environmental safety

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE POBEDNAYA RIVER (THE GENERAL COLLECTOR № 5) <i>Tymchenko Z.V.</i>	213
MEMORY SHEET	221
LIST OF AUTHORS	225
GUIDELINES FOR AUTHORS	227

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЛЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Зуева А. А., Нагаева З. С.

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

Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

¹ e-mail: zueva-anna-91@yandex.ru

² e-mail: zarema.nagaeva@gmail.com

Аннотация. В статье дана общая характеристика истории возникновения и развития системного подхода в науке. Особое внимание уделено методике системного подхода в архитектуре и градостроительстве. На основе существующих исследовательских подходов в системной теории дана характеристика методике системного подхода в исследовании градостроительной организации жилых образований в условиях Южного берега Крыма (ЮБК). Предложен трехчастный подход в исследовании градостроительных объектов, базирующийся на оценивании объекта по трем критериям: структурно-функциональному, пространственному, морфологическому.

Ключевые слова: методика системного подхода, градостроительная организация системы жилых образований, Южный берег Крыма, структурно-функциональный критерий, пространственный критерий, морфологический критерий.

ВВЕДЕНИЕ

Данное исследование направлено на поиск методологической базы для исследования структурно сложных градостроительных объектов.

Системный анализ как метод научного познания в советской науке начал формироваться в 60-80 гг. XX в. Передовыми научными дисциплинами, перешедшими на «рельсы» системного анализа стали биология, психология, физика, история, системотехника, кибернетика, социальные и др. науки. Системный подход в архитектуре и градостроительстве используется все чаще, т.к. позволяет исследовать более структурно сложные объекты.

Под методом системного анализа понимается метод научного познания, позволяющий комплексно оценить исследуемый объект, представляя его как систему, состоящую из структурных элементов и связей между ними. Такой подход к исследованию объекта дает обобщенно-полное представление о нем как о целом, о его поведении, а также о его частях (структурных элементах) на различных структурных уровнях, в различных временных интервалах.

Цель исследования: дать характеристику методике системного подхода в исследовании градостроительной организации жилых образований в условиях Южного берега Крыма (ЮБК).

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. дать общую характеристику истории возникновения и развития системного подхода в науке;
2. дать характеристику методике системного подхода в архитектуре и градостроительстве;
3. определить основные положения методики системного подхода в исследовании градостроительной организации жилых образований в условиях ЮБК.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Теоретической базой для написания данной работы послужили труды советских и зарубежных ученых, рассматривавших проблемы методологии системного подхода в науке:

1. работы, опубликованные в ежегоднике «Системные исследования» Научно-исследовательского института системных исследований [1,2,3,4], в частности следующих авторов: И. В. Блауберга, В. Н. Садовского, Э. Г.

Юдина, Л. фон Берталанфи, В. М. Розина, А. Э. Гутнова. В ежегоднике представлены как общие проблемы и подходы в методологии системных исследований, так и частные – в отдельных научных дисциплинах.

2. работы П. К. Анохина по общей теории функциональных систем [5]. Не смотря на то, что работы П. К. Анохина посвящены системному анализу в нейрофизиологии, в методологическом плане его работы имеют большое значение, в части выделения системообразующего фактора, идентифицирующего систему.

3. работа Дж. Форрестера «Динамика развития города» [6], раскрывающая сущность системного подхода при анализе и моделировании городской структуры.

Научные работы, послужившие методологической основой в исследовании градостроительной организации системы жилых образований в условиях ЮБК:

1. исследования А. Э. Гутнова по структурно-функциональной организации городской среды, описанные в работе «Эволюция градостроительства» (1984 г.) [7], а также в статьях ежегодника «Системные исследования» 1977, 1985 года издания [3,4];

2. исследования Г. И. Лаврика по методологическим основам проектирования [8].

3. исследования в области архитектурной и градостроительной морфологии отечественных и зарубежных авторов: А. Э. Гутнова [3,4,7], М. В. Шубенкова [9], Ю. С. Янковской [10], Т. Ю. Петуниной [11], О. А. Шипициной, Л. Кожановой [12], В. Оливейра (V. Oliveira) [13], О. Чалышкан (O. Çalışkan) [14], С. Маршалл (S. Marshall).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании использованы литературные источники, посвященные общетеоретическим вопросам системного подхода [1,2,3,4,5], а также литературные источники, раскрывающие сущность системного подхода в частных вопросах архитектуры и градостроительства [6,7,8].

Исследуя общетеоретические положения системного подхода в науке и, в частности, в архитектуре и градостроительстве в большей степени использован метод анализа. Применяя основные положения системного подхода к градостроительной организации жилых образований

в условиях ЮБК использованы методы анализа, синтеза, индукции, дедукции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

1. История возникновения и развития системного подхода в науке.

Концепция «общей теории систем» [1] была предложена Л. фон Берталанфи в 30-х гг. XX в. «Термин «система» далеко не всегда явно выделялся, эта история богата именами многих философов и ученых» [1, с. 34-35]. Так тезис о теории систем (физических систем) был выдвинут В. Кёлером в 1927 г. А. Лотка еще в 1925 г. «рассматривал общее понятие системы, не ограничивая его физическими системами» [1, с. 35].

Первопричина возникновения теории систем обусловлена необходимостью «построения научного объяснения и теоретического знания в тех областях науки, где прежде их не было, и достижения более высокой степени обобщения» [1, с. 38]. Такого комплексно-обобщенного представления об исследуемом объекте не могла дать, господствующая в то время традиционная механистическая теория (индуктивный подход, редукционализм), которая базировалась на принципе «от частного к общему», т. е. сумма свойств отдельных элементов составляет и формирует свойство целого. Такой подход возможен при условии простых структур, где отсутствуют либо присутствуют в незначительной степени взаимодействия между элементами, а также любые взаимодействия между элементами являются линейными.

Системный подход (дедуктивный подход, холизм) базируется на принципе «от общего к частному», т.е. целое формирует свойства и поведение частей.

Л. фон Берталанфи описывал системный подход в биологии – «организмическую концепцию», которая рассматривала организм как целое или систему на различных его уровнях.

Впоследствии данная теория распространилась на биофизику «путем обобщения кинетических принципов и термодинамической теории» [1, с.36].

В процессе обобщения «организмической концепции» использование системного подхода стало возможным в других отраслях научного знания. А с развитием системотехники и кибернетики в 60-70 гг. XX в. «системный подход стал насущной необходимостью» [1, с.31] и являлся

главной методологической основой любых исследований. Так системный подход, утвердившись в биологии и психологии, проник в физику, историю, социальные и др. науки.

В 60-80 гг. XX в. происходит поиск основных понятий и положений системного подхода в различных отраслях научного знания. В настоящее время в условиях быстроизменяющейся действительности системный подход трансформировался в синергетический подход. Но общей методологической основы синергетического подхода пока не выработано.

2. Системный подход в архитектуре и градостроительстве.

«Отдельные попытки использовать представления, близкие к системным, можно найти еще в 20-30-х годах [прим. автора: XX века] в работах одного из первых методологов проектирования, В. Розенберга» [2, с.345]. В работе А. В. Розенберга «Философия архитектуры» (1923 г.) предприняты первые попытки систематизировать знания об архитектурных объектах и архитектурной деятельности – выделены общие основания *теории проектирования архитектурных сооружений* как «науки»¹.

Исследованию основных положений системного подхода в архитектуре и градостроительстве посвящены работы многих ученых. В рамках данной работы наиболее ценными являются исследования А. Э. Гутнова и Г. И. Лаврика.

А. Э. Гутнов определял системный подход «как способ упорядочения теоретических представлений, естественно возникающих в процессе осмысления эмпирического материала в градостроении» [3, с. 212]. Градостроительную систему А. Э. Гутнов рассматривал по структурно-функциональному принципу, а не по принципу функционального зонирования, предложенного Т. Гарнье в 1918 г. Рассматривая город как градостроительную систему, А. Э. Гутнов выделял структурные элементы: каркас и ткань. Градостроительную систему автор описывал через характеристику каркаса. Данное положение системного исследования очень важно для нас, т.к. населенные пункты ЮБК имеют уникальный каркас, во многом

определенный рельефом местности и особенностями социально-экономической деятельности региона. Исследуя градостроительную систему, А. Э. Гутнов выделял в ней иерархические уровни и указывал на необходимость учета этапов ее временного развития. Выводы и положения его исследований во многом опережали время и на сегодняшний момент являются особенно актуальны при анализе градостроительной организации жилой среды ЮБК.

Большое значение в методике системного подхода имеют работы Г. И. Лаврика. В работе автора [8] представлены основные положения системного подхода архитектуре, в частности, определены основные свойства сложных систем, дана характеристика элементам, структуре, состоянию, поведению системы, а также указаны основные положения по моделированию систем. Исследования Г. И. Лаврика представляют для нас большую ценность, т.к. в них определены основные положения системного подхода в архитектуре на примере жилища. «Объект архитектурной науки о жилище является не технической системой, регулируемой на основе технико-экономических критериев, а системой взаимодействия населения и окружающей его материальной среды – экологической системой (демоэко-системой), обеспечивающей необходимые условия жизнедеятельности людей и направленной на удовлетворение его биологических и социальных потребностей» [8, с.13]. На примере архитектуры жилища Г. И. Лаврик выделяет общие принципы функционирования системы: принцип компактности, принцип определяющих признаков, принцип инвариантности структуры [8].

3. Методика системного подхода в исследовании градостроительной организации жилых образований в условиях ЮБК

Жилое образование является частью градостроительной системы. В условиях Южного берега Крыма жилые образования составляют большую часть градостроительной системы. Если в советский период жилым образованиям отводилась конкретная обособленная территория, то в настоящее время жилые образования занимают основную часть урбанизированной территории

¹ «...приведа в систему все сведения, необходимые для проектирования сооружений различного назначения, и установив общие методы проектирования, мы получим науку, которую и можно назвать теорией проектирования архитектурных

сооружений» [с. 4, Розенберг А. В. Философия архитектуры: Общие основания теории проектирования архитектурных сооружений. Петроград. «Начатки знаний». -- 1923 г. – 125 с.].

ЮБК, проникая в другие функциональные зоны и видоизменяя свою первоначальную функцию. Возникла необходимость анализа всей урбанизированной территории ЮБК, представляя населенные пункты этой территории как цельные жилые образования, объединенные в систему.

Проведя предварительный анализ существующего положения градостроительной организации жилой застройки на ЮБК, стало очевидно, что проблемы, существующие на одном структурном уровне, повторяются на других в большей или меньшей степени. К примеру, транспортные проблемы в масштабах региона транслируются на уровнях населенных пунктов и их районов. Проблемы, связанные с обликом жилой застройки, в масштабе региона незначительны, а при приближении до уровней населенного пункта, района, квартала становятся более существенными. С увеличением масштаба рассмотрения градостроительной организации жилых образований, переходя от масштаба региона к масштабам населенного пункта, района, квартала, сложившиеся проблемы носят более острый характер и становятся более очевидными. Отсюда возникает необходимость рассмотрения структуры жилых образований на всех уровнях, даже если на верхних уровнях проблема не столь существенна.

Также в ходе предварительного исследования было установлено, что жилые образования на ЮБК всегда стремились и стремятся к развитию. Это утверждение и послужило рабочей гипотезой исследования. В связи с этим возникла необходимость определения исследуемых элементов системы, которые наибольшим образом участвуют в процессе развития жилых образований.

Учитывая общую «повестку дня» в градостроительстве – раскрытие особенностей «региональной градостроительной идентичности»²,

ставилась задача поиска таких исследовательских подходов, которые в полной мере проявили бы Южнобережную особенность градостроительной организации жилых образований.

Подводя итог вышеизложенному, следует указать, что **под системным подходом в данном исследовании нами понимается особая организация таких элементов системы, которые в полной мере раскрывают особенность градостроительной организации жилых образований на ЮБК.**

Цель использования системного подхода в исследовании градостроительной организации жилых образований в условиях ЮБК обусловлена необходимостью структурирования огромного количества имеющейся информации для определения системных проблем и поиска их решения на всех структурных уровнях.

Задачами системного подхода в данном исследовании являются:

1. Определение структурных уровней исследования градостроительной организации жилых образований и их взаимосвязей;
2. Определение системообразующих элементов, наиболее сильно влияющих на процесс формирования градостроительной организации жилых образований, и их характеристик;
3. Определение характерных черт «региональной градостроительной идентичности» жилых образований.

Система жилых образований в условиях ЮБК – это сложнейшая нелинейная многоуровневая система, состоящая из большого количества элементов и их взаимосвязей. Для упорядочения данной системы возникла необходимость введения «детерминирующего фактора» [5], идентифицирующего систему. В роли такого «фактора» выступили критерии оценивания градостроительной организации жилых образований. Градостроительная организация системы жилых образований в условиях ЮБК исследуется с позиции трех системообразующих критериев: пространственного, структурно-функционального и морфологического.

Пространственный критерий позволяет охарактеризовать структуру системы в четырех разномасштабных уровнях: в масштабе региона,

² Региональная (пространственная, территориальная) градостроительная идентичность – это явление и научно-практическая категория, фиксирующие результат региональной градостроительной идентификации. Последняя представляет собой процесс осознания, эмоционального восприятия и оценки «географическими индивидами» (личностью, социальной группой, территориальной общностью) своеобразия предпосылок, подходов, форм, способов, средств, приемов и результатов архитектурно-градостроительного обустройства

урбанизированных территорий, городов и иных поселений, которое присуще региону – гомогенному пространству – месту, «имеющему физико-географическую, этническую, культурную, языковую общность, а также общность хозяйственных структур и единую историческую судьбу» [Монастырская М. Е. Региональная градостроительная идентичность как основа «парадигмальной» интеграции в градообразовании/ Региональная архитектура и строительство. 2017—с.165]

населенного пункта, района населенного пункта, квартала.

Структурно-функциональный критерий позволяет рассмотреть исследуемый объект с позиции каркаса и ткани, пространства, как основных *внутренних элементов* градостроительной системы. В исследовании каркаса следует выделить планировочно-функциональный и «зеленый» каркасы. Планировочно-функциональный каркас следует рассмотреть, как систему основных транзитных связей и функциональных узлов, «зеленый» каркас – как систему многоуровневых элементов: от заповедных территорий в масштабе региона до парков, скверов в масштабе района населенного пункта. Следует уделить большое внимание исследованию ткани, особенно ее архитектурно-пространственному восприятию, т. к. ткань в большей степени формирует облик Южнобережного региона.

Также в исследовании системы важное значение имеет определение *внешних элементов*, т. е. факторов, которые влияют на функционирование внутренних элементов. Взаимосвязь внутренних и внешних элементов между собой – выделение прямых и обратных связей – является структурой системы.

Морфологический критерий позволяет охарактеризовать градостроительную организацию

системы жилых образований с позиции выявленной «региональной градостроительной идентичности». Морфологический анализ направлен «на изучение формы, закономерностей формообразования и строения архитектурных объектов и пространств с точки зрения их геометрических, структурных, художественных, стилистических качеств» [11]. Данный критерий позволяет рассмотреть систему с позиции трех основных исследовательских подходов по архитектурной морфологии, предложенных Т. Ю. Петуниной и О. А. Шипициной [11]:

1. морфоописательный подход – «описание объекта с точки зрения его внешних объективных характеристик». Данный подход сводится к графическому и текстовому описанию объекта, является начальным этапом исследования объекта.
2. морфотипический подход – «рассмотрение объекта с точки зрения типа». Исследование реально существующих объектов методом анализа и синтеза.
3. морфогенезный подход – «изучение объекта в процессе становления и развития». Подход направлен на исследование формообразования объекта в эволюционном (на протяжении всего развития) и динамическом (в процессе функционирования) направлениях.

В таблице 1 представлена матрица для исследования градостроительных объектов, основанная на предложенном подходе.

Таблица 1. Исследовательская матрица градостроительных объектов

Table 1. Research matrix of urban objects

		Структура системы								
		Внутренние элементы системы							Внешние элементы системы	
		каркас		ткань		пространство			факторы, влияющие на формирование системы	
Территориально-пространственные уровни рассмотрения градостроительного объекта	мегауровень									
	макроуровень									
	мезоуровень									
	микроуровень									
Морфологическая особенность градостроительного объекта		морфоописание	морфотип	морфогенез	морфоописание	морфотип	морфогенез	морфоописание	морфотип	морфогенез

Данный подход позволяет более целостно и полно исследовать градостроительную организацию системы жилых образований, т.е. ответить на все задачи, предъявляемые к методике системного подхода в данном исследовании. Следует отметить, что использование предложенного системного подхода возможно при исследовании любых градостроительных объектов.

ВЫВОДЫ

1. Системный подход, зародившийся в начале 20 века, получил активное развитие в 60-80 гг. прошлого столетия. Потребность в системном подходе в исследовании градостроительных объектов значительно велика, т. к. предмет градостроительных исследований является структурно сложным по своей природе, состоит из разнородных элементов и постоянно изменяется под воздействием различных факторов.

2. В работе дана характеристика методике системного анализа в архитектуре и градостроительстве на примере работ А. Э. Гутнова и Г. И. Лаврика.

3. Системный подход в исследовании градостроительной организации жилых образований позволит комплексно рассмотреть структуру жилой среды на ЮБК: выявить характерные черты жилых образований и поведение системы в различных масштабных ситуациях: от региона до структурной единицы – квартала (*пространственный анализ*); определить основные структурные элементы и их взаимосвязь между собой (*структурно-функциональный анализ*); проследить структурные особенности и динамику временного развития жилых образований – выявить «региональную градостроительную идентичность» (*морфологический анализ*).

Данный трехчастный подход является универсальным. Возможно его применение в исследовании любых градостроительных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системные исследования: Методол. пробл. Ежегодник, 1969. – М.: Наука, 1969 – с.203
2. Розин В. М. Системные представления в системотехнике, «традиционном» проектировании и дизайне. – В кн.: Системные исследования: Методол. пробл. Ежегодник, 1983. – М.: Наука, 1983. – с. 366
3. Гутнов, А. Э. Город как объект системного исследования. – В кн.: Системные исследования:

Методол. пробл. Ежегодник, 1977. – М.: Наука, 1977. – с.264

4. Гутнов, А. Э. Системный подход в изучении города: основания и контуры теории городского развития. – В кн.: Системные исследования: Методол. пробл. Ежегодник, 1985. – М.: Наука, 1985. – с.264

5. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем, 1973 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.galactic.org.ua/Prostranstv/anoxin-7-1.htm> / Дата обращения: 16.04.18

6. Форрестер, Дж. Динамика развития города/ Дж. Форрестер; пер с англ. М. Г. Орловой, под ред. Ю. П. Иванилова и др. – М.: Прогресс, 1974. – 287 с.

7. Гутнов, А. Э. Эволюция градостроительства [Текст]/ А. Э. Гутнов. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с., ил.

8. Лаврик, Г. И. Качество проектирования жилища [Текст]/ Г. И. Лаврик. – Киев: Будівельник, 1976. – 128 с.

9. Шубенков, М. В. Структурные закономерности архитектурного формообразования/ Шубенков М. В.: Учеб. пособие. – М.: «Архитектура-С», 2006. – 320 с., ил.

10. Янковская, Ю. С. Морфологическая структура и адаптивность архитектурного объекта [Текст]/ Ю. С. Янковская// Академический вестник УралНИИПроект РААСН – Екатеринбург, 2015. – №3. – с. 25-28

11. Петунина, Т. Ю. Введение в архитектурную морфологию открытых городских пространств [Электронный ресурс]/ Т. Ю. Петунина, О. А. Шипицына// Архитектон: известия вузов. – 2015. – № 50. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2015_2/7

12. Кожаева, Л. Морфотипы застройки – в теории и на практике [Текст]/ Л. Кожаева//Архитектурный вестник. – 2011. – Вып. 2 (119). – С. 50-55.

13. Oliveira, V. Urban Morphology. An Introduction to the Study of the Physical Form of Cities [Text]/ Vitor Oliveira. – Springer, 2016. – p. 187

14. Çalışkan, O. Urban Morphology and Design: Introduction [Text]/ O. Çalışkan, S. Marshall// Built Environment. – Marcham, 2011. – Vol 37, No 4. – p. 381-392.

REFERENCES

1. Systems research: Metodol. probl. Yearbook, 1969. - Moscow: Nauka, 1969 - p.203
2. Rozin V. M. System views in system engineering, "traditional" design and design. - In:

Systematic Research: Metodol. probl. Yearbook, 1983. - Moscow: Nauka, 1983. - p. 366

3. Gutnov, A. E. The city as an object of system research. - In: Systematic Research: Metodol. probl. Yearbook, 1977. - Moscow: Nauka, 1977. - p.264

4. Gutnov, A. E. System approach in the study of the city: the foundations and contours of the theory of urban development. - In: Systematic Research: Metodol. probl. Yearbook, 1985. - Moscow: Nauka, 1985. - p.264

5. Anokhin P. K. Principal questions of the general theory of functional systems, 1973 [Electronic resource] - Access mode: <http://www.galactic.org.ua/Prostranstv/anoxin-7-1.htm> / Date of circulation: 16.04.18

6. Forrester, J. Dynamics of the development of the city / J. Forrester; Per from the English. M. G. Orlova, ed. Yu. P. Ivanilova et al. - Moscow: Progress, 1974. - 287 p.

7. Gutnov, A.E. Evolution of Urban Development [Text] / A.E. Gutnov. - Moscow: Stroyizdat, 1984. - 256 p., Ill.

8. Lavrik, G. I. Quality of designing the dwelling [Text] / GI Lavrik. - Kiev: Budivelnik, 1976. - 128 p.

9. Shubenkov, M. V. Structural patterns of architectural shape formation / Shubenkov, M. V.: Proc. allowance. - Moscow: "Architecture-S", 2006. - 320 p., Ill.

10. Yankovskaya, Yu. S. Morphological structure and adaptability of the architectural object [Text] / Yu. S. Yankovskaya // Academic Bulletin UralNIIIProekt RAACN - Yekaterinburg, 2015. - №3. - from. 25-28

11. Petunina, T. Yu. Introduction to the Architectural Morphology of Open Urban Spaces [Electronic Resource] / T. Yu. Petunina, O. A. Shipitsyna // Architecton: News of Universities. - 2015. - No. 50. - Access mode: http://archvuz.ru/2015_2/7

12. Kozhayeva, L. Morphotypes of development - in theory and in practice [Text] / L. Kozhayeva // Architectural Herald. - 2011. - Вып. 2 (119). - P. 50-55.

13. Oliveira, V. Urban Morphology. An Introduction to the Study of the Physical Form of Cities [Text] / Vitor Oliveira. - Springer, 2016. - p. 187

14. Çalışkan, O. Urban Morphology and Design: Introduction [Text] / O. Çalışkan, S. Marshall // Built Environment. - Marcham, 2011. - Vol 37, No 4. - p. 381-392.

SYSTEM APPROACH IN THE RESEARCH OF THE TOWN-PLANNING ORGANIZATION OF THE RESIDENTIAL UNITS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

ZUEVA A. A. , NAGAEVA Z. S.

Summary. The article gives a general description of the history of the emergence and development of a systematic approach in science. Particular attention is paid to the methodology of the system approach in architecture and town planning. The characteristic of the method of the system approach in the research of town planning organization of residential units in the conditions of the Southern Coast of Crimea (SCC) is given on the basis of existing research approaches in the system theory. A three-part approach is proposed in the research of town-planning objects, based on the evaluation of the object by three criteria: structural-functional, spatial, morphological.

Key words: methodology of the system approach, town-planning organization of the system of residential units, Southern coast of Crimea, structural and functional criterion, spatial criterion, morphological criterion.

ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Живица В.В., Сорокина Н.А.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская 181.
E-mail: vzhivisa@mail.ru
E-mail: nadya2-94@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено понятие туристического кластера. Проанализирован мировой и отечественный опыт создания изучаемых объектов. Дана краткая характеристика туристическим кластерам, включенным в Федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года». Проанализированы общие рекомендации к размещению туристических кластеров, а также сформулированы принципы по территориальному планированию данных объектов в Крыму.

Предмет исследования: туристический кластер.

Материалы и методы: при проведении научных исследований были изучены литературные, научные, нормативно-законодательные источники. При анализе полученных данных использованы методы аналогии, синтеза и дедукции.

Результаты: В данной статье рассмотрены принципы создания и успешного функционирования туристических кластеров. Сформулирован алгоритм и значение кластерного подхода в развитии туристической отрасли. Выявлено, что одной из главных составляющих успешного туристского кластера является его инновационная направленность. Так как в нашей стране кластерный подход – достаточно новый метод организации туристско-рекреационной деятельности, то градостроительные принципы планировочной организации кластеров еще требуют дальнейшей разработки. В данной статье были предложены некоторые из них, а также даны рекомендации по созданию пяти туристско-рекреационных кластеров на территории Республики Крым в дополнение к уже предусмотренным Федеральной целевой программой.

Выводы: Данная работа может быть интересна для обучающихся ВУЗов архитектурных и градостроительных специальностей, профессорско-преподавательского состава, практикующих архитекторов, градостроителей.

Ключевые слова: туризм, рекреация, кластер, территориально-планировочные решения.

ВВЕДЕНИЕ

Крым обладает мощным природно-климатическим и историко-культурным потенциалом, который, при грамотном подходе, может стать базой для развития курортно-туристической сферы. Географическое размещение Крыма, уникальный ландшафт, мягкий климат, природное разнообразие, богатое историко-культурное наследие и рекреационные ресурсы определяют основные направления развития

туристической отрасли. В Крыму постоянно ведётся работа по повышению туристической привлекательности и конкурентоспособности региона. Одним из способов рационального использования историко-культурного потенциала Крыма, является создание туристических кластеров разной тематики. В данной работе рассмотрим основные принципы и перспективы формирования туристических кластеров на полуострове Крым.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Сформулировать принципы территориально-планировочного размещения туристических кластеров на территории Крыма.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- изучить научные, нормативные источники по теме исследования;

- рассмотреть понятие и общие характеристики кластеров;

- выявить особенности использования кластерного подхода;

- проанализировать существующие и сформулировать дополнительные принципы территориально-планировочного размещения туристических кластеров в Крыму.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении научных исследований были изучены литературные, научные источники, Федеральные целевые программы развития Республики Крым. При анализе полученных данных использовались методы аналогии, синтеза и дедукции.

1. Предложенными в данной книге стратегиями ведения экономической деятельности. Исследование основано на Федеральном законе от 24 ноября 1996 г. №132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации», в котором регламентируются принципы государственной политики, направленной на формирование единого туристического рынка; установлен порядок рационального использования туристских ресурсов Российской Федерации.

2. В работе Бойко А. Е. «Формирование туристских кластеров как инструмент развития внутреннего туризма в России» рассмотрены условия развития внутреннего туризма, проблемы российской туристской индустрии. Современным инструментом развития туризма предложено формирование туристских кластеров. Изучена модель туристского кластера и составляющие ее элементы.

3. В работе Сидоровой В.В. и Маслий В.В. «Мировой опыт по градостроительному развитию приморских курортов» авторы данной статьи проанализировали отечественный и зарубежный опыт возникновения приморских курортов, а также

архитектурно-планировочные принципы градостроительного зонирования, принципы градостроительного развития.

4. Из работы Сидоровой В.В. и Бурлаковой Д.С. «Проблема сохранения природной среды при формировании объектов туризма в горном Крыму» использована информация об особенностях рекреационного освоения территорий Крыма. Проанализированы выделенные авторами природоохранные, градостроительные, конструктивные задачи и рекомендации по организации системы объектов туризма в Крыму.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует о том, что проблема формирования туристско-рекреационных кластеров на региональном уровне чрезвычайно актуальна и должна быть изучена и обсуждаема специалистами в разных сферах деятельности (градостроителями, архитекторами, социологами, экономистами, инженерами, технологами и т.д.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

«Кластер в градостроительстве – территориальное образование внутри мегаполиса, представляющее собой относительно автономную систему и обеспечивающее жилую, административно-деловую, торгово-развлекательную, рекреационную потребности населения. Кластер (в городской среде) – группа средовых пространств, объединённых инновационными каналами связи, а также другими инфраструктурами, и представляющая единый городской ресурс» [10].

Туристический кластер – сосредоточение в рамках одной ограниченной территории взаимосвязанных предприятий и организаций, занимающихся разработкой, производством, продвижением и продажей туристического продукта, а также деятельностью, близкой к туризму и рекреационными услугами. Цель создания туристического кластера – повышение конкурентоспособности территории на туристическом рынке за счет синергетического эффекта. Интегрированные в одну систему рекреационные предприятия усиливают друг друга благодаря удобным связям и близкому расположению. Туристический кластер формирует дополнительный синергетический эффект за счет обмена информацией, опытом, инновационными технологиями, совместимого использования обслуживаемых инфраструктурных объектов,

подготовки и повышения квалификации обслуживающего персонала [2].

К туристским кластерам целесообразно относить группы предприятий, компактно расположенных в пределах региона, которые совместно используют специализированную туристскую инфраструктуру, локальные рынки труда и другие функциональные структуры хозяйства.

Благодаря кластерному подходу повышается эффективность работы предприятий и организаций, входящих в кластер, стимулируются введение

инновации и развиваются новые технологии и направления [3].

Формирующиеся локальные кластеры, имеющие территориальный признак, с ядрами в зонах экономического роста постепенно вовлекают в инновационный процесс предприятия и организации других видов деятельности. Таким образом, создание кластеров способствует прогрессивному развитию всей территории, а не отдельной её части.

Туристические кластеры делят по видам преобладающей туристической деятельности и по масштабным параметрам (рис. 1)

:



Рис. 1. Классификация туристических кластеров

Fig. 1. Classification of tourism clusters

Крупные кластерные формирования могут занимать значительные площади, оказывая влияние на прилегающие территории. Формирование кластеров происходит по целевому назначению или на базе исторически сложившейся структуры.

Главной особенностью и отличием туристических кластеров от кластеров других направленностей является грамотная организация техногенного каркаса. Транспортная и инженерная инфраструктуры должны пронизывать весь кластер. Формирующие его экскурсионные маршруты, объединяют туристические достопримечательности и направляют туристические потоки.

Распространенной практикой является присвоение кластеру определенной тематики, чтобы подчеркнуть рекреационные преимущества данной территории. В выборе тематики обращают внимание на доминанты кластера и туристические бренды [6].

Доминантой туристического кластера может быть как объект инфраструктуры, так и объект туристского интереса (памятники архитектуры, археологии, природы и т.д.). Основным условием функционирования туристического кластера

является организация и развитие туристических экскурсионных маршрутов. Также кластеры могут быть созданы на основании или после проведения какого-либо культурного события, привлекающего туристические потоки (например «Олимпийский парк», г. Сочи).

Туристические бренды – это достопримечательности, которые вызывают наибольший интерес у туристов на данной территории, и посещение которых считается обязательным. Туристические бренды способствуют экономическому росту города, региона, страны на туристическом рынке (например, на Южном берегу Крыма: Дворец «Ласточкино гнездо», Ливадийский дворец, Воронцовский дворец) [2].

Также необходимо учитывать влияние туристической отрасли на состояние экологической ситуации в регионе. Туристический кластер должен иметь четко выделенные границы и функциональные зоны, развивающиеся в соответствии с планом территориального планирования. В этой связи кластер, развивая туристическую инфраструктуру, принимает на себя

всю антропогенную нагрузку. Для туристов организуются экскурсионные маршруты, позволяющие ознакомиться с природными достопримечательностями, и одновременно позволяющие минимизировать влияние на экологию природной среды.

Грамотно организованный и функционирующий кластер позволяет полноценно:

- использовать зону кластера с урбанизированной комфортной рекреационной средой;

- организованно и бережно использовать природную среду для своего отдыха;

- формировать территорию с минимальной антропогенной нагрузкой, охраняемой от застройки и выброса отходов.

Эффект снижения влияния туристической отрасли на экологию также состоит в том, что в плотной, территориально ограниченной среде с удобными транспортными связями легче держать под контролем антропогенное влияние, чем на неограниченной территории: сбор мусора и его утилизация, организация транспортных связей, обеспечение территории инженерными сетями и коммуникациями, их поддержание в рабочем состоянии.

В настоящее время большинство развитых стран мира используют кластерный подход как инструмент повышения конкурентоспособности отдельно взятых города, региона, области, страны.

В июле 2006 г. был одобрен «Манифест кластеризации в странах Европейского Союза». В 2008 г. в рамках Европейской президентской конференции из инноваций и кластеров принят «Европейский кластерный Меморандум»; также существуют объединения: European Cluster Alliance, European cluster police group, рейтинг Cluster excellence, стратегия регулирования развития региональных кластеров в программе «Europe 2020: European clusters in tourism».

Рассмотрим несколько наиболее показательных примеров использования кластеризации туристической отрасли в зарубежных странах:

- Эльблонский туристический кластер (Польша) объединяет фирмы, агротуристические хозяйства, жилье, туроператоров и других поставщиков услуг, связанных с индустрией туризма. Кластер занимается развитием: бизнес-туризма; туризма в городах; культурного туризма; туризма в сельской местности; рекреационного и

активного туризма; пограничного и транзитного туризма;

- туристический кластер «Земля молока и меда» (Польша). Объединяет предприятия, занятые в сфере сельского туризма и производства, потребления и экологического образования.

- примером тематического туристского кластера служит кластер винного туризма сформированный в Долине Напа (штат Калифорния, США). Ежегодно его посещает до 5 млн туристов, главным образом интересующихся виноградниками и дегустирующие вина;

- одним из ярких примеров туристского кластера является регион Италии – Тоскана. Тоскана богата разнообразием туристских ресурсов: великолепные песчаные пляжи на Тирренском побережье, шикарные термальные центры, три национальных парка, горы; зеленые долины и виноградники, замки и поместья, многие из которых переоборудованы в отели. У Тосканы есть довольно сильные исторически сформированные условия для развития туристского кластера;

- опыт формирования туристских кластеров имеется в Австралии на основе уникальных природных ресурсов Большого Барьерного рифа – экотуристский кластер штата Квинсленд [4];

- В качестве примера развития кластеров на территории Российской Федерации приведем туристско-рекреационный кластер «Никола-Ленивец» (Калужская область). Часть его территории входит в состав национального парка «Угра». Достопримечательностями данного туристического кластера являются ландшафтные инсталляции известных российских и зарубежных авторов, а также ежегодно проводимые международные фестивали ландшафтных объектов «Архстояние», «Архстояние детское», «Ночь новых медиа» [5].

Анализ развития туристических кластеров в Республике Крым.

Территория Крыма привлекает уникальными ландшафтами, природой (горная система ЮБК, водопады, пещеры, озёра, скалы Тарханкута и Балаклавы и т.д.), мягким климатом, богатым историко-культурным наследием (памятники истории, архитектуры, искусства, археологии, градостроительства).

Проанализировав рекреационные ресурсы крымского полуострова, выявили следующее:

ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

1. Для туристической деятельности в Крыму характерен фактор сезонности. Длительность туристического сезона колеблется от 3 до 6 месяцев.

2. Объектами туристического интереса в Крыму считаются: уникальная природа и отдых на море.

3. Наименее освоено в туристическом плане Западное, Северо-Восточное и Северо-Западное побережье. На территории крымского полуострова рекреационные предприятия распределены неравномерно:

-на Южном и Юго-Восточном берегу Крыма. размещено 51% всех достопримечательностей Крыма;

-на Западном берегу Крыма - 39% (туристическая инфраструктура развивается стихийно);

-на Восточном берегу Крыма - 8% всех достопримечательностей полуострова;

-в Центральном Крыму - менее 3% всех достопримечательностей полуострова [1].

4. В Крыму большинство инвесторов привлекают проекты, реализуемые на ЮБК. Наибольшее количество инвестиционных заявок поступает по ЮБК – 46%, по Восточному побережью – 19%, по Западному побережью – 26%, по Центральной части Крыма – 9% [1].

Таким образом, наблюдается чрезмерное внимание к Южному берегу Крыма. Для данной территории это влечёт увеличение антропогенной нагрузки, неконтролируемую застройку, угрозу уникальному ландшафту и природе. В Западном и

Восточном Крыму курортный потенциал раскрыт не до конца. Многие города и сельские поселения могли бы получать больше прибыли, если бы часть туристов выбрала их в качестве места отдыха.

Необходимо стремиться ориентировать туристическую отрасль на круглогодичное функционирование. Данная задача решается при помощи развития новых видов туризма: лечебно-оздоровительного, культурно-познавательного, событийного, активного, делового и социального [8].

Несмотря на явные достоинства полуострова, транспортная, жилищная, инженерная инфраструктура находятся в неудовлетворительном состоянии, что делает невозможным широкое их использование в туристической сфере.

Государство, в рамках решения проблемы привлечения туристов на Западное и Восточное побережье Крыма, с 2015 года реализует Федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года». В этой связи осуществляется финансирование создания на территории Республики Крым пяти туристско-рекреационных кластеров (таблица 1):

На создание кластеров в период 2017 - 2020 годов запланировано выделение средств из федерального бюджета в сумме 23,8 млрд. руб. Планируется разработать кластеры по всем курортным регионам с учетом особенностей их развития и выполнения задач круглогодичной работы предприятий, учреждений (организаций) курортно-туристской сферы.

Таблица 1. Туристические кластеры, предусмотренные Федеральной целевой программой

Table 2. Tourist clusters provided for by the Federal target program

Направление деятельности туристических кластеров по Федеральной целевой программе	Схема размещения туристических кластеров
1) кластер «Детский отдых и оздоровление» (г. Евпатория) – центр семейного оздоровления. Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - семейный отдых, ориентированный на семьи с детьми; - создание детских лечебно-оздоровительных комплексов; - развитие системы здравоохранения; - создание центров раннего физического и интеллектуального развития детей.	

ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

2) кластер «Лечебно-оздоровительный отдых» (г. Саки) – грязелечебный курорт. Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - создание уникального грязелечебного курорта; - создание всемирно известной здравницы; - создание системы круглогодичного санаторно-курортного лечения.	
3) кластер в районе озера Чокракское (Ленинский р-н, п. Курортное) – бальнеологический лечебно-оздоровительный комплекс. Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей создание бальнеологического лечебно-оздоровительного комплекса на основе лечебных грязей Чокракского месторождения: - санатория с бальнеолечебницей; - гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции по добыче грязи; - мониторингу ее состояния и обеспечению режима охраны; - создание на мысе Зюк археологического парка для проведения научных исследований и туристических посещений.	
4) кластер «Черноморский» (Черноморский р-н) – центр развития экстремального, археологического и автотуризма. Предусматривает создание 4 зон: - оздоровления; - «EXTREME-центр туризма»; - автотуризма и караванинга; - археологического туризма.	
5) кластер «Коктебель» (пгт. Коктебель) – центр активных видов туризма. Кластер предусматривает создание: - на горе Клементьева Центра развития воздухоплавания; - поля для гольфа у подножия горы; - строительство яхтенной марины на территории предприятия «Бухта двуякорная».	

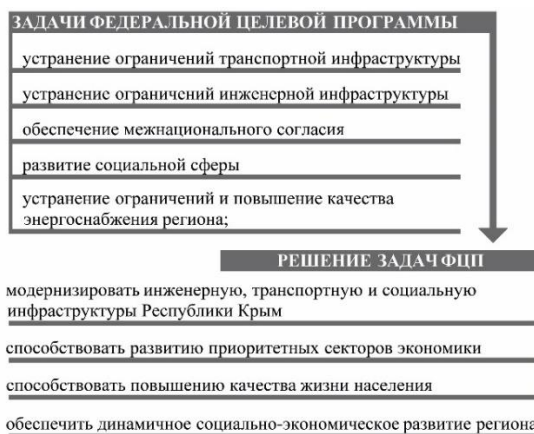


Рис. 2. Задачи федеральной целевой программы и их решения

Fig. 2. Tasks of the federal target program and their solutions

Образование туристических кластеров подразумевает создание развитой обслуживающей инфраструктуры, учитывающей все современные нормы и требования, а также предусматривающей возможность её модернизации в соответствии с потребностями туристического рынка.

Реализация Федеральной целевой программы на территории Крыма позволит активизировать инвестиционную и туристическую деятельность (рис. 2).

Однако, одной из первоочередных задач и неперенным условием развития туристической отрасли в Крыму и формирования туристических кластеров должно стать развитие и модернизация транспортной инфраструктуры. Без выполнения этого условия продуктивное функционирование кластеров невозможно [1].

Анализ градостроительных рекомендаций по вопросу создания туристических кластеров

Создание туристических кластеров связано с решением следующих задач:

1) Определение основных конкурентных туристских преимуществ региона (туристические доминанты) и выявление территории, с наиболее ярко выраженными преимуществами. В таком случае каждый район мог бы предлагать особенные турпродукты и взаимодополнять друг друга в региональной системе. Туристский район при таком подходе является протокластером, т.е. территорией потенциально способной выполнять туристские функции.

В пределах конкретной территории (города, региона, области, страны) необходима оценка возможностей формирования туристического кластера. Она включает следующие этапы:

- определение территориальных границ туристского кластера;
- исследование потенциала региона и построение идеализированной модели туристского кластера;
- анализ туристических продуктов и туристических предприятий-партнёров;
- проектирование инфраструктуры кластера (предприятий питания, транспорта, досуга,

туроператоров, жилья), в том числе возможности дополняющих и сопутствующих отраслей (образование в области туризма и гостеприимства, продажа сувенирной продукции и другое);

- анализ факторов, влияющих на создание и функционирование кластера;
- прогнозирование спроса, рисков и тенденций развития кластера.

2) проведение туристского районирования. Одним из основных его принципов должен быть учет выделенных конкурентных туристских преимуществ, а также принцип завершенности туристских маршрутов, объединяющих отдельные объекты обслуживающие туристический кластер.

3) В каждом протокластере на основе туристских районов складываются или могут сложиться в перспективе территориальные сочетания предприятий – туристские кластеры. В связи с этим на основе сети туристских районов следует определить пространственную структуру будущих туристских кластеров. В пределах протокластера выделяются три зоны. Первая – центральная зона, в которой генерируются туристские инновации, распределяются туристские потоки. Вторая – базовая зона. Территория, на которой концентрируются основные туристские объекты и маршруты. Третья зона – ареал перспектив туристского бизнеса. Она может выходить за пределы административных границ региона, охватывая территории межрегионального туристского сотрудничества. Это дальняя зона влияния кластера, распространяющаяся на области перекрытий с соседними подобными системами.

Таким образом, туристский кластер формируется в пределах туристского района и характеризуется наличием бизнес-компонента (туристских предприятий). Принимается во внимание возможность развития специализированного туристского предпринимательства в каждом кластере для сбалансированного развития всей туристско-рекреационной системы [7].

Каждый кластер должен занять свою туристическую нишу, основанную на базе историко-культурного наследия (архитектурном, градостроительном, природном, археологическом и т.д.) не конкурируя между собой (рис. 3).

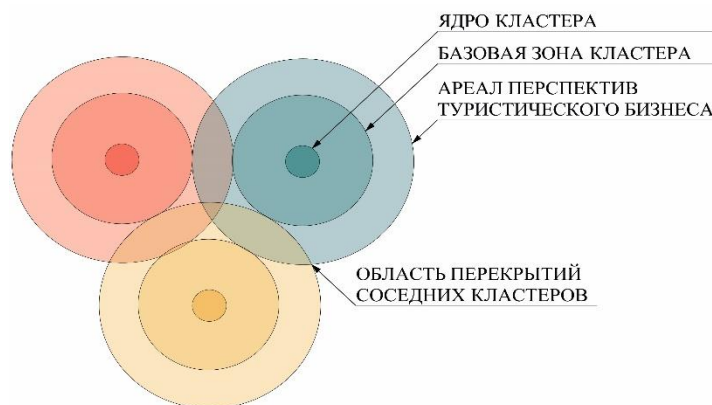


Рис. 3. Схема территориально-планировочного зонирования кластеров

Fig. 3. Scheme of territorial-planning zoning of clusters

Наиболее распространенные территориально-планировочные нарушения, допускаемые при проектировании туристических кластеров:

- отсутствие чётко обозначенных границ объекта;
- реализация объектов туристической индустрии без учёта решений генерального плана, схемы территориального планирования;
- использование дорог федерального значения для внутрикластерных потребностей;
- неучёт охранных зон объектов культурного наследия;
- неучёт наличия зон с особыми условиями использования (санитарно-защитные, водоохранные зоны);
- недостаточное развитие инженерной инфраструктуры;
- несоответствие количества отдыхающих вместимости или потребностям туристического кластера [2].

В результате проведённого исследования выявлено, что задача развития крымского туризма состоит не только в привлечении как можно большего количества отдыхающих, но и создание условий, при которых туристическая отрасль окажет наименьшее влияние на природную среду Крыма.

Следовательно, необходимо разработать территориально-планировочные принципы, которые способствовали бы снижению антропогенной нагрузки от возрастающей интенсивности туристического потока.

Выделим следующие территориально-планировочные принципы размещения туристических кластеров в Крыму:

1. Принцип экологичности – при организации кластера следует применять новейшие технологии и инновации в строительстве и инженерных системах. Хорошая обеспеченность туристического кластера инженерными сетями, обслуживающими предприятиями и транспортной инфраструктурой, предприятиями по утилизации отходов и очистными сооружениями сделают рекреационную зону экологически устойчивой. Большая часть антропогенной нагрузки должна быть сосредоточена внутри урбанизированной среды кластера, а за его границами желательно оставить природную зону с наименьшим влиянием от туристической деятельности [9].

2. Принцип территориальной ограниченности – следует обозначить чёткие территориальные границы кластера для его развития. Близкое расположение туристических объектов друг к другу в некоторых территориальных границах позволит достичь синергетического эффекта в кластере. Этот же принцип способствует экологичности кластерного подхода.

3. Принцип функционального зонирования – туристический кластер должен делиться на функциональные зоны определённого назначения, учитывать правила землепользования и застройки. При этом необходимо обеспечить изолированность кластера от зон и объектов не связанных с туризмом и обслуживанием кластера.

4. Принцип связанности и направленности будет способствовать эффективной работе предприятий рекреации внутри кластера. Грамотно организованные транспортные связи сделают

ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

доступными все туристические ресурсы кластера, свяжут воедино предприятия обслуживания. Необходимо прогнозировать направленность туристических потоков для равномерного распределения отдыхающих в кластере. Наличие удобных связей с природной зоной и разработанных туристических маршрутов необходимо для создания комфортного и экологически безопасного отдыха.

В качестве рекомендаций предлагается алгоритм разработки территориально-планировочного решения туристско-рекреационного кластера:

- 1) Определить примерные границы кластера, величину его территории.
- 2) Определить подходящие для организации туристических маршрутов природные ландшафтные зоны для которых необходимо назначить защитные зоны.
- 3) Выявить в кластере все объекты, связанные с рекреацией, показать границы охранных зон объектов культурного наследия, если такие есть.
- 4) Проанализировать эффективность существующих транспортно-пешеходных связей в пределах кластера, его связь с прилегающими муниципальными образованиями а также с природными территориями и достопримечательностями.
- 5) По завершению анализа следует уточнить границы туристического кластера и выполнить функциональное зонирование, способствующее его формированию.

6) Предусмотреть реновацию объектов, неудовлетворяющих инфраструктуре кластера.

7) Определить потребность в реконструкции инженерных сетей и их развитии по необходимости.

8) Провести реконструкцию существующих предприятий обслуживания и рекреации, предусмотреть достаточное количество мест размещения для отдыхающих.

9) Предложить дополнительные рекреационные объекты на свободных местах или освободившихся после реконструкции.

10) Предусмотреть модернизацию транспортных связей, а также её расширение.

11) Предусмотреть модернизацию общественных пространств, создание целостной пешеходной сети, реконструкцию площадей, зеленых зон.

12) В природной зоне за границами кластера следует задать оборудованные туристические стоянки и пункты контроля экологической безопасности.

На основании проведённого исследования, было выявлено, что большая часть территорий Крыма, имеющих потенциал для развития туристической отрасли, не входит в туристические кластеры, предусмотренные Федеральной целевой программой «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года».

В таблице 2 авторы предлагают создание следующих туристических кластеров в дополнение к предложенным в Федеральной целевой программе:

Таблица 2. Туристические кластеры, предлагаемые авторами

Table 2. Tourist clusters offered by the authors

Направление деятельности туристических кластеров	Схема размещения туристических кластеров
1) кластер «Бахчисарай» (г. Бахчисарай). Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - эко-туризм; - историко-археологический туризм; - этно-туризм - обустройство армянского, болгарского, греческого, крымскотатарского, немецкого и других тематических поселений. Например: этнографические центры «Марама», «Славянская деревня»; - создание сети детских оздоровительных лагерей (ДОЛ «Мандарин» и МДМЦ «Ай-Кэмп») [10].	
2) кластер «Керчь» (г. Керчь). Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - создание туристического экскурсионного маршрута «Золотое кольцо Боспорского царства»; - проведение тематических фестивалей (например, «Античное наследие России») - проведение научных археологических, исторических и др. исследований [11].	

2) кластер «Севастополь» (г. Севастополь). Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - создание культурно-исторического экскурсионного маршрута или нескольких маршрутов, разделённых по периодам развития города и Крыма в целом (античный период, период средневековья, период Крымской войны 1853–1856 гг. и др.); - популяризацию города, как место базирования Черноморского флота ВМФ России; - развитие международного центра по изучению Черного моря и создание передовых морских технологий.	
2) кластер «Большая Ялта» (г. Ялта) – Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - создание всемирно известной здравницы; - создание системы круглогодичного общероссийского санаторно-курортного лечения; - создание историко-археологического экскурсионного маршрута (дворцовые и садово-парковые комплексы Южного берега Крыма).	
2) кластер «Старый Крым» (г. Старый Крым) – Кластер предусматривает наличие инфраструктуры, обеспечивающей: - создание историко-культурного экскурсионного маршрута, объединяющего археологические, архитектурные, исторические, этнографические памятники.	

ВЫВОДЫ

1. В данной статье рассмотрен термин «туристический кластер». Проанализирован мировой и отечественный опыт создания изучаемых объектов. Рассмотрены принципы успешного функционирования туристических кластеров. Сформулирован алгоритм и значение кластерного подхода в развитие туристической отрасли в Республике Крым.

2. Выявлено, что поиск эффективных способов организации туристического хозяйства в Республике Крым направлен на оптимизацию использования материальных и нематериальных ресурсов, повышение эффективности и роста конкурентоспособности на внутреннем и внешних рынках, а также на переход к экологически безопасному развитию туристической отрасли. В связи с этим одной из главных составляющих успешного туристического кластера является его инновационная направленность и чёткость следования плану.

3. Так как в нашей стране кластерный подход - достаточно новый метод организации туристско-рекреационной деятельности, то градостроительные принципы планировочной организации кластеров еще требуют дальнейшей разработки. В данной статье были предложены некоторые из них, а также даны предложения по созданию пяти туристско-

рекреационных кластеров на территории Республики Крым в дополнение к уже предусмотренным Федеральной целевой программой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство курортов и туризма Республики Крым / Отчеты о деятельности Министерства / Статистические данные / О развитии туристской отрасли Республики Крым в 2016 году. – 2016. 31 с.
2. Трояновский В.С. Инвестиционные возможности развития регионов, связанные с формированием туристических кластеров // IX Международный форум "Инвестиции в человека". – Москва. Гипрогор 2012 г. – 18 с.
3. Портер М.Э. Конкуренция // Пер. с англ. - М.: Издат. Дом «Вильямс», 2001. – 608 с.
4. Намазбеков М. Кластерное развитие в условиях глобализации: опыт зарубежных стран [Текст]: // Analytic. - 2005. - №3. - С. 8-14.
5. "Об основах туристской деятельности в Российской Федерации" // Федеральный закон от 24 ноября 1996 г. №132-ФЗ (в редакции Федерального закона от 5 февраля 2007 г. №12-ФЗ). – 2007.
6. Бойко А. Е. Формирование туристских кластеров как инструмент развития внутреннего туризма в России // Власть и управление на Востоке России. 2009. № 2 (47). С. 224-228.
7. Ковалев Ю.П. Кластерный подход к изучению туристской сферы России // Теория социально-экономической географии: синтез современных знаний. – Смоленск. - 2010. С. 100-108.

8. Сидорова В.В., Маслий В.В. Мировой опыт по градостроительному развитию приморских курортов // Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов АСИА ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» - 2017. – Вып. 58 – С. 26 - 29.

9. Сидорова В.В., Бурлакова Д.С. Проблема сохранения природной среды при формировании объектов туризма в горном Крыму // Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов Академии строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» - 2012. Выв.44 – С. 94-100.

10. Стратегия социально-экономического развития Бахчисарайского района на период до 2030 года г.Бахчисарай

11. Крымские античные города включены во всероссийский тур «Золотое кольцо Боспорского царства» - Министерство курортов и туризма Республики Крым. Новости. 4 июня 2018. Автор: Вадим Волченко. Режим доступа: <https://mtur.rk.gov.ru/ru/article/show/1556> – открытый

5. "Ob osnovah turistskoj dejatel'nosti v Rossijskoj Federacii" // Federal'nyj zakon ot 24 nojabrja 1996 g. #132-FZ (v redakcii Federal'nogo zakona ot 5 fevralja 2007 g. #12-FZ). – 2007. (In Russian)

6. Bojko A. E. Formirovanie turistskih klasterov kak instrument razvitiya vnutrennego turizma v Rossii // Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii. 2009. №2 (47). pp. 224-228. (In Russian)

7. Kovalev Ju.P. Klasternyj podhod k izucheniju turistskoj sfery Rossii // Teorija social'no-jekonomicheskoj geografii: sintez sovremennyh znaniy. – Smolensk. - 2010. Pp. 100-108. (In Russian)

8. Sidorova V.V., Maslij V.V. Mirovoj opyt po gradostroitel'nomu razvitiyu primorskih kurortov // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. Sbornik nauchnyh trudov Akademii stroitel'stva i arhitektury FGAOU VO «Krymskij federal'nyj universitet im. V.I. Vernadskogo» - 2017. – Vyp.58 – pp. 26 - 29. (In Russian)

9. Sidorova V.V., Burlakova D.S. Problema sohraneniya prirodnoj sredy pri formirovanii ob'ektov turizma v gornom Krymu // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. Sbornik nauchnyh trudov Akademii stroitel'stva i arhitektury FGAOU VO «Krymskij federal'nyj universitet im. V.I. Vernadskogo» - 2012. Vyp.44 – pp.94-100. (In Russian)

10. Strategiya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Bakhchisarayskogo rayona na period do 2030 goda g.Bakhchisaray.

11. Krymskiye antichnyye goroda vklyucheny vo vserossiyskiy tur «Zolotoye koltso Bosporskogo tsarstva» - Ministerstvo kurortov i turizma Respubliki Krym. Novosti. 4 iyunya 2018. Avtor: Vadim Volchenko. Rezhim dostupa: <https://mtur.rk.gov.ru/ru/article/show/1556> – otkrytiy.

REFERENCES

1. Ministerstvo kurortov i turizma Respubliki Krym / Otchety o dejatel'nosti Ministerstva / Statisticheskie dannye / O razvitii turistskoj otrasli Respubliki Krym v 2016 godu. – 2016. 31 p. (In Russian)

2. Trojanovskij V.S. Investicionnye vozmozhnosti razvitiya regionov, svjazannye s formirovanie mturisticheskikh klasterov // IX Mezhdunarodnyforum "Investiciivcheloveka". – Moskva. 2012 g. (In Russian)

3. Porter M.Je. Konkurencija // Per. s angl. - M.: Izdat. Dom «Vil'jams», 2001. – 608 p. (In Russian)

4. Namazbekov M. Klasternoe razvitie v uslovijah globalizacii: opyt zarubezhnyh stran // Analytic. - 2005. -#3. - pp. 8-14. (In Russian)

THE PRINCIPLES OF TERRITORIAL PLANNING AND TOURISM CLUSTER IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

Jivitsa V.V., Sorokina N.A.

Summary. In article the concept of a tourist cluster is considered. Is analyzed international and domestic experience of creation of the studied objects. Gives a brief description of tourist clusters included in the Federal target program "Social and Economic Development of the Republic of Crimea and Sevastopol". The general recommendations to placement of tourist clusters are analyzed and also the principles on territorial planning of these objects in the Crimea are formulated.

Subject of study: tourism clusters.

Key words: tourism, recreation, cluster, territorial-planning decisions.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛНИСТЫХ ОБОЛОЧЕК

Чепурненко А.С., Кочура В.Г., Сайбель А.В.,

Донской государственный технический университет,
Академия строительства и архитектуры,
344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162
E-mail: cochura.vika@yandex.ru

Аннотация. В статье предложен новый тип железобетонных пространственных конструкций в виде эллипсоидальных волнистых поверхностей. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния оболочек при различных значениях параметров, определяющих их геометрию, с использованием конечно-элементного моделирования в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013. Приведены графики и таблицы максимальных перемещений и внутренних усилий в зависимости от числа волн и их амплитуды.

Ключевые слова: эллипсоидальная волнистая оболочка, метод конечных элементов, напряжённо-деформированное состояние, железобетонные пространственные конструкции.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время к наиболее распространенным типам волнистых оболочек относятся волнистые своды. Такие конструкции используются преимущественно для покрытий залов прямоугольной формы. Повторяемость элементов свода придает интерьерам зданий архитектурную выразительность. Монолитные волнистые и складчатые своды могут применяться в уникальных зданиях с пролетами от 75 до 95 м. Большепролетные железобетонные конструкции по сравнению с металлическими имеют ряд существенных преимуществ, таких как высокая огнестойкость, долговечность, экономия стали, меньшая стоимость и низкие эксплуатационные расходы.

В данной работе проводится анализ возможности применения в качестве покрытий зданий железобетонных оболочек нового типа – волнистых эллипсоидальных поверхностей. Данные поверхности образуются при вращении эллипса с одновременным изменением его осевого отношения [1]. Подробные сведения о геометрии эллипсоидальных волнистых поверхностей, включая векторное уравнение и коэффициенты основных квадратичных форм содержатся в работах [1-2].

Расчету пластин и оболочек различной формы посвящено большое количество работ, включая [3-

12]. В статьях [3,8,9] для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии применяется метод конечных элементов. Нами также будет использоваться конечно-элементное моделирование в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013.

ЦЕЛЬ

Целью работы является исследование влияния параметров, определяющих геометрию волнистой эллипсоидальной оболочки, на ее напряженно-деформированное состояние.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ (ИССЛЕДОВАНИЕ)

При исследовании за основу было взято векторное уравнение эллипсоидальной волнистой поверхности:

$$\rho(u, v) = a\{[1 + \mu \cos(pu)] \cos v h(u) + \gamma \sin v k\} \quad (1)$$

$$h(u) = i \cos u + j \sin u \quad (2)$$

$\gamma = b/a$ - отношение полуосей образующих эллипсов, характеризует подъем оболочки;

u, v – параметры, находящиеся в промежутке $[0; \pi]$;

i, j, k – единичные векторы (орты), направленные вдоль осей x, y, z соответственно;

$a = \text{const}$ – параметр, характеризующий размер оболочки;

μ – отношение амплитуды синусоиды к радиусу круга a . Виды сверху для поверхностей с различным

значением μ ($p = 12 = \text{const}$) показаны на рисунке 1;

p – число волн синусоиды. На рисунке 2 показаны горизонтальные проекции для поверхностей с различным значением p ($\mu = 0,05 = \text{const}$).

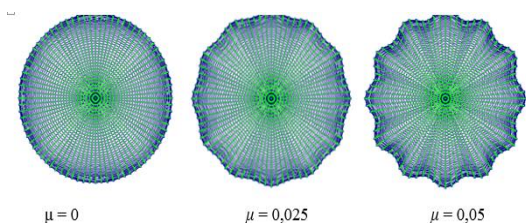


Рис. 1. Вид с верха для поверхностей с различным значением параметра μ ($p = 12 = \text{const}$)

Fig. 1. Top views for surfaces with different parameter values μ ($p=12=\text{const}$)

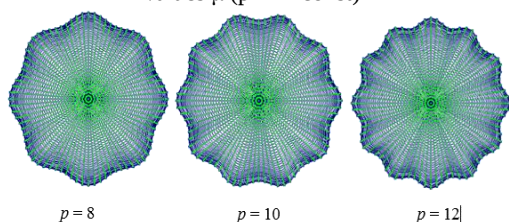


Рис. 2. Горизонтальные проекции поверхностей с различным значением p ($\mu = 0,05$)

Rice. 2. Horizontal projections of surfaces with different p values ($\mu=0.05$)

Подставим значение $h(u)$ в формулу (1):

$$\rho(u, v) = a\{[1 + \mu \cos(pu)] \cos v (i \cos u + j \sin u) + \gamma \sin v k\} \quad (3)$$

Прямоугольные координаты x, y, z точек, принадлежащих срединной поверхности оболочки, могут быть вычислены по формулам:

$$x = a \cdot \cos(u) \cdot \cos(v) \cdot (1 + \mu \cdot \cos(pu)) \quad (4)$$

$$y = a \cdot \cos(v) \cdot \sin(u) \cdot (1 + \mu \cdot \cos(pu)) \quad (5)$$

$$z = \mu \cdot \sin(v) \cdot a \quad (6)$$

Расчётная схема в виде половины конструкции генерировалась в пакете MATLAB и далее экспортировалась в программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 посредством текстового файла. Использовались плоские четырёхугольные и треугольные конечные элементы оболочки. Материал – бетон класса B15, $E = 24 \cdot 10^{-3}$ МПа, удельный вес $R_0=24$ кН/м³, $\nu_b = 0,2$.

Расчёт выполнялся на действие собственного веса. Закрепление в основании оболочки – шарнирно-неподвижное.

Параметр p , отвечающий за количество волн, варьировался в пределах от 8 до 18 с шагом 2, а параметр μ , характеризующий размер впадин, изменялся в пределах от 0 до 0,125 с шагом 0,025. Величины a и γ принимались постоянными: $a = 3$ м, $\gamma = 1$.

Таким образом было просчитано тридцать шесть вариантов, для каждого из которых определялись максимальные перемещения и внутренние усилия.

Результаты расчета одного из вариантов при $p = 10$ и $\mu = 0,025$ в виде изополей кольцевых изгибающих моментов M_x , меридиональных изгибающих моментов M_y , крутящих моментов M_{xy} , напряжений N_x и N_y в срединной поверхности, а также вертикальных перемещений приведены соответственно на рис. 3-8.

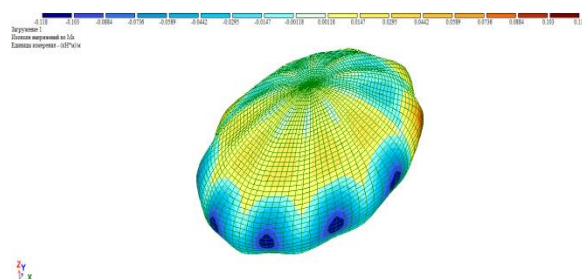


Рис.3 Изополя кольцевых изгибающих моментов M_x , кН·м/м

Fig.3 Isopole of ring bending moments M_x , kN·m/m

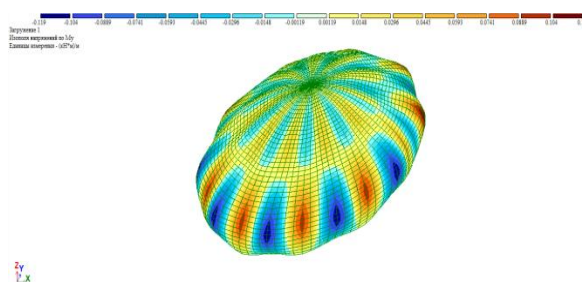


Рис.4 Изополя меридиональных изгибающих моментов M_y , кН·м/м

Fig.4 Isopole meridional bending moment M_y , kN·m/m

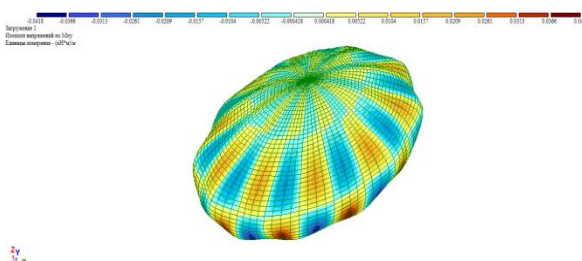


Рис.5 Изополя крутящих моментов M_{xy} , кН·м/м

Fig.5 Isopole M_{xy} torque, kN·m/m

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛНИСТЫХ ОБОЛОЧЕК

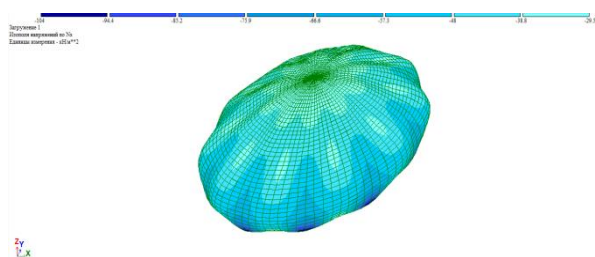


Рис.6 Изополя напряжений N_x , кН/м²
Fig.6 voltage Isofield N_x , кН / м²

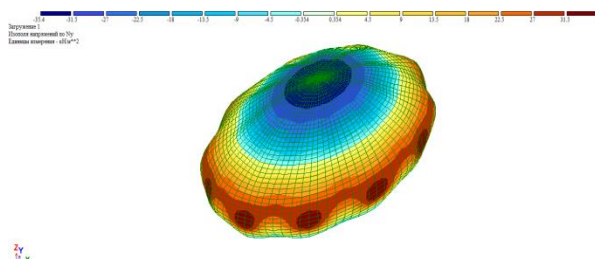


Рис.7 Изополя напряжений N_y , кН/м²
Rice.7 Isopole N_y stress, кН/ м²

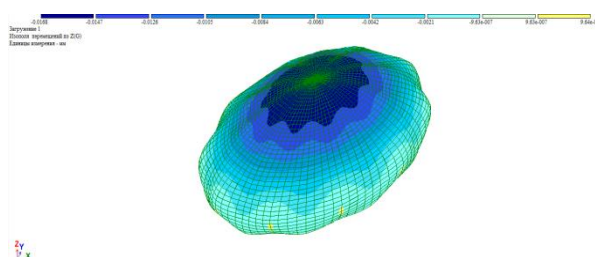


Рис.8 Изополя перемещений по Z, мм
Fig.8 Isofield of displacements on Z, mm

Результаты расчета для остальных рассмотренных вариантов представлены в виде графика зависимости максимального прогиба оболочки от величин p и μ , а также таблиц 1-5.

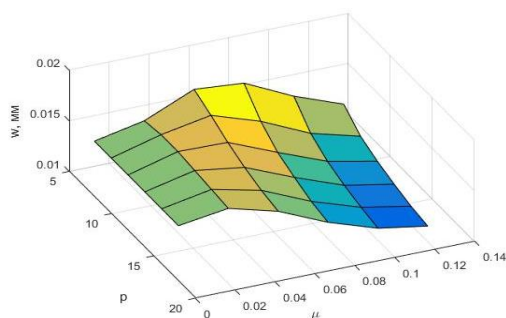


Рис. 9 Зависимость максимального прогиба оболочки от параметров p и μ
Fig. 9 Dependence of the maximum deflection of the shell on the parameters p and μ

На основе рис. 9 можно сделать вывод, что максимальный прогиб наблюдается при $\mu = 0,05$, $p = 8$, а минимальный при $\mu = 0,125$, $p = 18$

Таблица 1. Значения максимальных изгибающих моментов M_x , кН·м/м при различных величинах p и μ
Table 1. Values of maximum bending moments M_x , кН·м/м at different values p and μ

		p					
		8	10	12	14	16	18
μ	0	0.0786	0.0786	0.0786	0.0786	0.0786	0.0786
	0.025	0.123	0.118	0.103	0.0894	0.0745	0.0715
	0.05	0.109	0.0784	0.0623	0.0525	0.0442	0.042
	0.075	0.0601	0.051	0.0457	0.0421	0.036	0.0364
	0.1	0.0567	0.051	0.0476	0.0444	0.0383	0.0395
	0.125	0.0565	0.0538	0.0511	0.0475	0.041	0.0418

Максимальный момент наблюдается при $\mu = 0,125$, $p = 8$, а минимальный при $\mu = 0,075$, $p = 16$

Таблица 2. Значения максимальных моментов M_y , кН·м/м при различных величинах p и μ
Table 2. Values of maximum moments M_y , кН·м/м at different values of p and μ

		p					
		8	10	12	14	16	18
μ	0	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167
	0.025	0.097	0.119	0.12	0.113	0.0852	0.0915
	0.05	0.114	0.0992	0.0835	0.0715	0.0537	0.0575
	0.075	0.0934	0.0907	0.0879	0.0838	0.0677	0.0736
	0.1	0.102	0.103	0.103	0.0993	0.0892	0.0904
	0.125	0.112	0.116	0.116	0.112	0.109	0.106

Максимальный момент наблюдается при $\mu = 0,025$, $p = 12$, а минимальный при $\mu = 0$ (сферическая оболочка)

Таблица 3. Значения максимальных моментов M_{xy} , кН·м/м при различных величинах p и μ
Table 3. Values of maximum moments M_{xy} , кН·м/м at different values p and μ

		p					
		8	10	12	14	16	18
μ	0	0.00045 2	0.00045 2	0.00045 2	0.00045 2	0.00045 2	0.00045 2
	0.025	0.0389	0.0418	0.0358	0.0295	0.0228	0.0217
	0.05	0.0416	0.0292	0.021	0.0172	0.0117	0.012
	0.075	0.025	0.0158	0.0117	0.00986	0.00882	0.00786
	0.1	0.0165	0.0153	0.014	0.013	0.0119	0.0112
	0.125	0.0186	0.0182	0.0173	0.0164	0.0147	0.0148

Максимальный момент наблюдается при $\mu = 0,025$, $p = 10$, а минимальный при $\mu = 0$.

Таблица 4. Максимальные величины напряжений N_x , кН/м² при различных величинах p и μ
Table 4. Maximum stress values N_x , кН/м² at different values p and μ

		p					
		8	10	12	14	16	18
μ	0	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9
	0.025	96.3	104	108	111	111	109
	0.05	118	121	120	117	114	110
	0.075	112	108	104	100	97.5	93.9
	0.1	95.1	89.7	85.9	82.8	80.6	77.9
	0.125	86	81.9	78	74.8	71.6	69.6

Максимальные напряжения наблюдаются при $\mu=0,05$, $p=10$, а минимальные при $\mu=0$.

Таблица 5. Максимальные величины напряжений N_y , кН/м² при различных величинах p и μ
Table 5. Maximum stress values N_y , кН/м² at different values p and μ

		p					
		8	10	12	14	16	18
μ	0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
	0.025	39.9	36	35.4	35.4	35.5	35.5
	0.05	35.6	36.2	36.3	36.3	36.1	36.1
	0.075	38.7	39.8	38.9	39	38.8	38.9
	0.1	40.3	41	41.6	42.1	42.2	42.7
	0.125	42.1	43.8	45.2	46.3	46.7	47.7

Максимальные напряжения наблюдаются при $\mu=0,125$, $p=18$, а минимальные при $\mu=0,025$, $p=12$.

ВЫВОДЫ

Установлено, что волнистая оболочка с $\mu=0,125$, $p=18$ при прочих равных условиях обладает большей жесткостью, чем гладкая сферическая. В то же время по сравнению с волнистыми оболочками в сферической оболочке наблюдаются меньшие величины меридиональных изгибающих моментов и кольцевых продольных сил. Поскольку сферическая оболочка является осесимметричной, в ней, в отличие от волнистых оболочек, при действии собственного веса отсутствуют крутящие моменты.

В целом, при замене сферической поверхности эллипсоидальной волнистой существенного снижения прочностных и жесткостных характеристик не наблюдается, а при некоторых значениях геометрических параметров выявлено

увеличение жесткости, вероятно связанное с эффектом гофрированных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек – М: Наука, 2006. – 544 с. - ISBN 5-02-035747-2.
2. Насер, Ю.А. Волнообразные купола. / Ю.А. Насер // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: Межвуз. Сб. науч. трудов. – Вып. 11. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – С. 49-58.
3. Якупов, Н.М. Расчет тонкостенных сферических оболочек с углублениями на базе трехмерных конечных элементов / Н.М. Якупов, Ф.Г. Ахмадиев, Х.Г. Киямов // Строительство и техногенная безопасность. – 2014. – № 50. – С. 185-190.
4. Тарабара, И.Ю. Изгибно-крутильные колебания плоской пластины в потоке воздуха / И.Ю. Тарабара, В.Т. Чемодуров // Строительство и техногенная безопасность. – 2014. – № 49. – С. 27-31.
5. Погорелый, Д.Ф. Демпфирование колебаний оболочки при полигармоническом нагружении / Д.Ф. Погорелый, С.М. Малинский, А.Ю. Чернявский, В.А. Бойко // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – № 48. – С. 137-141.
6. Чемодуров, В.Т. Расчет многослойной пластины с приведенной жесткостью / В.Т. Чемодуров, П.М. Канцеров // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 42. – С. 18-25.
7. Чемодуров, В.Т. Выбор параметров многослойной пластины методом планирования эксперимента / В.Т. Чемодуров, В.И. Шинкарук // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 42. – С. 26-30.
8. Трегубова, И.А. Выбор систем координат при численном описании конечно-элементной модели оболочки / И.А. Трегубов // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 41. – С. 222-224.
9. Якупов, Н.М. Компьютерное моделирование расчета напряженно-деформированного состояния оболочечной конструкции сложной геометрии / Н.М. Якупов, Х.Г. Киямов, Ф.Г. Ахмадиев // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 41. – С. 261-267.
10. Литовченко, П.А. Распределение напряжений в нормальном сечении облегченных трёхслойных сборно-монолитных железобетонных панелей при изгибе / П.А. Литовченко, Н.И. Глушаков // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 43. – С. 31-35.

11. Попова О. Определение принципов формирования пространственных конструкций / О. Попова // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – № 48. – С. 142-146.

12. Куликов, Г.В. Упругие связи предварительного напряжения мягких оболочек тентовых сооружений / Г.В. Куликов, Г.Г. Куликов // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – № 47. – С. 12-15.

REFERENCES

1. Krivoschapko SN, Ivanov VN, Khalabi SM Analytical surfaces: materials on the geometry of 500 surfaces and information on the calculation of the strength of thin shells. - M: Nauka, 2006. - 544 p. - ISBN 5-02-035747-2.

2. Nasser, Yu.A. Wave-shaped domes. / Yu.A. Nasser // Construction mechanics of engineering structures and structures: Interuniversity. Sat. sci. works. - Вып. 11. - Moscow: Publishing House of the ASV, 2002. - P. 49-58.

3. Yakupov, N.M. Calculation of thin-walled spherical shells with depressions on the basis of three-dimensional finite elements. Yakupov, F.G. Ahmadiev, H.G. Kiyamov // Building and technogenic security. - 2014. - No. 50. - P. 185-190.

4. Tarabara, I.Yu. Flexural-torsional vibrations of a flat plate in a stream of air / I.Yu. Tarabara, V.T. Chemodurov // Building and technogenic security. - 2014. - No. 49. - P. 27-31.

5. Pogorely, D.F. Damping of shell vibrations under polyharmonic loading / D.F. Pogorely, S.M.

Malinsky, A.Yu. Chernyavsky, V.A. Boyko // Building and technogenic security. - 2013. - No. 48. - P. 137-141.

6. Chemodurov, V.T. Calculation of a multilayer plate with reduced rigidity / VT Chemodurov, P.M. Kantserov // Building and technogenic security. - 2012. - No. 42. - P. 18-25.

7. Chemodurov, V.T. Choice of multilayer plate parameters by the experiment planning method / VT Chemodurov, V.I. Shinkaruk // Building and technogenic security. - 2012. - No. 42. - P. 26-30.

8. Tregubova, I.A. The choice of coordinate systems in the numerical description of the finite-element shell model. Tregubov // Building and Technogenic Security. - 2012. - No. 41. - P. 222-224.

9. Yakupov, N.M. Computer simulation of the calculation of the stress-strain state of a shell structure of complex geometry Yakupov, Kh.G. Kiyamov, F.G. Ahmadiev // Building and technogenic security. - 2012. - No. 41. - P. 261-267.

10. Litovchenko, P.A. Distribution of stresses in the normal section of lightweight three-layer prefabricated-monolithic reinforced concrete panels during bending / P.A. Litovchenko, N.I. Glushakov // Building and technogenic security. - 2012. - No. 43. - P. 31-35.

11. Popova O. Definition of the principles of the formation of spatial structures / O. Popova // Building and technogenic security. - 2013. - No. 48. - P. 142-146.

12. Kulikov, G.V. Elastic connection of prestressing of soft shells of tent structures / G.V. Kulikov, G.G. Kulikov // Building and technogenic security. - 2013. - No. 47. - P. 12-15.

FINITE-ELEMENTAL ANALYSIS OF THE STRESS-DEFORMED CONDITION OF WAVEFORM SHELLS

Chepurnenko A.S., Kochura V.G., Saybel A.V.

Summary. The article suggests a new type of reinforced concrete spatial structures in the form of ellipsoidal undulating surfaces. A study of the stress-strain state of shells for different values of the parameters determining their geometry using finite element modeling in the LIRA-CAD program 2013. The graphs and tables of maximum displacements and internal forces are presented, depending on the number of waves and their amplitude.

Key words: ellipsoidal wavy shell, finite element method, stress-strain state, reinforced concrete spatial structures

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗДАНИЙ

Кузьмичев А.А.

Волгоградский государственный технический университет
Институт архитектуры и строительства, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 400074

E-mail: andrew_9207@mail.ru

Аннотация: В связи с антропогенными факторами, такими как промышленность, транспорт и многие другие, внешний облик строительных конструкций и памятников архитектуры урбанизированной среды нуждается в особом внимании. Пылевое осаждение, вызванное загрязненным атмосферным воздухом, является одним из ключевых аспектов ухудшения состояния зданий. В данной статье рассмотрены проведенные автором экспериментальные исследования, моделирующие процесс адгезии пыли на вертикальные поверхности городской среды. На основании полученного уравнение регрессии, можно сделать вывод, что наиболее значимыми из четырех случайных факторов, среди которых концентрация пыли, дисперсный состав пыли, скорость ветра, направление воздушного потока, являются скорость ветра и направление воздушного потока. Таким образом, путем изучения закономерностей загрязнения зданий и сооружений достигается главная цель исследования – сохранение объектов культурного наследия.

Ключевые слова: пыль, твердые взвешенные частицы, атмосферный воздух, загрязнение воздуха, адгезия, адгезия пыли, массовый коэффициент адгезии, загрязнение зданий, планирование эксперимента, планирование эксперимента экологических исследований, объекты культурного наследия, экологическая безопасность строительства.

ВВЕДЕНИЕ

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время в связи с развитием промышленности, повышением транспортной активности, урбанизацией внешний облик зданий, сооружений, памятников архитектуры нуждается в особом внимании. Пылевое осаждение, вызванное загрязнениями, содержащимися в атмосферном воздухе городов, является одной из главных причин ухудшения состояния фасадов строительных конструкций. Загрязнение атмосферного воздуха связано как с естественными процессами, такими как выветривание, разрушения горных пород, вулканическая активность, космическая пыль, так и с антропогенными процессами, связанными с развитием промышленности, сельского и коммунально-бытового хозяйства, транспортной активностью и, как следствие, с загрязнением воздушной среды [1-10].

Один из основных процессов, который протекает в атмосферном воздухе и негативно воздействует на внешний облик зданий, сооружений

и архитектурных памятников, является адгезия – это процесс взаимодействия частиц с твердой поверхностью. Адгезия частиц пыли и порошков – это взаимодействие микроскопических частиц с твердой поверхностью, обусловленное силами, зависящими как от свойств контактирующих тел, так и от свойств среды [11-14].

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

С целью изучения закономерностей загрязнения зданий и сооружений, были проведены экспериментальные исследования, моделирующие процесс адгезии пыли на вертикальные поверхности в городской среде. В качестве лабораторной установки была использована разработанная автором конструкция, представляющая собой тройник (разновидность фитинга), соединенный с компрессором. Компрессор подключен к тройнику через вход 1, осуществляется подача воздушного потока. Пыль в установку подается через вход 2 (рисунок 1). Воздушный поток подхватывает частицы пыли в «камере смешивания» - 3. Через выход 5 происходит выдувание воздушного потока

вместе с образцами пыли и дальнейшая адгезия частиц на вертикальные поверхности – 6 (рисунок 1). В качестве вертикальных поверхностей были изучены такие образцы, как стекло, сталь, оштукатуренная поверхность и другие строительные и отделочные материалы – 6 (рисунок 1). В данной статье в качестве вертикального образца рассмотрена оштукатуренная поверхность.

При проведении исследований методами планирования эксперимента [15-19] в качестве функции отклика была выбрана следующая величина: массовый коэффициент адгезии (в долях) – γ_A :

$$\gamma_A = \left(\frac{M}{M_0} \right) \quad (1)$$

где M – масса частиц, налипших на поверхность;
 M_0 – первоначальная масса частиц.

В качестве варьируемых факторов, влияющих на функцию отклика, были выбраны следующие четыре фактора:

1. C – концентрация пыли в воздушном потоке, мг/м³;
2. $d_{\max}$ – максимальный размер частиц, мкм;
3. V – скорость воздушного потока, м/с;
4. φ – косинус угла воздушного потока к вертикальной поверхности.

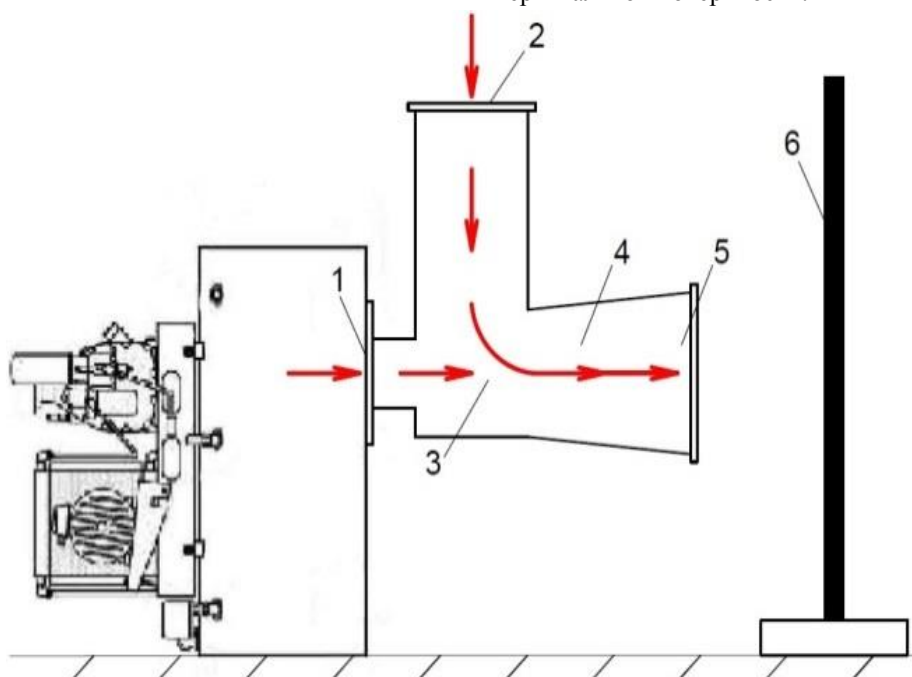


Рис.1. Схема работы экспериментальной установки: 1 – вход, через который поступает движущий воздушный поток; 2 – вход, через который осуществляется подача образцов пыли; 3 – смешивающая камера; 4 – диффузор; 5 – выход, через который осуществляется подача воздушного потока с пылью на вертикальную поверхность; 6 – вертикальная поверхность

Fig.1. Scheme of operation of the experimental setup: 1-input through which the moving air flow; 2-input through which the supply of dust samples; 3-mixing chamber; 4-diffuser; 5-output through which the supply of air flow with dust on a vertical surface; 6-vertical surface

Варьируемые факторы были приведены в соответствии с [12-16] к виду:

$$X_1 = \frac{C - C_0}{\Delta C}; X_2 = \frac{d_{\max} - d_{\max 0}}{\Delta d_{\max}}; \quad (2)$$

$$X_3 = \frac{V - V_0}{\Delta V}; X_4 = \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta \varphi}$$

где C_0 , $d_{\max 0}$, V_0 , φ_0 – значения соответствующих факторов в центре плана; ΔC , $\Delta d_{\max}$, ΔV , $\Delta \varphi$ – уровни изменения значений факторов.

План эксперимента представляет собой матрицу планирования, соответствующую центральному композиционному ротатабельному плану, имеет в основе план полного факторного эксперимента 2^4 (ядро матрицы планирования) и дополняется определенными точками факторного пространства – звездными точками и опытами в центре плана. Для рассматриваемого случая $n = 4$, звездное плечо равно $\alpha = \pm 2$, количество опытов ядра матрицы $2^4 = 16$, число звездных точек $N_\alpha = 8$, число нулевых точек $N_0 = 8$ [15-19].

**ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ
ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ
АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**

Результаты экспериментальных исследований аппроксимированы полиномом второй степени вида [15-19]:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_{12} + b_{13}X_{13} + b_{14}X_{14} + b_{23}X_{23} + b_{24}X_{24} + b_{34}X_{34} + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 \quad (3)$$

Для оценки значимости коэффициентов $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$ в уравнении регрессии воспользуемся критерием Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95\%$, используемую в технических экспериментах [15-19].

Проверка показала, что значимыми являются восемь коэффициентов: свободный член a также коэффициенты при следующих членах $X_1; X_2; X_3; X_4; X_1^2; X_2^2; X_3X_4$. Таким образом, с учетом вышесказанного уравнение регрессии будет иметь вид:

$$\gamma_A = b_0 + b_1 \cdot C + b_2 \cdot D_{max} + b_3 \cdot V + b_4 \cdot \varphi + b_{11} \cdot C^2 + b_{22} \cdot D_{max}^2 + b_{34} \cdot V \cdot \varphi \quad (4)$$

Коэффициенты уравнения имеют следующие значения: $b_0=0,006182; b_1=0,001216; b_2=0,001104; b_3=0,002786; b_4=0,002357; b_{11}=0,000584; b_{22}=0,000563; b_{34}=0,000563$. Проверка значимости уравнения регрессии: $F = 18,98; F_{кр} = 7,23$, т.к. $F > F_{кр}$, то уравнение регрессии значимо. Проверка значимости коэффициентов регрессии по t-критерию Стьюдента показала, что все коэффициенты значимы. Проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена

показала, что проведенные опыты воспроизводимы. Проверка адекватности математической модели по критерию Фишера продемонстрировала, что математическая модель адекватна.

На рисунке 2 изображена гистограмма остатков, которая указывает на нормальный закон распределения. На рисунке 3 изображена доверительная область линии регрессии с доверительной вероятностью, равной 95%.

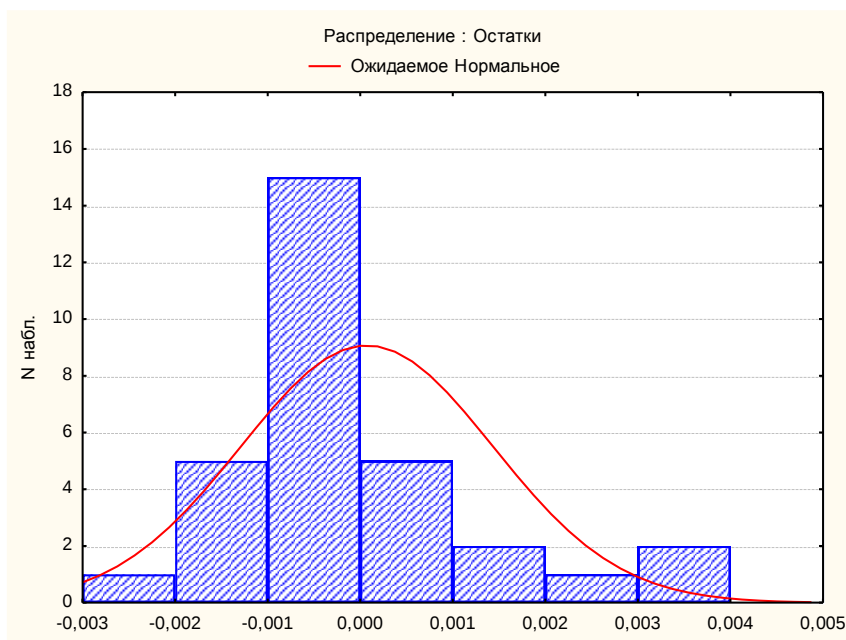


Рис.2. Гистограмма остатков

Fig. 2. Residual histogram

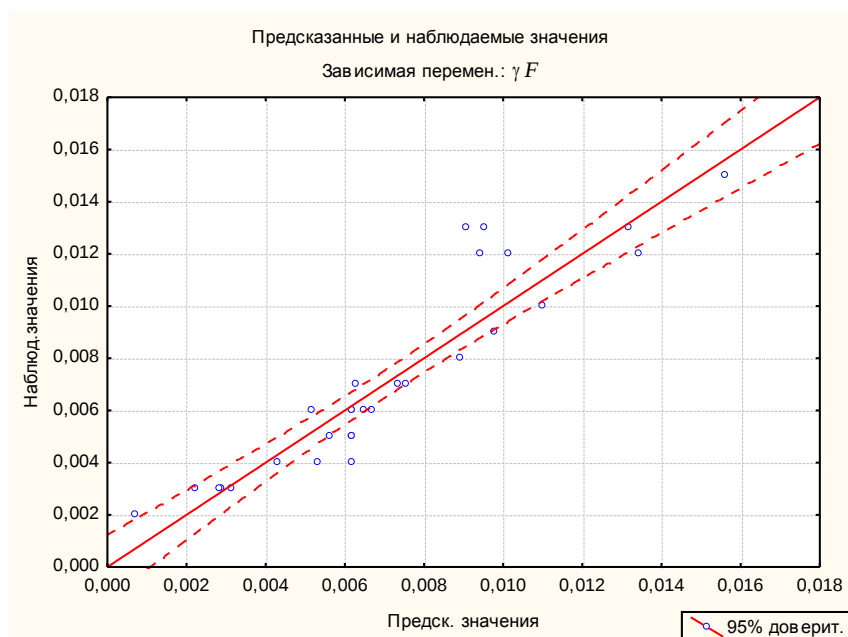


Рис. 3. Доверительная область линии регрессии

Fig. 3. Confidence area of the regression line

ВЫВОДЫ

С целью изучения закономерностей загрязнения зданий и сооружений, были проведены экспериментальные исследования, моделирующие процесс адгезии пыли на вертикальные поверхности в городской среде. Для этих целей автором была разработана специализированная экспериментальная установка (рисунок 1).

Получена зависимость массового коэффициента адгезии от четырех случайных факторов (концентрация пыли, дисперсный состав пыли, скорость ветра, направление воздушного потока). Анализируя полученное уравнение регрессии, можно сделать вывод, что наиболее значимыми из четырех случайных факторов являются скорость и направление воздушного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuzmichev A.A., Loboyko V.F. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2095-2101, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816315612>
2. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Kuzmichev A.V. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol.

129,5p, URL: https://www.mateconferences.org/article/s/mateconf/abs/2017/43/mateconf_icmtmte2017_05002/mateconf_icmtmte2017_05002.html.

3. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Stefanenko I.V. The Impact of Dust Particles on Cultural Heritage Objects in the Field of Environmental Mechanics. *Applied Mechanics and Materials*, 2018, vol. 878, pp. 259-262.

4. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А. Загрязнённость строительных конструкций и памятников архитектуры как один из аспектов визуальной экологии // *Социология города*. - 2015. - № 2. - С. 76-86.

5. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятие строительных конструкций и памятников архитектуры // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. - 2016. - № 1. - С. 86-96.

6. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А. Совокупность физического и визуального аспектов при исследовании загрязнений строительных конструкций и памятников архитектуры // *Социология города*. - 2016. - № 3. - С. 28-42.

7. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Методы создания комфортной визуальной среды города при реконструкции исторических зданий и сооружений // *Социология города*. - 2017. - № 2. - С. 44-52.

8. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Исследование закономерностей загрязнения строительных конструкций с помощью методов компьютерного моделирования // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Сер.: *Строительство и архитектура*. - 2017. - № 50 (69). - С. 440-450.

9. Кузьмичев А.А. Характеристика внешних и внутренних атмосферных загрязнений,

воздействующих на объекты культурного наследия // Современные научные исследования и разработки: электрон. журнал. - 2017. - № 5 (13). - С. 187-190. - Режим доступа: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/vypusk_513.pdf.

10. N.Y. Orudjev, M.B. Lempert, I. Osaulenko N.A. Salnikova, A.A. Kuzmichev, A.G. Kravets. Computer – Based visual analysis of ecology influence on human mental health // Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).- 2016.- URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7774711>.

11. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков / Москва: Химия, 1967. – 372 с.

12. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков / Изд. 2-е, пер. и доп. – Москва: Химия, 1976. – 432 с.

13. Zimon A.D. Adhesion of Dust and Powder. Springer, 1969, 413 p.

14. Зимон А.Д. Что такое адгезия / Москва: Наука, 1983.- 176 с.

15. Азаров В.Н., Ерещенко Т.В., Соловьева Т.В. Планирование и обработка эксперимента экологических исследований: учебно-практическое пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации.– Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 82 с.

16. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Москва: Наука, 1976. - 280 с.

17. Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Москва: Атомиздат, 1978. - 232 с. : ил.

18. Казаков Ю. Б. Методы планирования эксперимента / Москва: Энергия, 1971. - С. 73-78.

19. Казаков Ю.Б., Тихонов А.И. Методы планирования эксперимента в электромеханике: Метод. указания к выполнению лаб. работ / Иванов. гос. энергетический ун-т. - Иваново, 2001. - 28 с.

REFERENCES

1. Kuzmichev A.A., Loboyko V.F. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150 , pp. 2095-2101, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816315612>

2. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Kuzmichev A.V. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129,5p,URL:https://www.mateconferences.org/article/s/mateconf/abs/2017/43/mateconf_icmtmte2017_05002/mateconf_icmtmte2017_05002.html.

3. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Stefanenko I.V. The Impact of Dust Particles on Cultural Heritage Objects in the Field of Environmental Mechanics. *Applied Mechanics and Materials*, 2018, vol. 878, pp.259-262.

4. Azarov V.N., Kuzmichev A.A. [Pollution of building constructions and architectural monuments as

one of the aspects of visual ecology]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2015, vol. 2, pp. 76-86.

5. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [The study of impact of air pollution on external appearance and perception of building constructions and architectural monuments]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: human, region, technologies]*, 2016, vol. 1(13), pp. 86-96.

6. Azarov V. N., Kuzmichev A. A. [The totality of physical and visual aspects when studying contamination of building structures and monuments of architecture]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2016, vol. 3, pp. 28-42.

7. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [Methods of creation of a comfortable visual environment of a city at the reconstruction of historical buildings and constructions]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2017, vol. 2, pp. 44-52.

8. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [The research of contamination regularities in building structures with the help of computer modeling methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture]*, 2017, issue 50(69), pp. 440-450.

9. Kuzmichev A.A. [Characterization of External and Internal Atmospheric Pollution Influence on Cultural Heritage Objects]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki [Modern scientific research and development]*, 2017, vol. 5(13), pp. 187-190 , URL: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/vypusk_513.pdf.

10. N.Y. Orudjev, M.B. Lempert, I. Osaulenko N.A. Salnikova, A.A. Kuzmichev, A.G. Kravets. Computer – Based visual analysis of ecology influence on human mental health. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2016 , URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7774711>.

11. Zimon A.D. [Adhesion of Dust and Powder]. Moscow: Chemistry Publ., 1967, 372p.

12. Zimon A.D. [Adhesion of Dust and Powder]. Moscow: Chemistry Publ., 1976, 432 p.

13. Zimon A.D. Adhesion of Dust and Powder. Springer, 1969, 413 p.

14. Zimon A.D. What is adhesion. Moscow: Science Publ, 1983, 176 p.

15. Azarov V.N., Ereshenko T.V., Solovyova T.V. [Planning and processing of the ecological experiment studies: a practical guide]. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Volgograd: VolSTU, 2018, 82 p.

16. Adler Yu.P. [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Science Publ., 1976, 280 p.

17. Romanikov Yu.I. [Methods for planning and processing the results of a physical experiment]. Moscow: Avtomizdat Publ., 1978, 232 p.

18. Kazakov Yu.B. [Methods of experiment planning]. Moscow: Energy Publ., 1971, pp. 73-78.

19. Kazakov Yu.B., Tikhonov A.I. [Methods of experiment planning in electromechanics: Methodological instructions for performing laboratory work]. ISPU, Ivanovo, 2001, 28 p.

EXPERIMENTAL STUDIES OF URBAN DUST ADHESION ON VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS

Kuzmichev A.A.

Summary: In connection with anthropogenic factors, such as industry, transport and many others, the external appearance of building constructions and architectural monuments of urban environment needs special attention. Dust deposition caused by contaminated atmospheric air is one of the key aspects of the deterioration of buildings. In this article, we consider the experimental studies carried out by the author, modeling the process of dust adhesion on vertical surfaces of the urban environment. Based on the regression equation, it can be concluded that the most significant of the four random factors, among which dust concentration, particulate dust composition, air flow speed, air flow direction, are air flow speed and air flow direction. Thus, by studying the regularities of buildings and constructions pollution, the main goal of the research, to preserve the objects of cultural heritage, can be achieved .

Key words: dust, particulate matters, atmospheric air, pollution of atmospheric air, adhesion, adhesion of dust, mass adhesion coefficient, pollution of buildings, experiment planning, planning of ecological research experiment, cultural heritage objects, ecological safety of civil engineering

РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОГО МАССОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АДГЕЗИИ ГОРОДСКОЙ ПЫЛИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗДАНИЙ

Азаров В.Н., Кузьмичев А.А., Соловьева Т.В.

Волгоградский государственный технический университет
Институт архитектуры и строительства, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 400074

E-mail: andrew_9207@mail.ru , tatianasolovyova2010@yandex.ru

Аннотация: В связи с низким качеством атмосферного воздуха городской среды здания, сооружения и памятники архитектуры нуждаются в защите. В данной статье изучен механизм адгезии городской пыли на вертикальные поверхности зданий. На основании экспериментальных исследований, получена зависимость массового коэффициента адгезии от случайных факторов (концентрация пыли, максимальный размер частиц, скорость воздушного потока, направление воздушного потока). Установлено, что наиболее значимыми из данных факторов являются скорость и направление воздушного потока. В результате ряда преобразований получено выражение для вычисления значения интегрального массового коэффициента адгезии. Данная величина характеризует степень загрязнения строительных конструкций и, как следствие, играет важную роль в сохранении объектов культурного наследия.

Ключевые слова: пыль, твердые взвешенные частицы, атмосферный воздух, загрязнение воздуха, адгезия, адгезия пыли, массовый коэффициент адгезии, интегральный массовый коэффициент адгезии, загрязнение зданий, объекты культурного наследия, экологическая безопасность строительства.

ВВЕДЕНИЕ

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время в связи с повышенным уровнем фоновых концентраций в городах здания, сооружения и памятники архитектуры нуждаются в защите. В соответствии с Государственным докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году», «под негативным воздействием экологических факторов в 2009 году в России находилось более 35,1 тыс. памятников истории и культуры, в том числе под воздействием факторов естественного происхождения – около 9,7 тыс., под воздействие факторов антропогенного происхождения – около 25,4 тыс. объектов» (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году».- Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2010.). Эти данные свидетельствуют о сохранении высокого уровня подверженности памятников негативному воздействию экологических факторов и увеличиваются с каждым годом, преимущественно за счет антропогенных факторов.

Среди экологических факторов, негативно воздействующих на объекты культурного наследия, следует выделить загрязнение атмосферного воздуха. Многочисленные исследования, характеризующие масштабы вредного воздействия загрязненного воздуха на строительные конструкции, были проведены во многих странах. На основании исследований, проведенных в Италии [1-10], установлено, что около 30 % разрушений и ухудшения внешнего вида памятников архитектуры и культуры вызывается загрязнением атмосферы [1-10].

Одним из основных факторов, негативно воздействующих на объекты культурного наследия, является содержащаяся в воздухе пыль. Ее образование связано как с естественными процессами, такими как выветривание, разрушения горных пород, вулканическая активность, космическая пыль, так и с антропогенными процессами, связанными с развитием промышленности, сельского и коммунально-бытового хозяйства, транспортной активностью [1-10].

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Механизм загрязнения зданий пылью складывается из таких составляющих, как адгезия или «налипание» – это процесс взаимодействия частиц с твердой поверхностью [11-14], и «сдувание» – это процесс, при котором направление воздушного потока преимущественно удаляет находящиеся на поверхности частицы, не позволяя им осесть на поверхности. В данной работе рассмотрен процесс адгезии городской пыли на вертикальные поверхности.

С целью изучения закономерностей загрязнения зданий, авторами были проведены экспериментальные исследования, моделирующие процесс адгезии пыли на вертикальные поверхности в городской среде [11-14]. В качестве вертикальных поверхностей были изучены такие образцы, как

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_{12} + b_{13}X_{13} + b_{14}X_{14} + b_{23}X_{23} + b_{24}X_{24} + b_{34}X_{34} + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 \quad (2)$$

Для оценки значимости коэффициентов $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$ в уравнении регрессии воспользуемся критерием Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95\%$, используемую в технических экспериментах [15-19].

Коэффициенты зависимости имеют следующие значения: $b_0=0,006182$; $b_1=0,001216$; $b_2=0,001104$; $b_3=0,002786$, $b_4=0,002357$; $b_{11}=0,000584$; $b_{22}=0,000563$; $b_{34}=0,000563$. Проверка значимости уравнения регрессии показала, что $F = 18,98$; $F_{кр} = 7,23$. Так как $F > F_{кр}$, то уравнение регрессии значимо. Проверка значимости коэффициентов регрессии по t -критерию Стьюдента показала, что все коэффициенты значимы.

стекло, сталь, оштукатуренная поверхность и другие строительные и отделочные материалы. В данной статье в качестве вертикального образца рассмотрена оштукатуренная поверхность.

В качестве функции отклика выбран массовый коэффициент адгезии (в долях) – γ_A :

$$\gamma_A = \left(\frac{M}{M_0} \right) \quad (1)$$

где M – масса частиц, налипших на поверхность;
 M_0 – первоначальная масса частиц.

В качестве варьируемых факторов выбраны следующие величины: концентрация пыли в воздушном потоке C , $мг/м^3$; максимальный размер частиц d , $мкм$; скорость воздушного потока V , $м/с$; косинус угла воздушного потока к вертикальной поверхности φ .

Результаты экспериментальных исследований аппроксимированы полиномом второй степени вида [15-19]:

Проверка показала, что значимыми являются восемь коэффициентов: свободный член a также коэффициенты при следующих членах X_1 ; X_2 ; X_3 ; X_4 ; X_1^2 ; X_2^2 ; X_3X_4 . Таким образом, с учетом вышесказанного уравнение регрессии будет иметь вид:

$$\gamma_A = b_0 + b_1 \cdot C + b_2 \cdot D_{max} + b_3 \cdot V + b_4 \cdot \varphi + b_{11} \cdot C^2 + b_{22} \cdot d^2 + b_{34} \cdot V \cdot \varphi \quad (3)$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО МАССОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АДГЕЗИИ

Анализируя полученное уравнение регрессии (3), можно сделать вывод, что наиболее значимыми из четырех случайных факторов, среди которых концентрация пыли, дисперсный состав пыли, скорость ветра, направление воздушного потока, являются скорость ветра и направление воздушного потока. С учетом их наибольшей значимости интегральный массовый коэффициент адгезии за отрезок времени τ вычислялся по формуле (4):

$$\gamma_A = \sum_{i=1}^4 \tau_i \int \int_{\varphi V} \gamma F(\varphi, V, d, C) dF(\varphi) dF(V), \quad (4)$$

где $F(\varphi)$ и $F(V)$ — интегральные функции распределения направления и скорости воздушного потока соответственно.

Исходя из предположения, что скорость воздушного потока и угол воздушного потока к

вертикальной поверхности имеют равномерный закон распределения, их дифференциальные функции распределения выглядят следующим образом:

$$f(V) = \begin{cases} \frac{1}{V_2 - V_1}, & \text{если } V \in [V_1; V_2], \\ 0, & \text{если } V \notin [V_1; V_2], \end{cases} \quad f(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1}, & \text{если } \varphi \in [\varphi_1; \varphi_2], \\ 0, & \text{если } \varphi \notin [\varphi_1; \varphi_2], \end{cases} \quad (5)$$

После замен, интегрирования и ряда других преобразований получим следующее значение интегрального массового коэффициента адгезии:

$$\gamma A = \delta \left((a_1 + a_2 C + a_3 d + a_6 C^2 + a_7 d^2) V_0 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{a_4 V_0^2 (\varphi_2 - \varphi_1)}{2} + \left(\frac{a_5 V_0}{2} + \frac{a_8 V_0^2}{4} \right) \cdot (\varphi_2^2 - \varphi_1^2) \right), \quad (6)$$

$$\text{где } \delta = \frac{1}{V_2 - V_1} \cdot \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1}$$

В ряде работ, например, для Волгограда [20], установлено практическое отсутствие взаимосвязи между скоростью ветра и направлением ветра в течение всего периода наблюдений, а также доказано, что распределение скоростей ветра описывается двухпараметрическим уравнением Вейбулла:

$$F(V, k, \beta) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} \quad (7)$$

где k — параметр формы распределения;
 β — параметр масштаба распределения.

Исходя из предположения, что угол воздушного потока к вертикальной поверхности имеет равномерный закон распределения, получим:

$$\gamma_A = \frac{\alpha k}{\beta^k} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi \left(\int_0^{V_0} (a_1 + a_2 C + a_3 d + a_5 \varphi + a_6 C^2 + a_7 d^2) \cdot V^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV + \int_0^{V_0} (a_4 + a_8 \varphi) V^k e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV \right) \right)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \quad (8)$$

Вычислим интегралы: $\int_0^{V_0} V^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV$ и $\int_0^{V_0} V^k e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV$, используя подстановку $t = \frac{V^k}{\beta^k}$, тогда

$$V = \beta \cdot t^{\frac{1}{k}}, \quad dt = \frac{k V^{k-1}}{\beta^k} dV :$$

$$\int_0^{V_0} V^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV = \frac{\beta^k}{k} \int_0^{\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} e^{-t} dt = \frac{\beta^k}{k} \left(1 - e^{-\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} \right). \quad (9)$$

$$\int_0^{V_0} V^k e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} dV = \frac{\beta^{k+1}}{k} \int_0^{\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} t^{\frac{1}{k}} e^{-t} dt \quad (10)$$

Подставляя значения интегралов (9 – 10) в формулу (8), получим значение интегрального массового коэффициента адгезии за год:

$$\gamma A = \alpha \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} \right) \cdot \left((a_1 + a_2 C + a_3 d + a_6 C^2 + a_7 d^2) \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{a_5 (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)}{2} \right) + \frac{\alpha}{\beta^k} \left(\frac{V_0^{1+k}}{\left(\frac{1}{k} + 1\right)} - \frac{V_0^{1+2k}}{\left(\frac{1}{k} + 2\right) \beta^k} + \dots + (-1)^n \frac{V_0^{1+(n+1)k}}{\left(\frac{1}{k} + n + 1\right) \cdot (n+1)! \beta^{nk}} + \dots \right) \cdot \left(a_4 (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{a_8 (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)}{2} \right). \quad (11)$$

Знакопередающийся ряд сходится быстро при следующих значениях скорости воздушного потока, м/с: $0 < V_0 \leq 7$. Однако, при значении скорости воздушного потока $V_0 > 7$ м/с ряд сходится очень медленно, т.е. для получения приближенного значения его суммы с указанной степенью точности

$$\int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt = \Gamma(z) \quad (12)$$

необходимо вычислять большое количество слагаемых. Поэтому при $V_0 \geq 8$ м/с вычислим интеграл (10) приближенно с использованием гамма-функций, которая называется Эйлеровым интегралом второго рода[21-23]:

После ряда подстановок и преобразований получаем формулу для вычисления годового интегрального массового коэффициента адгезии:

$$\gamma A = \alpha \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} \right) \cdot \left((a_1 + a_2 C + a_3 d + a_6 C^2 + a_7 d^2) \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{a_5 (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)}{2} \right) + \Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) \cdot \alpha \beta \cdot \left(a_4 (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{a_8 (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)}{2} \right). \quad (13)$$

Анализ результатов исследования, проведенного авторами, демонстрирует, что при значении скорости воздушного потока $1 < V_0 \leq 7$ м/с для вычисления интегрального массового коэффициента адгезии целесообразно использовать

формулу (11), а при значениях скорости воздушного потока $8 \leq V_0 \leq 16$ м/с следует использовать формулу (13). В соответствии с этим на рисунке 1 изображен график зависимости значений интегрального массового коэффициента адгезии от скорости ветра

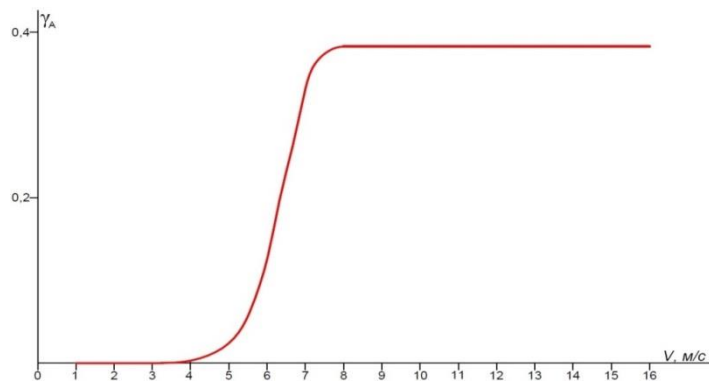


Рис.1. Зависимость интегрального массового коэффициента адгезии от скорости ветра

Fig.1. Dependence of the integral mass coefficient of adhesion on wind speed

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований, моделирующих процесс адгезии пыли на вертикальные поверхности зданий в городской среде, была получена зависимость (3) массового коэффициента адгезии от четырех случайных факторов (концентрация пыли в воздушном потоке, максимальный размер частиц, скорость воздушного потока, направление воздушного потока к вертикальной поверхности). Установлено, что наиболее значимыми из числа исследуемых факторов являются скорость ветра и направление воздушного потока.

Получена расчетная формула для определения значения интегрального массового коэффициента адгезии для двух вариантов распределения величин V , φ (скорость и направление воздушного потока) – равномерного распределения и распределения Вейбулла.

Для исследуемого образца, оштукатуренной вертикальной поверхности, получены расчетные формулы для определения значения годового интегрального массового коэффициента адгезии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuzmichev A.A., Loboyko V.F. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2095-2101, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816315612>
2. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Kuzmichev A.V. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, 5p, URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2017/43/mateconf_icmtmt2017_05002/mateconf_icmtmt2017_05002.html.
3. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Stefanenko I.V. The Impact of Dust Particles on Cultural Heritage Objects in the Field of Environmental Mechanics. *Applied Mechanics and Materials*, 2018, vol. 878, pp. 259-262.
4. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А. Загрязнённость строительных конструкций и памятников архитектуры как один из аспектов визуальной экологии // *Социология города*. - 2015. - № 2. - С. 76-86.
5. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятие строительных конструкций и памятников архитектуры // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. - 2016. - № 1. - С. 86-96.
6. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А. Совокупность физического и визуального аспектов при исследовании загрязнений строительных конструкций и памятников архитектуры // *Социология города*. - 2016. - № 3. - С. 28-42.
7. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Методы создания комфортной визуальной среды города при реконструкции исторических зданий и сооружений // *Социология города*. - 2017. - № 2. - С. 44-52.
8. Кузьмичев А.А., Азаров В.Н. Исследование закономерностей загрязнения строительных конструкций с помощью методов компьютерного моделирования // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. - 2017. - № 50 (69). - С. 440-450.
9. Кузьмичев А.А. Характеристика внешних и внутренних атмосферных загрязнений, воздействующих на объекты культурного наследия // *Современные научные исследования и разработки: электрон. журнал*. - 2017. - № 5 (13). - С. 187-190. - Режим доступа: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/vypusk_513.pdf.
10. N.Y. Orudjev, M.B. Lempert, I. Osaulenko N.A. Salnikova, A.A. Kuzmichev, A.G. Kravets. Computer – Based visual analysis of ecology influence on human mental health. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2016, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7774711>.
11. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков / Москва: Химия, 1967. - 372 с.
12. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков / Изд. 2-е, пер. и доп. – Москва: Химия, 1976. – 432 с.
13. Zimon A.D. Adhesion of Dust and Powder. Springer, 1969, 413 p.
14. Зимон А.Д. Что такое адгезия / Москва: Наука, 1983. - 176 с.
15. Азаров В.Н., Ерещенко Т.В., Соловьева Т.В. Планирование и обработка эксперимента экологических исследований: учебно-практическое пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 82 с.
16. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Москва: Наука, 1976. - 280 с.
17. Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Москва: Атомиздат, 1978. - 232 с. : ил.
18. Казаков Ю. Б. Методы планирования эксперимента / Москва: Энергия, 1971. - С. 73-78.
19. Казаков Ю.Б., Тихонов А.И. Методы планирования эксперимента в электромеханике: Метод. указания к выполнению лаб. работ / Иванов. гос. энергетический ун-т. - Иваново, 2001. - 28 с.
20. Донцова Т.В. Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости: дисс.к-та техн. наук / Донцова Татьяна Васильевна. - Волгоград, 2016. - 161 с.

21. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Пер. с англ. - Москва: Наука, 1979.- 832 с.

22. Ильин В. А., Садовничий В.А., Сендов Бл. Х. Математический анализ. Продолжение курса / Под ред. А. Н. Тихонова.- М.: Изд-во МГУ, 1987.- 358 с.

23. Уиттекер Э.Т., Ватсон Дж.Н. Курс современного анализа. Часть 2 / 2-е изд. - Пер. с англ. - Под ред. Ф. В. Широкова. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит.- 1963. - 516 с.

REFERENCES

1. Kuzmichev A.A., Loboyko V.F. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150 , pp. 2095-2101, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816315612>

2. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Kuzmichev A.V. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129,5p, URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2017/43/mateconf_icmtmt2017_05002/mateconf_icmtmt2017_05002.html.

3. Kuzmichev A.A., Azarov V.N., Stefanenko I.V. The Impact of Dust Particles on Cultural Heritage Objects in the Field of Environmental Mechanics. *Applied Mechanics and Materials*, 2018, vol. 878, pp.259-262.

4. Azarov V.N., Kuzmichev A.A. [Pollution of building constructions and architectural monuments as one of the aspects of visual ecology]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2015, vol. 2, pp. 76-86.

5. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [The study of impact of air pollution on external appearance and perception of building constructions and architectural monuments]. *Biosferная sovmetimost': chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: human, region, technologies]*, 2016, vol. 1(13), pp. 86-96.

6. Azarov V. N., Kuzmichev A. A. [The totality of physical and visual aspects when studying contamination of building structures and monuments of architecture]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2016, vol. 3, pp. 28-42.

7. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [Methods of creation of a comfortable visual environment of a city at the reconstruction of historical buildings and constructions]. *Sotsiologiya Goroda [Sociology of City]*, 2017, vol. 2, pp. 44-52.

8. Kuzmichev A.A., Azarov V.N. [The research of contamination regularities in building structures with the help of computer modeling methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i*

arhitektura [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, issue 50(69), pp. 440-450.

9. Kuzmichev A.A. [Characterization of External and Internal Atmospheric Pollution Influence on Cultural Heritage Objects]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki [Modern scientific research and development]*, 2017, vol. 5(13), pp. 187-190 , URL: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/vypusk_513.pdf.

10. N.Y. Orudjev, M.B. Lempert, I. Osaulenko N.A. Salnikova, A.A. Kuzmichev, A.G. Kravets. Computer – Based visual analysis of ecology influence on human mental health. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2016 , URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7774711>.

11. Zimon A.D. [Adhesion of Dust and Powder]. Moscow: Chemistry Publ., 1967, 372p.

12. Zimon A.D. [Adhesion of Dust and Powder]. Moscow: Chemistry Publ., 1976, 432 p.

13. Zimon A.D. *Adhesion of Dust and Powder*. Springer, 1969, 413 p.

14. Zimon A.D. What is adhesion. Moscow: Science Publ, 1983, 176 p.

15. Azarov V.N., Ereshenko T.V., Solovyova T.V. [Planning and processing of the ecological experiment studies: a practical guide]. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Volgograd: VolSTU, 2018, 82 p.

16. Adler Yu.P. [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Science Publ., 1976, 280 p.

17. Romanikov Yu.I. [Methods for planning and processing the results of a physical experiment]. Moscow: Avtomizdat Publ., 1978, 232 p.

18. Kazakov Yu.B. [Methods of experiment planning]. Moscow: Energy Publ., 1971, pp. 73-78.

19. Kazakov Yu.B., Tikhonov A.I. [Methods of experiment planning in electromechanics: Methodological instructions for performing laboratory work]. ISPU, Ivanovo, 2001, 28 p.

20. Dontsova T.V. [The balance method of estimation of air environment pollution of large cities based on principles of biosphere compatibility: the dissertation of Engineering Sciences Candidate]. Volgograd, 2016, 161 p.

21. Abramowitz M., Stegun I. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables. Moscow: Science Publ., 1979, 832 p.

22. Il'in V.A., Sadovnichiy V.A., Sendov Bl. Kh. [Mathematical analysis. Continuation of the course]. Edit. by A.N. Tikhonova, Moscow: MSU Publ., 1987, 358 p.

23. Whittaker E.T., Watson G.N. A course of modern analysis. Part 2. Edit. by F.V. Shirokov, Moscow: State physical and mathematical literature Publ., 1963, 516 p.

CALCULATION OF THE INTEGRAL MASS ADHESION COEFFICIENT OF URBAN DUST ON
VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS

Azarov V.N., Kuzmichev A.A., Solovyova T.V.

Summary: Due to the low quality of atmospheric air in the urban environment, buildings, constructions and architectural monuments need to be protected. In this paper, the mechanism of adhesion of urban dust on vertical surfaces of buildings is studied. Based on experimental studies, the dependence of the mass adhesion coefficient on random factors (dust concentration, maximum particle size, air flow speed, air flow direction) was obtained. It is established that the most significant of these factors are speed and direction of the air flow. As a result of a number of transformations, the expression for calculating the value of the integral mass adhesion coefficient was obtained. This value characterizes the degree of pollution of building constructions and, as a consequence, plays an important role in the preservation of cultural heritage objects.

Key words: dust, particulate matters, atmospheric air, air pollution, adhesion, adhesion of dust, mass adhesion coefficient, integral mass adhesion coefficient, pollution of buildings, cultural heritage objects, ecological safety of civil engineering.

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Братчун В.И., Беспалов В.Л.

ГОУ ВПО ДонНАСА, ДНР,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
e-mail: bratv09@ yandex.ru

Аннотация. С использованием экспериментально-статистического метода планирования эксперимента установлено, что оптимальная массовая концентрация бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 в битумах III структурно-реологического типа БНД 40/60, БНД 60/90 должна составлять 2 – 3% мас., технической серы 25 – 30% мас., а массовая концентрация СКМС-30 на поверхности минерального порошка 0,5% мас. При данных концентрационных соотношениях формируется структурный слой модификатора, приводящий к усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – поверхностно-активированный СКМС-30 минеральный порошок». Асфальтополимерсеробетонные смеси отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 60 – 130°C. Асфальтополимерсеробетоны характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения. Температура перехода в вязкотекучее состояние 75°C, устойчивость по Маршаллу 23 кН против 15 кН для традиционного горячего асфальтобетона. Они более долговечны, коэффициент старения при 75°C и ультрафиолетовом облучении после 2000 часов прогрева составляет $K_{ст} = 1,25$, для стандартного асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$; коэффициент водостойкости после 90 суток водонасыщения $K_{вд} = 0,87$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов, $F = 0,83$, для стандартного асфальтобетона $F = 0,41$.

Ключевые слова: высокотехнологичные горячие литые асфальтополимерсеробетонные смеси и асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности.

ВВЕДЕНИЕ

Из критического анализа литературных источников по направленному регулированию структуры комплексно-модифицированных асфальтобетонов установлено, что к настоящему времени недостаточно полно сформулированы теоретические положения получения модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности; не исследованы явления и процессы, происходящие в асфальтобетонах с комплексно-модифицированной микроструктурой; отсутствуют данные: об оптимальных концентрационных соотношениях в системе «битум – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 – техническая сера»; о параметрах технологических режимов производства асфальтополимерсеробетонных смесей; недостаточно изучены физические и деформационно-прочностные характеристики комплексно-модифицированных асфальтобетонов [1 – 16].

На основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей

модифицированных асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического описания разработаны и реализованы принципы получения комплексно-модифицированных горячих и литых асфальтобетонных смесей, которые позволяют комплексно решить проблему обеспечения покрытия нежесткой дорожной одежды автомобильной дороги способностью противостоять одновременно колебности, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению, заключающиеся в комплексной модификации органических вяжущих полимером термодинамически совместимым с нефтяными дорожными битумами: бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 совместно с технической серой; и формированием в битуме пространственной полимерной сетки с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной поверхностной активацией СКМС-30 минеральных материалов асфальтобетонной смеси.

Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование способов

получения ресурсоэкономичных и технологичных комплексно-модифицированных горячих и литых асфальтобетонных смесей для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности путем установления закономерностей формирования структуры модифицированных органических вяжущих и контактной зоны на поверхности раздела фаз «комплексно-модифицированное органическое вяжущее – поверхностно-активированные СКМС-30, минеральные материалы асфальтобетона».

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ теоретических и экспериментальных исследований, выполненных научными школами под руководством В.И. Братчуна, В.А. Веренько, Т.И. Горшениной, Л.М. Гохмана, В.А. Захарова, В.А. Золотарева, S.M. Prince, B.R. Gurmann и др. [1 – 16], свидетельствует, что одним из наиболее перспективных способов изменения состава и структуры дисперсионной среды битумов является модификация органического вяжущего олигомерами (фенолформальдегидные, эпоксидные, инденкумароновые смолы, кубовые остатки ректификации стирола и сырого бензола и др.), а также полимерами: термоэластопласты типа СБС в Европе, ДСТ в Российской Федерации (из общего количества полимеров, используемых для модификации битумов, термоэластопласты составляют 75 %); термопластичные полимеры (винилацетат, винилметилакрилаты, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и др. – 15%). На остальные разновидности полимеров-модификаторов приходится, не более 10 % [11 – 15]. Одновременное воздействие на дисперсионную среду и дисперсную фазу битумов осуществляется полимерами в комплексе с дисперсной или гранулированной серой, а также полимером и активным дисперсным наполнителем.

Взаимодействие минеральных материалов и органических вяжущих является важнейшим элементом структурообразования в бетонах на органических вяжущих, так как оно, при прочих равных условиях, определяет прочность и деформативность асфальтобетонов при эксплуатационных температурах, способность противостоять изменяющемуся влажностному режиму и старению.

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что асфальтополимербетоны (горячий асфальтополимербетон и литой асфальтополимербетон с комплексно-модифицированной микроструктурой, в которых

нефтяной дорожный битум модифицирован бутадиенмстилстирольным каучуком СКМС-30 в комбинации с технической серой, а поверхность минеральных материалов активирована полимером (СКМС-30), не исследованы как физико-химические системы.

Теоретические положения формирования оптимальной структуры битумополимерсерного вяжущего и асфальтополимерсеробетона заключается в следующем.

Модификацию битума бутадиенмстилстирольным каучуком СКМС-30 необходимо вести из раствора в углеводородных фракциях.

Можно предположить, что в этом случае при концентрации СКМС-30 2 – 3% мас. в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур сформируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка (исследования Л.М. Гохмана). Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 являются α -метилстирольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность – кинетической гибкостью бутадиеновых цепей между узлами сетки.

По мере увеличения концентрации элементарной серы (температура объединения битума и серы 150 – 155 °С) должно произойти увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы должна принять участие в вулканизации бутадиенмстилстирольного каучука (образуются преимущественно моносulfидные и поперечные полиsulfидные связи). До 10% масс. серы вступит в химическое взаимодействие с углеводородами битума. Произойдет –S– дегидрирование и образование асфальтеноподобных веществ. Часть серы растворится (20 – 26% мас.). Остальная сера должна диспергироваться в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. В битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически

связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты и методы исследования. В качестве органического вяжущего принят нефтяной дорожный битум БНД 40/60, соответствующий требованиям ДСТУ 4044-2011 (ГОСТ 22245-90).

Для комплексной модификации микроструктуры асфальтобетона использован: каучук синтетический бутадиен-метилстирольный СКМС-30 АРКМ-15 (ГОСТ 11138-78); техническая сера (ГОСТ 127.1-93).

Использован известняковый минеральный порошок (МП): содержание CaCO_3 – 92%; удельная поверхность $S_{1,2} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$; средняя плотность – $2715 \text{ кг}/\text{м}^3$; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – $1880 \text{ кг}/\text{м}^3$; пустотность – 31,8%; битумоемкость – 50%.

Щебень и песок получены дроблением и рассевом гранита Каранского карьера (Донецкая область) со следующими показателями качества: дробимость – 6,2% (марка щебня по прочности – 1400); истираемость щебня в полочном барабане – 2,3%; насыпная плотность щебня – $1410 \text{ кг}/\text{м}^3$; истинная плотность – $2670 \text{ кг}/\text{м}^3$; морозостойкость $F > 200$ циклов; содержание зерен лещадной и игольчатой формы – 6,5%.

Гранулометрический состав минеральной части принятого асфальтобетона, характеризуется частными остатками на ситах (мм): асфальтобетон тип «А»: 15...10 – 29%; 10...5 – 21%; 5...2,5 – 15%; 2,5...1,25 – 15%; 1,25...0,63 – 1%; Тип «Б»: 15...10 – 22,8%; 10...5 – 17,2%; 5...2,5 – 17,2%; 2,5...1,25 – 12,8%; 1,25...0,63 – 8,3%; 0,63...0,315 – 6,5%; 0,315...0,14 – 4,8%; 0,14...0,071 – 3,2%; минеральный порошок – 7,2%.

В настоящей работе кроме стандартных, принят ряд специальных методов исследования: калориметрический (микрокалориметр ДАК-I-IA), электронномикроскопический (сканирующий микроскоп ИСИ-60А); инфракрасная спектроскопия (спектрометр Spesord); исследование усталостной долговечности при действии статических и динамических нагрузок в условиях двухстороннего изгиба выполнено на разработанной установке, которая позволяет выполнять исследования стандартных образцов-балочек (16·4·4 см) в режиме

постоянных циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и замеров величин прогиба образца. Режимы циклического нагружения: нагрузка от 0,1 до 0,5 с, отдых от 0,2 до 0,9 с. Величина циклической нагрузки 10-50% от разрушающей. Температурные режимы испытаний: -20°C ; -10°C ; 0°C ; 10°C ; 20°C . Для определения глубины вдавливания штампа при определении пластичности литых асфальтобетонов, определения подвижности литых асфальтополимербетонных смесей, устойчивости по Маршаллу, моделирования уплотняемости асфальтобетонных смесей на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДОННАСА» изготовлены приборы и оборудование в соответствии с нормативными документами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Данные, приведенные на (рис. 1), показывают, что активация поверхности минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 из раствора в бензине приводит к значительному упрочнению межфазного контакта «битумополимерсерное вяжущее – активированная СКМС-30 поверхность минерального порошка».

Зависимость предела прочности при сжатии асфальтополимерсеробетона имеет максимум при содержании 0,5% мас. СКМС-30 на поверхности минерального порошка. При данной концентрации термоэластопласта на поверхности минерального порошка (рис. 1) формируется олеофильный структурированный слой СКМС-30, который способствует усилению коагуляционного структурообразования в асфальтовяжущем веществе.

Составы асфальтополимерсерного вяжущего оптимизированы. Факторы варьирования – массовая концентрация в битуме СКМС-30 $X_1 = 1 \dots 5\%$ мас. и технической серы $X_2 = 20 \dots 60\%$ мас. Параметры оптимизации асфальтополимерсеробетона, приготовленного на известняковом минеральном порошке, который активирован 0,5% мас. СКМС-30: предел прочности при сжатии при 0°C R_0 (Y_1) – не более 12 МПа, при 75°C R_{75} (Y_2) – не менее 1,2 МПа, а также коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{\text{вд}}$ (Y_3) – не менее 0,8. Регрессионный анализ выполнен с помощью ЭВМ по программе, написанной на языке MathCAD. $Y_1(1)$ и $Y_2(2)$ аппроксимированы полиномами второй степени, а $Y_3(3)$ первой:

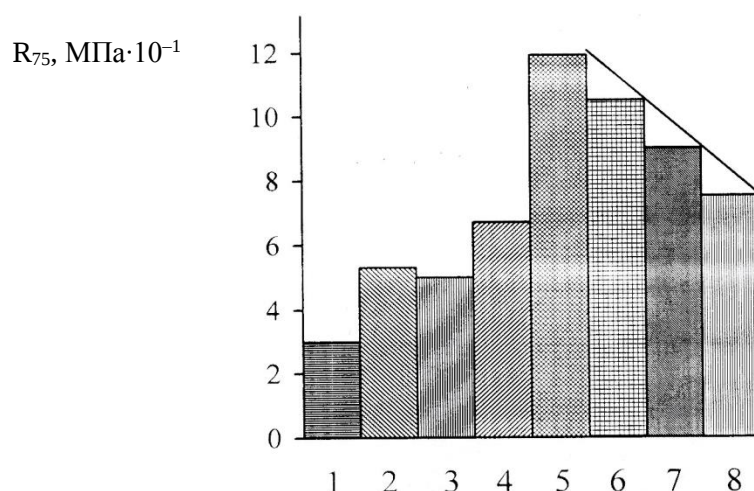


Рис. 1. Диаграмма предела прочности при сжатии при температуре 75°C, R₇₅ мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее – битум (Б), P₂₅ = 59·0,1 мм, известняковый минеральный порошок (ИМП) не активирован; 2 – вяжущее – Б, P₂₅ = 59·0,1 мм с 2% мас. бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30, ИМП не активирован; 3 – вяжущее – Б, P₂₅ = 59·0,1 мм с 30% мас. технической серы (S), ИМП не активирован; 4 – вяжущее – Б, P₂₅ = 59·0,1 мм с 2% мас. СКМС-30 и 30% мас. S, ИМП не активирован; 5, 6, 7, 8 – вяжущее – Б, P₂₅ = 59·0,1 мм с 2% мас. СКМС-30 и 30% мас. S, ИМП активирован 0,5% мас., 1,0% мас., 1,5% мас. и 2,0% мас. СКМС-30 соответственно.

Fig. 1. Compressive strength diagram at a temperature of 75°C, R₇₅ of fine – grained asphalt concrete (type B), different composition of asphalt binder: 1 – binder – bitumen (B), P₂₅ = 59·0,1 mm, limestone mineral powder (IMP) is not activated; 2 – binder-B, P₂₅ = 59·0,1 mm with 2% wt. butadiene methyl styrene rubber SKMS-30, IMP is not activated; 3 – astringent-B, P₂₅ = 59·0,1 mm with 30% by weight. technical sulfur (S), IMP is not activated; 4 – binder – B, P₂₅ = 59·0,1 mm with 2% by weight. SCMS-30 and 30% by weight. S, IMP is not activated; 5, 6, 7, 8 – astringent – B, P₂₅ = 59·0,1 mm with 2% month. SCMS-30 and 30% by weight. S, IMP activated by 0,5% wt., 1,0% by weight., 1,5% by weight. and 2,0% by weight. SCMS-30, properly.

$$Y_1(X_1, X_2) = 9,033 + 0,633 \cdot x_1 + 0,825 \cdot x_2 - 0,658 \cdot X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2(X_1, X_2) = 1,367 + 0,177 \cdot x_1 + 0,242 \cdot x_2 - 0,225 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

$$Y_3(X_1, X_2) = 0,912 - 0,09 \cdot x_2 \quad (3)$$

Коэффициент корреляции 0,97, 0,98 и 0,94, коэффициент вариации 0,034, 0,028 и 0,043 соответственно. Информационная способность моделей 1, 2, 3 проверена с помощью критерия Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы «битум – бутадиенметилстирольный каучук – техническая сера», обеспечивающих заданные параметры оптимизации модифицированного асфальтовяжущего вещества.

Термограммы ДТА, как и данные ИК – спектроскопии, свидетельствуют о том, что химическое взаимодействие на поверхности раздела фаз битумополимерсерное вяжущее –

активированный СКМС-30 – минеральный порошок отсутствует. В то же время в системе «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок, активированный 0,5% мас. СКМС-30», более четко проявляются полосы поглощения битума (ароматика, метильные группы), чем в системе «битумополимерсерное вяжущее – неактивированный минеральный порошок». Это свидетельствует о том, что слой структурированного бутадиен-метилстирольного каучука на поверхности минерального порошка улучшает смачивание его вяжущим и обеспечивает более сильное межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

Асфальтополимерсеробетонные смеси более технологичны, чем традиционные горячие асфальтобетонные. Оптимальный интервал температур уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой 60 – 130°C, а для горячих асфальтобетонных смесей, приготовленных на битуме БНД 40/60, 90 – 130°C. Это позволит продлить строительный сезон и время транспортирования асфальтобетонных смесей, увеличить эффективное время уплотнения.

Асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой оптимальных составов характеризуются следующими показателями качества: предел прочности при сжатии, МПа при 0°C $R_0 = 8 - 10$, при 20°C $R_{20} = 5,0 - 6,5$, при 75°C $R_{75} = 1,2 - 1,4$; набухание, % от объема – 0; водонасыщение, % от объема 1,5 – 2,0.

Предел прочности при изгибе при температуре 60°C для асфальтобетона с комплексно-модифицированным асфальтовым веществом в 4,2 раза выше, в сравнении с традиционным горячим асфальтобетоном. Это обеспечит более высокую несущую способность и сдвигоустойчивость асфальтобетонного покрытия с применением модифицированных асфальтобетонов.

Асфальтополимерсеробетон характеризуется большими критическими напряжениями ($\sigma_{кр} = 0,095$ МПа), чем горячий асфальтобетон (0,045 МПа), а также более широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды.

Температура стеклования для асфальтополимерсеробетона равна минус 32,5°C, для горячего асфальтобетона на битуме БНД 40/60 – минус 17,5°C, а температура перехода в вязкотекучее состояние для асфальтополимерсеробетона равна 75°C, для горячего асфальтобетона $T_{вп} = 41$ °C (рис. 2). Следовательно, температурный интервал вязкоупругого состояния модифицированного асфальтополимерсеробетона составляет 107,5°C, что на 49°C больше, чем у горячих асфальтобетонов по ДСТУ Б В.2.7-119:2011 (ГОСТ 9128-2013). Характерно, что модуль упругости асфальтополимерсеробетона при 50°C значительно выше, чем асфальтобетона, приготовленного на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм) (рис. 2). Коэффициент пластичности асфальтополимерсеробетона в диапазоне изученных температур –20 ... 50°C линеен. Это свидетельствует о малом температурно-временном влиянии на реологические свойства асфальтополимерсеробетона.

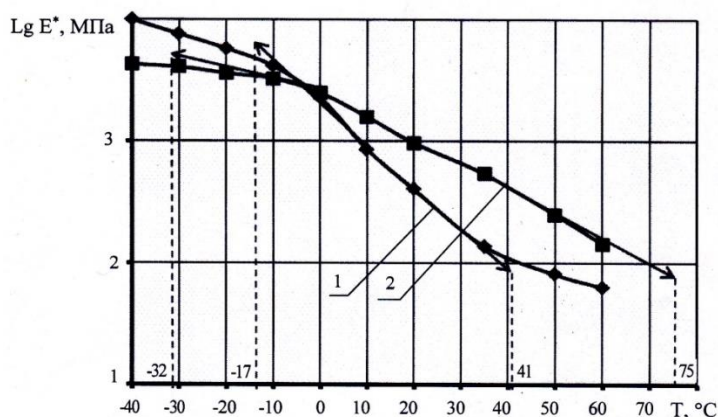


Рис. 2. Температурная зависимость комплексного модуля упругости E^* асфальтобетона при частоте деформирования 0,05 Гц: 1 – мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм); 2 – мелкозернистый асфальтополимерсеробетон (битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм модифицирован 2% мас. СКМС-30 и 30% мас. технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5% мас. СКМС-30).

Fig. 2. Temperature dependence of the complex modulus of elasticity E^* asphalt concrete at a deformation frequency of 0,05 Hz: 1 – fine-grained asphalt concrete (type B), prepared on bitumen BND 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ mm); 2 – fine-grained asphalt polymer (bitumen $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ mm modified 2% by weight. SCMS-30 and 30% by weight. technical sulfur, mineral powder is surface-activated by 0,5% by weight. SKMS-30).

Асфальтополимерсеробетоны более долговечны. Так, коэффициент старения (тепловой прогрев выполнен при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении в климатической камере ИП-1) после 2000 часов прогрева $K_{ст} = 1,25$, а для горячего асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$. Коэффициент водостойкости при водонасыщении в течение

90 суток для асфальтополимерсеробетона составляет $K_{вд} = 0,87$, а для традиционного асфальтобетона $K_{вд} = 0,59$.

При оптимизации состава бинарной смеси литой асфальтополимерсеробетонной смеси “битумополимерсерное вяжущее – поверхностно-активированный минеральный порошок”

использован двухфакторный композиционный несимметричный план на трех целочисленных уровнях (-1; 0; +1) с коэффициентом корреляции между факторами $r_{ij} < 0.1$, $i, j = 1, 2$ и $i \neq j$.

В качестве факторов, действующих на оптимизируемую систему, приняты: массовая концентрация минерального порошка, активированного раствором СКМС-30 (0,5% мас. СКМС-30 в пересчете на твердое вещество к массе известнякового минерального порошка), X_1 (10 – 20% мас.); массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего (битум БНД 40/60 ($P_{25} = 59-0,1$ мм) модифицирован 2% мас. СКМС-30

по массе и 30% мас. технической серы), X_2 (6,5 – 10,5% мас.). В качестве параметров оптимизации состава матрицы асфальтополимерсеробетона приняты: предел прочности на растяжение при изгибе при 0°C, U_1 ($R_{изг}$, не менее 5,6 МПа); коэффициент длительной водостойкости U_2 ($K_{вд}$, не менее 0,96); подвижность смеси при 150°C (U_3 , не менее 30 мм); глубина погружения штампа при 40°C, U_4 (h , не более 4 мм).

Регрессионный анализ выполнен с помощью программы “Actat 2,0”. Получены уравнения регрессии в виде неполных и полных полиномов 2-й степени (4, 5, 6):

$$\hat{O}_1(X_1, X_2) = 4,96 + 1,68 \cdot x_1 + 1,36 \cdot x_2 + 1,28 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,24 \cdot x_1^2 \quad (4)$$

$$(\text{м.к.к.} = 0,981, \text{Cv} = 10,6\%)$$

$$\hat{O}_2(X_1, X_2) = 32 + 15,5 \cdot x_1 + 7,3 \cdot x_2 - 2,39 \cdot x_1^2 \quad (5)$$

$$(\text{м.к.к.} = 0,975, \text{Cv} = 14,4\%)$$

$$\hat{O}_4(X_1, X_2) = 3,43 + 0,33 \cdot x_1 + 0,52 \cdot x_2 + 0,39 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,22 \cdot x_1^2 + 0,32 \cdot x_2^2 \quad (6)$$

$$(\text{м.к.к.} = 0,985, \text{Cv} = 4,7\%)$$

Характерно, что при всех значениях факторов варьирования коэффициент длительной водостойкости (U_3) обеспечивается.

Исходя из ограничений по показателю пластичности литого асфальтополимерсеробетона (глубина погружения штампа) и по показателю подвижности при 150°C (осадка конуса), а также учитывая экономичность литого асфальтополимерсеробетона установлено, что оптимальное содержание в смеси активированного минерального порошка должно быть 17 – 18% мас., а модифицированного органического вяжущего 8 – 9,5% мас. (рис. 3).

Литые асфальтополимерсеробетоны характеризуются повышенным сопротивлением сдвига при высоких положительных температурах (условная жесткость по Маршаллу при 60°C 23,1 кН), повышенной плотностью, коэффициентом длительной водостойкости (90 суток), $K_{вд} = 0,89$, коэффициентом морозостойкости после 100 циклов попеременного замораживания-оттаивания $F = 0,85$, коэффициентом теплового старения после 2000 часов прогрева в климатической камере ИП-1 при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении $K_{ст} = 1,27$.

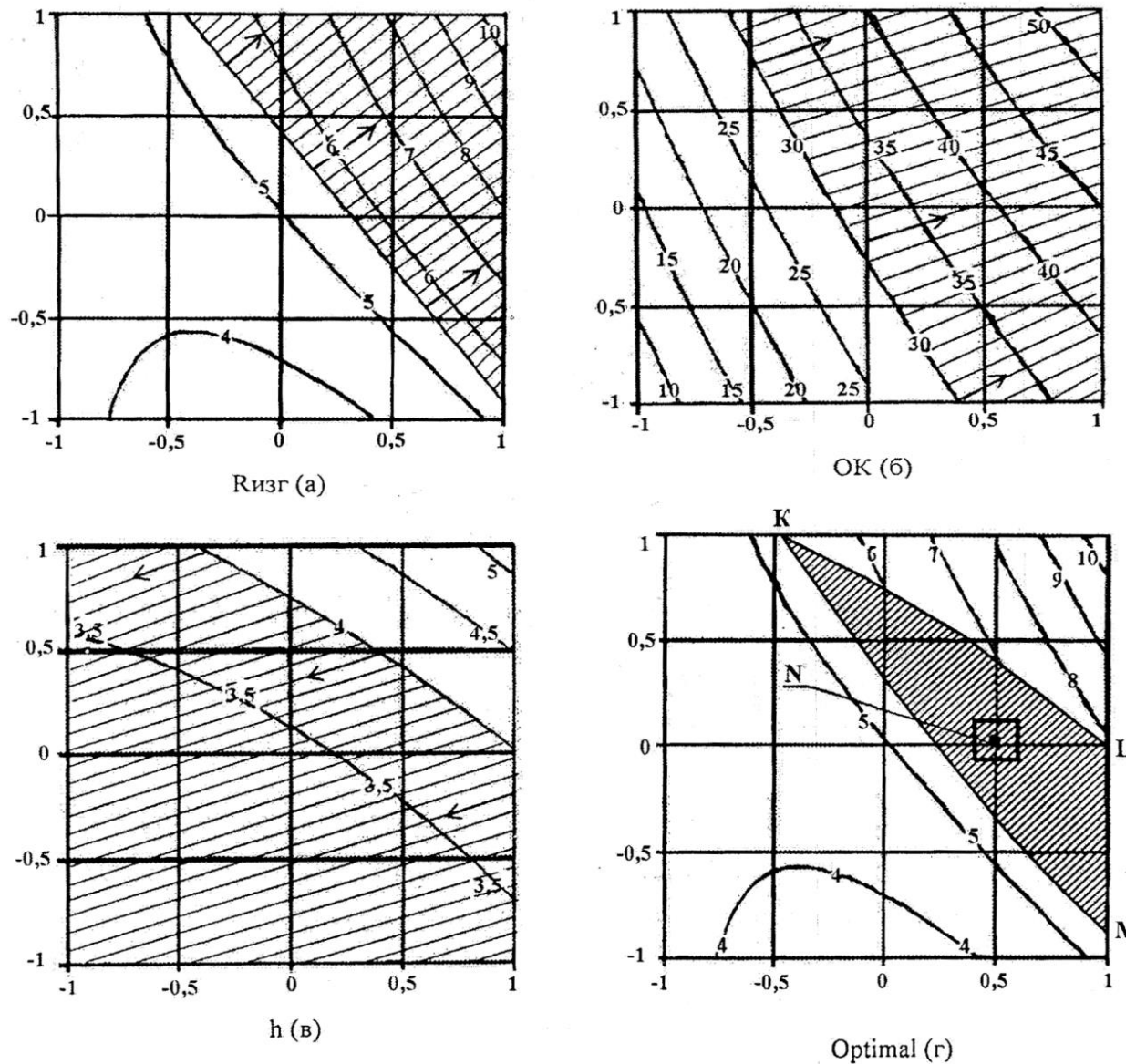
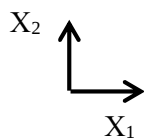


Рис. 3. Зависимость: предела прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$ (МПа), при 0°C (Y_1) (а); подвижности асфальтополимерсеробетонной смеси ОК (мм) при 150°C (б); глубины погружения штампа при 40°C, h (мм), (в) и области оптимальных составов Optimal (г) асфальтополимерсерных вяжущих веществ от соотношения в системе поверхностно-активированного бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 известнякового минерального порошка и битумополимерсерного вяжущего.

Fig. 3. Dependence: tensile strength at the bend of the $R_{изг}$ (MPa), at 0°C (Y_1) (a); mobility of asphalt polymer-concrete mixture ОК (mm) at 150°C (b); depth of immersion of the stamp at 40°C, h (mm), (C) and the area of optimal compositions (g) of asphalt polymer binders from the ratio in the system of surface-activated butadiene methyl rubber SCMS-30 limestone mineral powder and bitumen polymer binder.

Формулы перехода от кодированных значений факторов к натурным



$$X_1 = \frac{x_1 \cdot 15}{5}; \quad x_1 = 15 + 5 \cdot X_1 \quad (7)$$

$$X_2 = \frac{x_2 \cdot 8,5}{2}; \quad x_2 = 8,5 + 2 \cdot X_2 \quad (8)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой / Братчун В.И., Беспалов В.Л., Пактер М.К., Ахмед Талиб Мутташар Мутташар // «Наука и техника в дорожной отрасли»: Международный научно-технический журнал. Российская Федерация: Москва, ЗАО «Издательство «Дороги», 2013 (66), №3. С. 35 – 41.

1. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / Гохман Л.М., Гурарий Е.И., Давыдова А.Р., Давыдова Р.К. // М.: Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. Информавтор, 2002. Вып. 4. 112 с.

2. Гезенцевей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 256 с.

3. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой / Братчун В.И., Беспалов В.Л., Пактер М.К., Самойлова Е.Э., Ахмед Талиб Мутташар, Губарь А.В., Коннов Н.С., Гуляк Д.В. // Вестник ДонНАСА: сб. науч. трудов. Макеевка: ДонНАСА, 2012. Вып. 1(93). С. 25 – 40.

4. Бахрах Г.С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотдора РСФСР, 1980. Вып. 9. 40 с.

5. Золотарев В.А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия. Харьков, ХГАДТУ, 2000. С. 58 – 61.

6. Золотарев В.А. Долговечность асфальтобетона при совместном действии нагрузок и агрессивных сред // Дорожная техника, 2011. С. 30 – 39.

7. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве / Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (S8) // Пер. с франц. Золотарева В.А. Под общ. ред. Золотарева В.А., Братчуна В.И. Харьков, изд-во ХНАДУ, 2003. 229 с.

8. Полимерно-битумные вяжущие и асфальтобетоны на основе битумов, модифицированных Элвалоем [Текст] / Золотарев В.А., Ефремов С.В., Пыриг Я.И., Чугуенко С.А. // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета, 2002. Вып. 19. С. 88 – 93.

9. Веренько В.А. Опыт применения модифицированных битумов и асфальтобетонов в республике Беларусь // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Харьков: ХНАДУ, 2017. Вып. 79. С. 80 – 88.

10. Горшенина Т.И. Полимер-битумные изоляционные материалы. М.: Недра, 1967. 240 с.

11. Гохман Л.М. Обоснование нормативных требований к полимерасфальтобетону по ГОСТ 9128-2013 // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2017 г. Вып. 79. С. 22 – 27.

12. Михайлов В.В., Долгов Л.Н., Лаврухин В.Н. Влияние добавок каучука на свойства асфальтобетона // Автомобильные дороги, 1971. № 10. С. 21 – 22.

13. Веренько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве: учеб. пособие. Минск: ул. Технопринт, 2004. 170 с.

14. Prince S.M. Construction and performance of a sulphur-asphalt road in Texas // New Uses sulphur, 2, sump. 137rd meet. Amer. chem soc. New Orleans. La, 1977 – 1978. Washington. P. 161–171.

15. Gurmann B.R. Modifizierung bituminöser Bindemittel mit polymeren // Strassen und Turfbau. 1977. V 31. № 5. P. 30 – 34.

REFERENCE

1. Asphalt and polymer-concrete with complex modified microstructure / Bratchun V.I., Bepalov V.I., Pakter M. K., Ahmed Talib Mutashar Mutashar // "Science and technology in the road sector" international scientific-technical journal. Russian Federation: Moscow, ZAO "publishing House "Roads", 2013 (66), №3. P. 35 – 41.

2. Polymer-bitumen binder materials based on SBS for road construction / Gokhman L. M., gurari E. I., Davydova, A. R., Davydov, R. K. // M.: Public service of a road economy of Ministry of transport of the Russian Federation. Informavtodor, 2002. Issue. 4. 112 p.

3. Gezentsvey, L. B. Asphalt concrete made of activated mineral materials. M.: Stroyizdat, 1971. 256 p.

4. Theoretical and experimental principles of production of road concrete on organic binders of high durability with complex modified microstructure / Bratchun V. I., Bepalov V. L., Pakter M. K., Samoilova, E. E., Ahmed Talib Mutashar, Gubar A.V., Konnov N., Revelers D. V. // Bulletin of the DonNACEA: Edited Volume. Makeyevka: Donnas, 2012. Issue. 1 (93). P. 25 – 40.

5. Bahrah G. S. Fatigue destruction of asphalt concrete coatings and ways to slow down this process. Construction and operation of roads: Express information COSTI Minavtodor RSFSR, 1980. Issue. 9. 40 pp.

6. Zolotarev V. A. Prospects of increase of durability of asphalt concrete / / Automobile transport and road economy at the turn of the 3rd Millennium. Kharkov, HADTO, 2000. P. 58 – 61.

7. Zolotarev V. A. Durability of asphalt concrete under the joint action of loads and aggressive media // Road equipment, 2011. S. 30 – 39.

8. Modified bitumen binders, special bitumen additives in road construction / world road Association. The technical Committee is "flexible roads" (S8) // TRANS. FR. Zolotarev V. A. Under the General

editorship of V. A. Zolotarev, V. I. Bratchun. Kharkov, Publishing house hnadu, 2003. 229 p.

9. Polymer-bitumen binders and asphalt based on bitumen modified with Elfalem [Text] / Zolotarev V. A., Efremov S. V., Chuguenko Y. I., Tugaenko S. A. // Bulletin of Kharkov automobile-road University, 2002. Issue. 19. P. 88 – 93.

10. Verenko V. A. Experience of application of modified bitumen and asphalt concrete in the Republic of Belarus // Bulletin of Kharkov national automobile and highway University: collection of scientific works. Tr. / Kharkiv national automobile and road University. Kharkiv: khnadu, 2017. Issue. 79. C. 80 – 88.

11. Gorshenina T. I. Polymer-bitumen insulation materials. M.: Nedra, 1967. 240 p.

12. Gokhman L. M. rationale for the regulatory requirements to polymerisation according to GOST

9128-2013 // Bulletin of Kharkov national automobile and highway University, 2017 Issues. 79. P. 22 – 27.

13. Mikhailov V. V., Dolgov L. N., Lavrukhin, V. N. The effect of the addition of rubber on the properties of asphalt concrete // road, 1971. No. 10. P. 21 – 22.

14. Verenko V. A. New materials in road construction: study guide. Minsk: Technoprint street, 2004. 170 p.

15. Prince S.M. Construction and performance of a sulphur-asphalt road in Texas // New Uses sulphur, 2, sump. 137rd meet. Amer. chem soc. New Orleans. La, 1977 – 1978. Washington. P. 161–171.

16. Gurmann B.R. Modifizierung bituminöser Bindemittel mit polymeren // Strassen und Turfbau. 1977. V 31. № 5. P. 30 – 34.

ON THE FEASIBILITY OF A COMPREHENSIVE MODIFICATION OF ROAD ASPHALT CONCRETE

Bratchun V. I., Bespalov V. L

Summary. Using the experimental and statistical method of planning the experiment, it was found that the optimal mass concentration of butadiene methyl styrene rubber SKMS-30 in bitumen III of structural-rheological type BND 40/60, BND 60/90 should be 2-3% by weight., technical sulfur 25-30% by weight., and the mass concentration of SCMS-30 on the surface of mineral powder is 0,5% by weight. With these concentration ratios, a structural layer of the modifier is formed, which leads to increased intermolecular interaction on the interface of the phases "bitumen polymer binder – surface-activated SCMS-30 mineral powder". Asphalt polymer concrete mixtures are characterized by high workability and compaction in the temperature range 60-130°C. Asphalt polymers are characterized by a wide range of viscoelastic behavior. The transition temperature to the viscous-flow state is 75°C, Marshall resistance is 23 kN versus 15 kN for traditional hot asphalt concrete. They are more durable, the aging coefficient AT 75°C and ultraviolet irradiation after 2000 hours of heating is KST = 1,25, for the standard asphalt concrete KST = 1,6; water resistance coefficient after 90 days of water saturation of KVD = 0,87, frost resistance coefficient after 100 cycles, F = 0,83, for the standard asphalt concrete F = 0,41.

Key words: high-tech hot cast asphalt polymer and sulphur concrete mixtures and asphalt polymer and sulphur concrete of increased durability.

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Костандов Ю.А., Бахтин А.С., Коваленко С.Н.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

niklub.ua@gmail.com; kfu.fedorkin@mail.ru; yuakos@mail.ru; aleserba@gmail.com; seriykoval@bk.ru

Аннотация. Разработана методика определения модуля упругости строительных материалов на образцах малых размеров. Исследованы физико-механические свойства строительных материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования, твердеющих по принципу принудительной карбонизации в зависимости от рецептурно-технологических факторов их получения. Показано, что на основе данных материалов можно получать строительные изделия прочностью на сжатие до 30 МПа, прочностью на растяжение при изгибе – до 5 МПа и выше, модулем упругости до 18 ГПа.

Ключевые слова: Строительные материалы и изделия, карбонатное твердение, прочность, деформативность.

ВВЕДЕНИЕ.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Физико-механические свойства материалов являются важнейшими их характеристиками, которые используются при расчете строительных конструкций, изготавливаемых из этих материалов и изделий. Особенностью материалов карбонатного твердения является их состав, основу которого составляет известковое связующее, и способ твердения, предполагающий выдерживание свежесформованных изделий в искусственно созданной среде с повышенным содержанием углекислого газа.

Использование способности известки твердеть за счет поглощения и связывания CO_2 в прочный кальцит позволили разработать экологически чистые биопозитивные строительные изделия нового поколения [1, 2, 3], а также способы эффективной секвестрации техногенного CO_2 [4, 5, 6]. Физико-химические особенности процессов принудительной карбонизации известковых систем достаточно изучены [7, 8, 9], однако, физико-механические свойства, в частности, деформативные характеристики материалов и изделий на основе известки принудительного

карбонатного твердения практически не исследованы. Как известно [10, 11, 12], материалы на основе известки не обладают высокими физико-механическими свойствами, тем не менее, некоторые исследования, проведенные авторами настоящей статьи ранее [13], свидетельствуют, что принудительная карбонизация позволяет получать материалы полусухого прессования прочностью на сжатие до 40 МПа и даже 60 МПа.

Поэтому целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование физико-механических свойств образцов материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования принудительного карбонатного твердения в зависимости от состава и технологических параметров их получения.

Значительное место в физико-механических характеристиках материала отводится деформативным свойствам, к которым относятся их собственные деформации и деформации при действии внешней нагрузки. Поскольку ранее проведенными исследованиями установлено [14], что искусственная карбонизация известково-известняковых образцов полусухого прессования не влияет на возникновение каких-либо собственных деформаций – усадки или разбухания, в данной группе экспериментов исследовалась показатели

деформативности образцов при действии внешней нагрузки, т.е., – призмочная прочность, $R_{\text{прзм}}$, модуль упругости, E_{σ} и коэффициент Пуассона, μ в зависимости от основных рецептурно-технологических факторов получения материалов карбонатного твердения: количества известкового вяжущего, водосодержания сырьевой смеси и удельного формовочного давления прессования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования методом полусухого прессования были изготовлены образцы в форме параллелепипеда размерами в плане 240×120 мм и высотой 60 мм (кирпич) и 20 мм (пластина). Удельное давление прессования составляло 30, 45 и 60 МПа. Образцы изготавливали из сырьевых смесей различного состава, содержащих гашеную известь в количестве 5, 10 и 20 % мас. и молотый мраморовидный известняк. Сырьевую смесь готовили в роторном смесителе в

течение 60 с. Карбонизацию изделий проводили в лабораторной камере карбонизации при нормальной температуре и концентрации CO_2 30 % в течение 10800 с.

Прочность на сжатие определяли на половинках изделий (кирпичах), образовавшиеся после испытания их на прочность при растяжении при изгибе, водопоглощение по массе определяли на целых образцах, толщину карбонизированного слоя исследовали путем нанесения спиртового раствора фенолфталеина на поверхность разлома изделий после испытания их на изгиб. Прочность на растяжение при изгибе определяли как на образцах в форме кирпича, так и в форме пластины.

Учитывая, то, что полусухим прессованием сложно изготовить массивные образцы, для определения деформативных характеристик использована специальная методика определения E_{σ} на образцах малых размеров, которая основана на принципе определения зависимости изменения высоты δh образца от изменения сжимающей вертикально направленной нагрузки P (рис. 1).

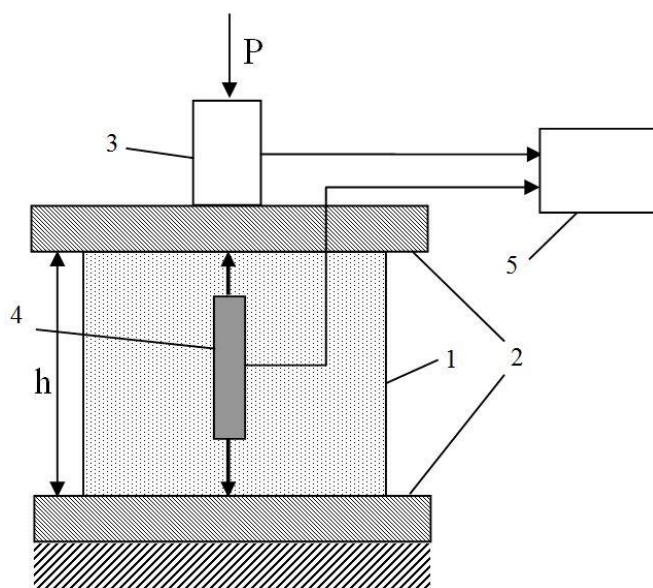


Рис. 1. Схема определения зависимости изменения высоты δh образца от изменения сжимающей нагрузки P

Fig. 1. The scheme for determining the dependence of the variation in the height of the δh sample on the variation in the compressive load P

Образец (см. рис. 1), изготовленный в виде параллелепипеда размерами: $h = 50 \dots 57$ мм, $a = 26$ мм, $b = 49 \dots 62$ мм, располагают между плоскими поверхностями двух плит пресса 2 и через упругий элемент 3 с тензометрическим мостом осуществляют их одноосное сжатие силой P до значения P_1 . При этом происходит деформация

датчика 4 изменения δh , высоты h образца, представляющего собой упругий элемент с тензометрическим мостом. Сигналы от тензометрических мостов упругих элементов 3 и 4 подают на аналогово-цифровой преобразователь 5 и устройство памяти компьютера. Затем сжимающую нагрузку увеличивают до значения P_2 , что,

соответственно, приводит к изменению высоты образца до значения δh_2 . После этого процедуру увеличения сжимающей нагрузки повторяют n раз, доводя сжимающую нагрузку до значения P_n , что приводит к изменению высоты образца до значения

δh_n . Результат регистрации изменяющихся во времени t величин $P(t)$ и $\delta h(t)$ отображается в реальном времени на мониторе компьютера в виде графиков, как показано на рис. 2.

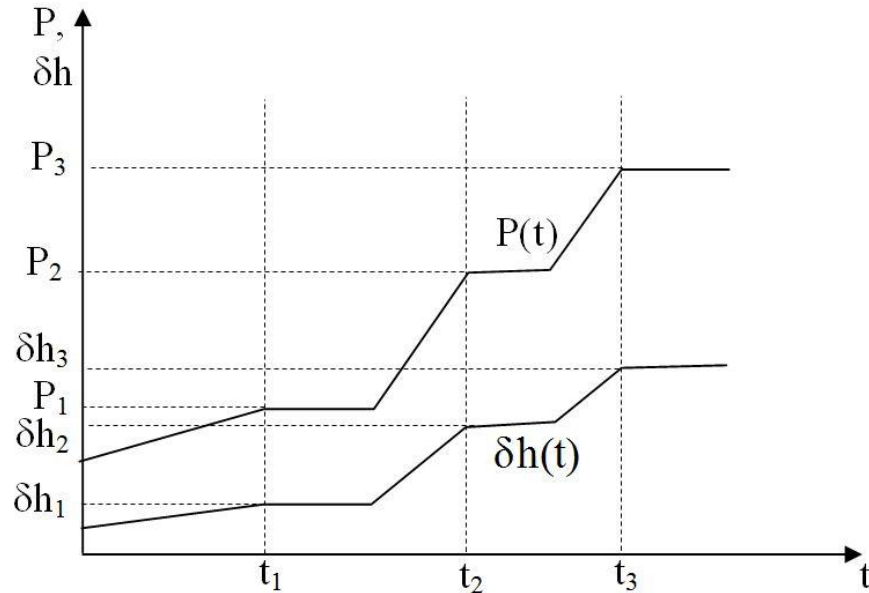


Рис. 2. Изменение во времени t величин $P(t)$ и $\delta h(t)$

Fig. 2. The change in time of t values $P(t)$ and $\delta h(t)$

Имея пары значений P_i и δh_i , строится зависимость δh от P и ее линия тренда. В полученном уравнении $y = kx + b$ y представляет δh , x – P и $k = \delta h(P) / \delta P$. Пример зависимости δh от P

приведен на рис. 3, на котором показаны ее линия тренда, уравнение и величина достоверности аппроксимации R^2 . В приведенном примере $k = \delta h(P) / \delta P = 1.70 \text{ mkm/kPa}$.

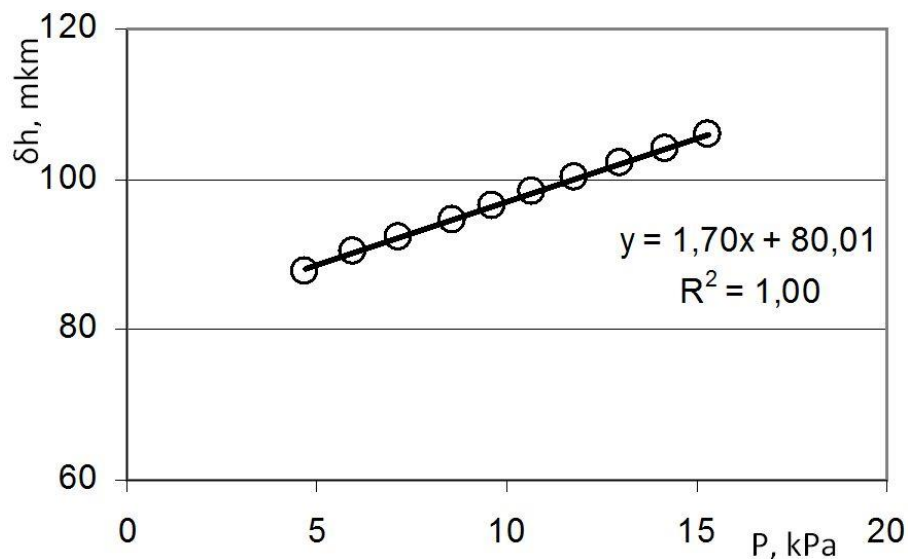


Рис. 3. Пример зависимости δh от P

Fig. 3. An example of the dependence of δh on P

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Для каждого образца из каждой партии, отличающихся друг от друга составом и технологическими параметрами получения, было проведено по пять определений зависимости δh от P и, соответственно, получено пять значений $k = \delta h(P) / \delta P$. По их среднему значению k_m определяли модуль упругости E_σ образца материала соответствующей партии:

$$E_\sigma = h / (s \cdot k_m),$$

где s – площадь поперечного сечения образца, $s = a \cdot b$; a и b – ширина и толщина образца, соответственно.

Для получения более полных деформативных характеристик ($R_{\text{прism}}$, E_σ и μ) карбонизированного

материала изделий опытной партии проводили испытание призм размером $40 \times 40 \times 160$ mm, выпиленных с помощью алмазных пил из карбонизированных кирпичей опытной партии. Испытание призм производили на универсальной электромеханической испытательной машине «INSTRON® 5989» (США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Опытные данные основных свойств карбонизированных изделий сведены в табл. 1 и представлены графически на рис. 4 и 5.

Таблица 1. Свойства опытных образцов

Table 1. Properties of test samples

№ п/п	Условия получения		Толщина карбонизи- рованного слоя, мм	Предел прочности при сжатии, R , МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе образцов, R_t , МПа,		Водо- погло- щение по массе, %
	содержание известки, % мас.	удельное давление прессования, P_o , МПа			кирпич	пластина	
1	5	30	28	25,7	2,85	3,03	8,6
2	5	45	22	20,5	2,94	3,33	8,0
3	5	60	18	30,3	3,80	4,12	6,5
4	10	30	20	29,0	3,12	4,66	8,2
5	10	45	12	16,4	3,05	4,51	7,2
6	10	60	9	19,1	2,78	4,30	6,9
7	20	30	17	26,9	3,08	4,55	8,6
8	20	45	10	19,7	2,80	4,11	7,7
9	20	60	7	25,0	3,95	6,02	7,5

Результаты табл. 1 и рис. 4 показывают, что предел прочности при сжатии с увеличением давления прессования с 30 до 45 МПа снижается, а при увеличении P_o до 60 МПа – возрастает, но все-таки несколько уступает прочности образцам, полученных при $P_o = 30$ МПа. Очевидно, что R образцов, полученных при $P_o = 30$ МПа, формируется за счет более полной карбонизации

материала, о чем свидетельствуют данные толщины карбонизированного слоя (см. рис. 5), который уменьшается с увеличением давления прессования. Образцы, полученные при $P_o = 60$ МПа, имеют минимальный по толщине карбонизированный слой, но прочность практически такую же, что и у образцов, изготовленных при 30 МПа. R в данном случае формируется, в первую очередь, за счет сил

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО КАРБОНАТНОГО ТВЕРДЕНИЯ

контактного взаимодействия между частицами, которые возрастают с увеличением усилия прессования. Образцы, полученные при $P_0 = 45$ МПа, имеют достаточно плотную структуру,

препятствующую проникновению CO_2 в глубину изделий, однако, которого еще не достаточно для возникновения прочных контактов связей между частицами материала.

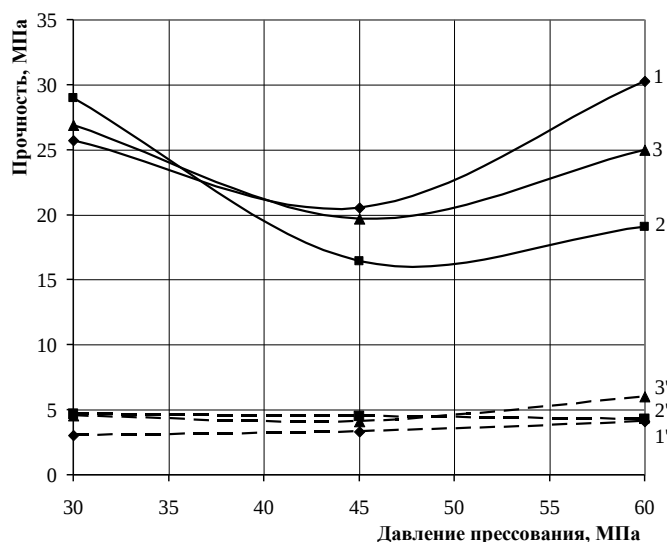


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие и на растяжение при изгибе (°) карбонизированных изделий от удельного давления прессования и количества извести в составе смеси, % мас.: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20.

Fig. 4. The dependence of the compressive and tensile strength in bending (°) carbonized products on the specific pressure of compression and the amount of lime in the mixture, % by weight.: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20

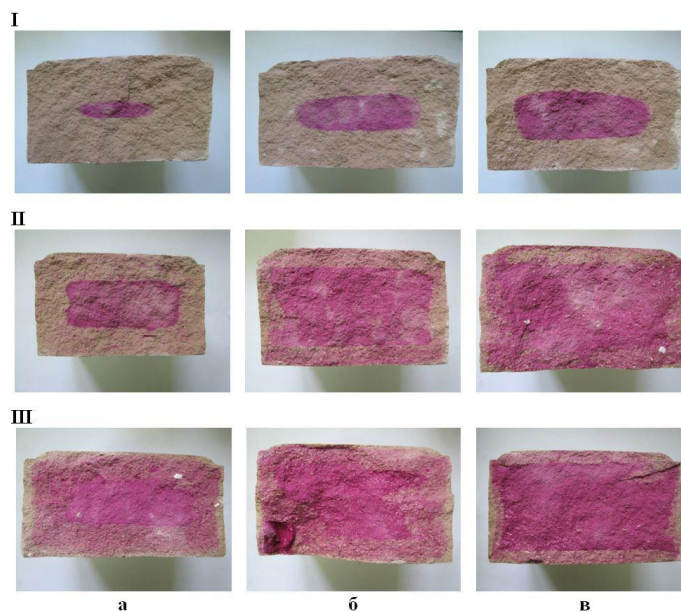


Рис. 5. Карбонизированный слой изделий в зависимости от содержания извести, % мас.: I – 5; II – 10; III – 20 и удельного давления прессования изделий, МПа: а – 30; б – 45; в – 60

Fig. 5. Carbonized layer of products depending on the lime content, % by weight.: I-5; II-10; III-20 and specific pressure of pressing products, MPa: а – 30; б – 45; в – 60

Опытные данные предела прочности на растяжение при изгибе, определенные на карбонизированных изделиях в виде кирпичей и пластин (см. табл. 1), свидетельствуют, что данный показатель зависит от геометрии изделий, от которой, в свою очередь, зависит однородность карбонизированного материала. Так R_t пластин толщиной ~ 20 мм выше, чем R_t кирпичей в среднем в 1,1 раза при содержании извести 5 % мас. и в 1,5 раза при содержании извести 10 и 20 % мас. Столь значительному изменению показателя R_t приводит наличие ядра в изделиях большого поперечного сечения из непрокарбонизованного материала известково-известняковой композиции. Таким образом, можно заключить, что прочностные свойства опытных образцов в значительной степени зависят от его размера и массивности форм, определяющим геометрическим параметром при этом будет толщина поперечного сечения. Наиболее эффективной формой изделий будет пустотелая с толщиной стенок до 30-40 мм.

Увеличение содержания извести в составах сырьевых смесей при незначительном влиянии на

изменение предела прочности при сжатии изделий более существенное влияние оказывает на предел прочности на растяжение при изгибе. С увеличением количества извести просматривается тенденция к увеличению $R_{сж}$.

Результаты определения упруго-пластичных и деформативных характеристик образцов известково-известняковых композиций принудительного карбонатного твердения в зависимости от состава и давления прессования, представлены в табл. 2 и показывают, что модуль упругости, определенный по разным методикам, несколько отличается. Причиной этому является макроструктура опытных образцов. Образцы в виде пластинок малого размера, имеют более однородную карбонатную структуру, а образцы-призмы, выпиленные из кирпичей, помимо карбонатной части содержат еще и некоторое количество непрореагировавшего с CO_2 гидроксида кальция, снижающего физико-механические характеристики материала.

Таблица 2. Упруго-пластичные и деформативные свойства образцов известково-известняковых композиций принудительного карбонатного твердения

Table 2. Elasto-plastic and deformative properties of samples of calcareous-lime compositions of forced carbonate hardening

№ п/п	Количество извести в составе сырьевой смеси, % мас.	Удельное давление прессование, P_o , МПа	E_σ образцов в виде пластинок малого размера, МПа	Характеристики образцов-призм		
				$R_{prism.}$, МПа	μ	E_σ , МПа
1	5	30	16400	27,4	0,18	16660
2	5	45	13300	10,1	0,26	11600
3	5	60	16500	14,2	0,24	14380
4	10	30	17800	30,5	0,17	17000
5	10	45	13500	10,9	0,24	11460
6	10	60	16600	13,2	0,25	12850
7	20	30	16200	17,0	0,20	13500
8	20	45	13000	10,4	0,26	10700
9	20	60	15400	15,6	0,25	12000

Рассматривая опытные данные табл. 2 можно отметить, что модуль упругости зависит от состава известково-известняковой композиции и величины давления прессования. Максимальные значения E_σ

наблюдаются у образцов с содержанием извести до 10 % мас. С увеличением содержания извести до 20 % мас. E_σ снижается и показывает значение меньше, чем при 5 %-ном содержании вяжущего.

Можно утверждать, что с увеличением количества известкового вяжущего в составах формовочных смесей материалов карбонатного твердения повышается их деформативность. Характер влияния давления прессования опытных образцов на E_0 карбонизированных материалов соотносится с их прочностными свойствами (см. табл. 1) и повышается с увеличением прочности на сжатие материала.

Анализируя показатели модуля упругости, полученные по разработанной методике при испытании пластинок и стандартной при испытании призм, учитывая большую однородность карбонатного материала в образцах малых размеров, можно считать, что показатели E_0 , полученные по предложенной методике, в большей мере отражают упругие свойства материала карбонатного твердения.

Коэффициент Пуассона, полученный в ходе испытаний опытных образцов-призм, изменяется в зависимости от давления прессования получения

материала и, соответственно, от степени карбонизации материала. У образцов более однородной структуры, полученных при давлении прессования 30 МПа, $\mu = 0,17-0,20$, что соответствует показателям, принимаемых при расчете бетонных конструкций, а у образцов с большим содержанием непрореагированного гидроксида кальция $\mu = 0,24-0,26$.

Характер разрушения образцов-призм искусственного карбонатного камня карбонизационного типа твердения, полученного при $P_0 = 30$ МПа, соответствует хрупкому разрушению материала (рис. 6) и схож с характером разрушения призм из природного известняка при испытании их на деформативность (рис. 7), однако, по модулю упругости значительно его превосходят. E_0 образцов природного известнякового камня, на основе которого изготовлены опытные известково-известняковые образцы принудительного карбонатного твердения, составляет 13,2 ГПа.

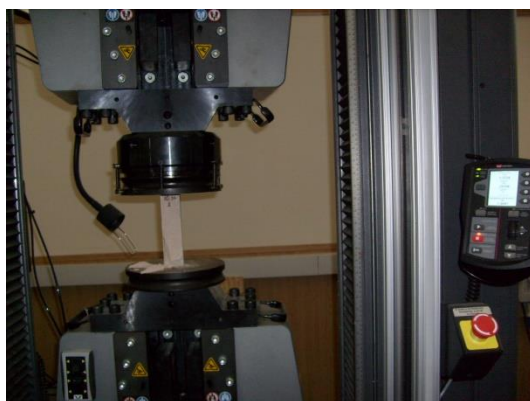


Рис. 6. Разрушение опытного образца известково-известняковой композиции карбонизационного твердения (содержание извести 10 % мас., давление прессования 30 МПа)

Fig. 6. Destruction of the prototype of lime-limestone composition of carbonation hardening (lime content 10% by weight., pressing pressure 30 MPa)



Рис. 7. Разрушение призмы мраморовидного известняка после испытания на определение модуля упругости

Fig. 7. Destruction of the prism marble-like limestone the test for determination of elastic modulus

В целом, полученные опытные данные показывают, что известковые материалы карбонизационного твердения по прочностным и деформативным характеристикам соответствуют нормативным требованиям СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» для мелкозернистых цементных бетонов группы Б.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что на основе известково-известняковых композиций карбонатного твердения можно получать строительные изделия полусухого прессования с высокими прочностными и деформативными характеристиками: прочностью на сжатие до 30 МПа, прочностью на растяжение при изгибе – до 5 МПа и выше, модулем упругости до 18 ГПа. Материалы на основе известково-известняковых композициях карбонизационного твердения по прочности и деформативности сопоставимы с классическим мелкозернистым цементным бетоном.

Установлено, что при давлениях прессования до 30 МПа прочностные свойства материалов карбонатного твердения формируются, главным образом, за счет карбонизационного твердения известкового вяжущего, а при увеличении удельного давления прессования, в большей степени, за счет контактного взаимодействия частиц. Увеличение содержания известковой составляющей в формовочных составах материалов карбонатного твердения увеличивает их деформативность.

Анализ физико-механических свойств карбонизированных изделий позволил установить,

что их прочностные и деформативные показатели в значительной степени зависят от геометрии изделий, в частности, от величины поперечного сечения материала. Определено, что оптимальным видом выпускаемой продукции карбонизационного типа твердения являются пустотелые изделия с толщиной стенок не более 30-40 мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Республики Крым в рамках научного проекта 17-47-92010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arandigoyen M., Álvarez J.I. Carbonation process in lime pastes with different water, *Materiales de Construcción*. 2006. № 56(281). pp. 5-18.
2. Xuan D.X., Zhan B.J., Poon C.S. Development of a new generation of eco-friendly concrete blocks by accelerated mineral carbonation, *Cement Concrete Comp.* 2016. № 133. pp. 1235-1241.
3. Monkman S., Mark M.D. Carbon dioxide upcycling into industrially produced concrete blocks, *Constr. Build. Mater.* 2016. № 124. Pp. 127-132.
4. Xuan D., Zhan B., Poon C.S., Zheng H.W., Kwok K.K.W. Carbon dioxide sequestration of cement slurry waste and valorisation of FRCAs in eco-construction products by carbonation, 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015), in Beijing, China. October 13-16. 2015. pp. 1-8.
5. Kou S.C., Zhan B.J., Poon C.S., Use of a CO₂ curing step to improve the properties of concrete prepared with recycled aggregates, *Cement Concrete Comp.* 2014. № 45. pp. 22-28.
6. Zhan B.J., Xuan D., Poon C.S., Shi C.J. Effect of curing parameters on CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates, *Cement Concrete Comp.* 2016. № 71. pp. 122-130.

7. Savija B., Lukovic M. Carbonation of cement paste: understanding, challenges, and opportunities, *Constr. Build. Mater.* 2016. № 117. pp. 285-301.
8. Shi C., Wu Y., Studies on some factors affecting CO₂ curing of lightweight concrete products, *Resour. Conserv. Recy.* 2008. № 52. Pp. 1087-1092.
9. Sormeh K.H., Subhasis G. Physico-chemical processes limiting CO₂ uptake in concrete during accelerated carbonation curing, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013. № 52. pp. 5529-5537.
10. Осин Б.В. Негашеная известь как новое вяжущее вещество. М.: Промстройиздат. 1954. 384 с.
11. Сычев М.М. Систематизация вяжущих веществ, *Журнал прикладной химии.* 1970. № 3. С. 528-533.
12. Сычев М.М. Возникновение структур твердения как процесс самоорганизации, *Тр. ВНИИхимпром.* 1998. № 97. С. 15-119.
13. 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.
14. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Лукьянченко М.А. Системы на основе извести карбонизационного твердения, *Строительные материалы.* 2008. № 11. С. 45-47.
4. Xuan D., Zhan B., Poon C.S., Zheng H.W., Kwok K.K.W. Carbon dioxide sequestration of cement slurry waste and valorisation of FRCAs in eco-construction products by carbonation, 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015), in Beijing, China. October 13-16. 2015. pp. 1-8.
5. Kou S.C., Zhan B.J., Poon C.S., Use of a CO₂ curing step to improve the properties of concrete prepared with recycled aggregates, *Cement Concrete Comp.* 2014. № 45. pp. 22-28.
6. Zhan B.J., Xuan D., Poon C.S., Shi C.J. Effect of curing parameters on CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates, *Cement Concrete Comp.* 2016. № 71. pp. 122-130.
7. Savija B., Lukovic M. Carbonation of cement paste: understanding, challenges, and opportunities, *Constr. Build. Mater.* 2016. № 117. pp. 285-301.
8. Shi C., Wu Y., Studies on some factors affecting CO₂ curing of lightweight concrete products, *Resour. Conserv. Recy.* 2008. № 52. Pp. 1087-1092.
9. Sormeh K.H., Subhasis G. Physico-chemical processes limiting CO₂ uptake in concrete during accelerated carbonation curing, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013. № 52. pp. 5529-5537.
10. Osin B.V. Quick lime as a new binding agent, *Promstroyizdat, Moscow.* 1954. 384 p. (In Russian)
11. Sychev M.M. Systematization of binders, *Journal of Applied Chemistry.* 1970. № 3. pp. 528-533. (In Russian)
12. Sychev M.M. The emergence of hardening structures as a process of self-organization, *Works VNIImprom.* 1998. № 97. pp. 115-119. (In Russian)
13. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I. Scientific and technological principles of disposal of carbon dioxide in food-grade, biodegradable building products, *Biosphere Compatibility: Person, Region, Technology.* 2016. № 4 (16). pp. 39-49. (In Russian)
14. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Lukianchenko M.A. System based on lime carbonizing hardening, *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials].* 2008. № 11. pp. 45-47. (In Russian)

REFERENCES

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS OF FORCED CARBONATE HARDENING

Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Kostandov Y.A., Bahtin A.S., Kovalenko S.N.

Summary A technique for determining the modulus of elasticity of construction materials on samples of small dimensions has been developed. Physical and mechanical properties of building materials based on calcareous-lime compositions of semi-dry pressing, hardening according to the principle of forced carbonization, depending on the prescription and technological factors of their production have been studied. It has been demonstrated that on the basis of these materials it is possible to obtain building products with compressive strength up to 30 MPa, tensile strength at bending up to 5 MPa and higher, and an elastic modulus up to 18 GPa.

Key words: Construction materials and products, carbonate hardening, strength, deformability.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САНАЦИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Цопа Н.В.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Академия строительства и архитектуры, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: Natasha-ts@yandex.ru

Аннотация. В работе выявлены особенности проведения санации жилых зданий на основе применения существующих способов проведения энергетической санации. Определены наиболее перспективные способы проведения энергетической санации. К ним отнесены: утепление кровель, чердачных перекрытий, подвалов, замена оконных блоков, устройство автоматизированного узла управления системой отопления; переход на горизонтальные системы отопления, установка термостатов и приборов поквартирного учета тепла, устройство вентиляционных систем с утилизацией или рекуперацией тепла, а также гигрорегулируемыми затворами.

Ключевые слова: энергетическая санация, энергоэффективность, энергосбережение, потенциал энергосбережения, жилые здания.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие инновационных технологий в различных сферах экономики, увеличение численности населения на планете, рост экономик ведущих государств, содействует повышению энергопотребления в общепланетарных масштабах. В российской экономике наибольшее энергопотребление характерно для обрабатывающей промышленности, на втором месте по объемам потребления энергоресурсов находится жилищный сектор. Именно поэтому необходимо добиваться снижения потребления энергии при проектировании и эксплуатации зданий, тем самым повышая их энергоэффективность, с учетом архитектурно-планировочных, организационно-технологических и конструктивных решений существующих и строящихся жилых зданий. Совокупность этих направлений и каждое из них, в частности, имеет ряд преимуществ, эффективность которых зависит от экономических, климатических, технических и множества других факторов. Главной задачей в настоящее время является оптимизация этих решений на основе анализа основных способов проведения энергетической санации в жилых зданиях.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В современной технической литературе достаточно актуальными являются проблемы,

посвященные исследованию вопросов энергосбережения и энергоэффективности. Наибольший вклад в изучение теоретических и разработку практических мероприятий в сфере энергосбережения внесли такие отечественные ученые как: Бадьин Г.М., Иванов Г.С., Подолян Л.А., Табунщиков Ю.А., Федяева П.В., Шеина С.Г. и многие другие.

Как отмечено в работе Бадьина Г.М., проблематика сбережения энергии в строительной отрасли особо остро возникла во второй половине 70-х годов XX века. Связано это было с мировым экономическим кризисом 1974 года, вследствие чего была осознана проблема необходимости экономии энергетических ресурсов. В этот период, на фоне экономического кризиса, который не обошел стороной строительную отрасль, появилась идея необходимости строительства энергетически эффективных зданий и сооружений, в особенности применительно к инженерным системам и ограждающим конструкциям здания [1]. Этот период времени характеризуется фрагментарной реализацией проектов строительства энергоэффективных зданий, но, к сожалению, по причине отсутствия необходимых норм и стандартов широкого распространения энергоэффективное строительство не получило. В 80-е годы необходимая нормативная документация была сформирована в Германии, Дании, Швеции и с этого периода началось возведение энергоэффективных сооружений [2].

Проведенное Ивановым Г.С. исследование в сфере нормирования потерь тепловой энергии в 70-е годы в нашей стране, выявило минимальную реакцию на мировой кризис. В частности, в западноевропейских странах была повышена в 1,5-2 раза эффективность теплоизоляционных конструкций, в то время как в нашей стране тепловые потери снизились не более, чем на 20% [3].

Реализация стратегии энергосбережения в жилищном фонде невозможна без определения способов и средств достижения необходимого уровня энергоэффективности. Проект энергоэффективного здания должен быть результатом выбора таких технических решений, которые наилучшим образом отвечают поставленной цели - обеспечение энергосбережения при одновременном повышении качества микроклимата [4].

Отечественный ученый Табунщиков Ю.А. уточнил понятийно-терминологический аппарат, в результате чего выделил две категории: энергоэффективное и энергоэкономичное здание.

Совокупность архитектурных, инженерных решений, которые направлены на минимизацию расходования энергии для обеспечения необходимого микроклимата в помещениях здания, являются основой энергетически эффективного здания. Отдельные решения или их система, которая направлена на снижение расхода энергии на обеспечение микроклимата в помещениях здания составляют основу энергетически экономичных зданий [4].

Профессор Шеина С.Г. в своих исследованиях пришла к выводу, что большой потенциал эффективного использования энергии имеется в жилищном фонде Российской Федерации. Потери энергии в жилых домах старого фонда превышают проектные значения на 20–30 %, что связано с изношенностью инженерных сетей и коммуникаций, в среднем до 50%, низким качеством строительства и эксплуатации [9]. В данной связи остро стоит вопрос о разработке методики проведения энергетической санации в жилищном строительстве.

Проведенный анализ основных публикаций отечественных ученых, в сфере энергосбережения, выявил необходимость проведения комплексного исследования существующих способов проведения энергетической санации в жилых зданиях.

ЦЕЛЬ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является исследование существующих в отечественной и зарубежной практике способов и методов проведения энергетической санации в жилых зданиях с учетом нормативного регулирования энергосберегающей политики в строительном комплексе, а также выявление наиболее перспективного из них. В рамках поставленной цели в работе решены следующие задачи: исследованы особенности проведения комплексной санации жилых зданий на основе применения существующих способов проведения энергетической санации; определены наиболее перспективные способы проведения энергетической санации.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Задача увеличения энергосбережения в жилищном строительстве связана с исключением причин нерационального расхода тепловой энергии, выбором альтернативных решений. Согласно некоторым оценкам, удельные теплотери здания распределены следующим образом: 40% - инфильтрация нагретого воздуха; 30% - недостаточное сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций; 30% - нерациональный расход горячей воды и нерегулируемое отопление.

Причинами нерационального расхода энергии являются: большое количество сетей наружных теплотрасс и их недостаточная теплоизоляция; нехватка приборов учета и регулирования на системе отопления и горячего водоснабжения; отсутствие современных типов котельного оборудования на некоторых предприятиях теплоэнергетики; недостаточное использование вторичных источников энергии; некачественная теплоизоляция подвалов, перекрытий, светопрозрачных ограждений, наружных стен; неплотность сопряжения оконных и дверных блоков; нерегулируемые системы естественной вентиляции [5].

Для устранения нерационального расхода тепловой энергии необходимо проведение энергетической санации с учётом как технических, так и финансово-экономических, социальных факторов жилого дома. Мероприятия энергетической санации позволят не только улучшить условия проживания на длительный срок и восстановить первоначальное техническое состояние жилого дома, но и экономить энергию, ресурсы, сокращать энергетические потери. Наиболее обширным опытом в сфере энергетической санации обладают немецкие

эксперты Б. Шварц и В. Белов. По их мнению, в комплексную энергетическую санацию, в современных условиях, обязательно входят следующие мероприятия: замена покрытия крыши и утепление чердачного помещения; дополнительная изоляция фасада; замена окон и балконных дверей; изоляция потолка подвала; обновление отопительной системы, стояков холодной и горячей воды; обновление вентиляционной системы; интегрирование систем регенерации тепла; устройство тамбура, обновление входной двери, подъезда и лестничных пролётов [6].

Проанализировав опыт Германии, можно констатировать, что под комплексной санацией понимается всеобъемлющая модернизация здания, включая системы инженерного оборудования, без учета перепланировки. Мероприятия по санации, с точки зрения экономии энергии, делят на две группы: энергетически обязательные и энергетически необязательные. К энергетически обязательным мероприятиям относятся: утепление кровель и чердаков, фасадов, перекрытий подвалов; замена окон и балконных дверей; обновление системы отопления и горячего водоснабжения, системы вентиляции. Гидроизоляция кровель и т.п.; замена сантехнического оборудования; облицовка кафелем кухонь и санузлов; обновление системы электроснабжения; обновление входных дверей квартир; обновление и пристройку новых балконов и лоджий; ремонт лестничных клеток; создание архитектурно-выразительных входов в здания являются энергетически необязательными мероприятиями.

Проведенная в последнее время энергетическая санация панельных жилых домов в Германии, позволила достичь 30–50% экономии энергоресурсов в зависимости от материала ограждающих конструкций [7].

Энергетически обязательные мероприятия непосредственно влияют на уровень потребления энергии в здании, что подтверждается анализом методики расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление по СП 50.13330.2012.

Таким образом, мероприятия в области энергетической санации условно можно разделить на два направления: мероприятия по санации наружных ограждающих конструкций и мероприятия, направленные на повышение эффективности технических решений и инженерных систем.

Основным способом повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций для капитально ремонтируемых и реконструируемых зданий является внутреннее и наружное утепление (рис. 1) [3]. Конструктивные решения, направленные на улучшение теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций, имеют множество вариаций, различающихся по виду материала, количеству слоев, толщине, теплотехническим и эксплуатационным характеристикам. Утепление изнутри отапливаемого помещения имеет недостатки. Оно переводит конструкции в область отрицательных температур. В процессе эксплуатации по разным причинам происходит увеличение влагосодержания материальных слоев ограждений, но в большинстве случаев причиной повышения влажности является конденсация влаги из воздуха. Конденсация влаги может протекать как на внутренней поверхности, так и в толще ограждения и происходит при температуре точки росы. Выходящие наружу пары влаги проходят через слой утеплителя и упираются в слой стены и конденсируется на холодной поверхности. При внутреннем утеплении практически невозможно установить теплоизоляционный материал в местах примыкания перекрытий к наружной стене, как следствие образуются «мостики холода».

Наружное утепление ограждающих конструкций является более рациональным способом не только повышения теплозащиты оболочки здания, но и для поддержания температурно-влажностного режима [8].

Системы утепления ограждающих конструкций по конструктивным решениям делятся на два типа: системы утепления фасадов с вентилируемой воздушной прослойкой («вентилируемые фасады»); штукатурные (мокрые) системы утепления.

В отечественной практике для утепления ограждающих строительных конструкций наибольшее применение нашли: теплоизоляционные плиты из минеральной ваты; конструкции ограждений с экструдированным и вспененным полистиролом в качестве утеплителя; теплоизоляционные плиты, изготовленные из базальтовых горных пород [5].

Для теплоизоляции наружных ограждающих конструкций также применяются такие инновационные материалы как: пеностекло, материалы на основе аэрогеля, изоллат, вакуумные теплоизоляционные панели (ВИП).

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САНАЦИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

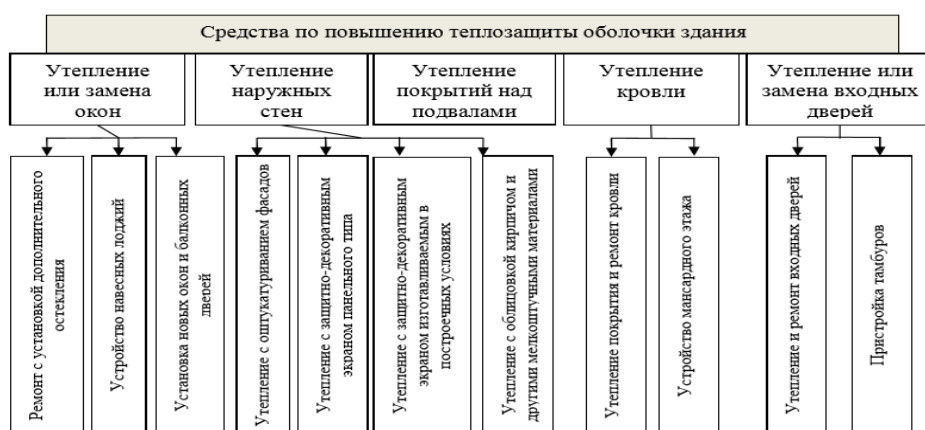


Рис. 1. Средства по повышению теплозащиты оболочки здания

Fig. 1. Means to improve the thermal protection of the building shell

Также стоит отметить, что снижение влияния теплопроводных включений является важным аспектом повышения теплозащиты зданий. Современным и простым способом избежать образования мостика холода в балконной плите является использование специальных готовых теплоизоляционных балконных элементов. Теплоизоляционные несущие элементы бывают

следующих классов: бетон – бетон, бетон – металл, металл – металл.

Для сравнения данных теплоизоляционных материалов и анализа целесообразности их применения в жилищном строительстве структурируем их в таблицу (табл.1) [10].

Таблица 1 Сравнительная характеристика теплоизоляционных материалов

Table 1 comparative characteristics of thermal insulation materials

Тип материала	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·К)	Плотность кг/м³	Огнестойкость	Рыночная стоимость м³, руб	Область применения	Отличительные характеристики
Минеральная вата	0,038 – 0,045	35 - 160	НГ	1600 – 3500	наружное и внутреннее утепление, каркасное утепление	экологичность, долговечность
Пенополистерол (вспененный)	0,03 – 0,04	15 – 40	Г4	650 – 1500	внутреннее и наружное, утепление кладок	экономичность
Пенополистерол (экструдированный)	0,038 – 0,045	25 - 50	Г2 – Г4	3500 – 5000	утепление подземных частей, покрытий	долговечность, прочность
Пеностекло	0,04 - 0,11	120 - 400	НГ	7000 - 20000	внутреннее, внешнее утепление, утепление покрытий	экологичность, прочность
Несущие теплоизоляционные элементы	0,11	80 без учета арматуры	НГ	8000 – 12000 м. погонный	разрыв теплового моста между перекрытиями	прочность, эффективность, эксклюзивность

Следует отметить, что при утепленном фасаде некачественно установленные или изношенные стеклопакеты могут являться источником высоких теплопотерь во время отопительного периода. Поэтому важным мероприятием является установка современных стеклопакетов из ПВХ с энергосберегающими стеклами [11].

По данным немецкого профессора В. Файста, светопропускающие строительные элементы имеют более высокие коэффициенты теплопередачи, нежели непрозрачные стены или кровля. При этом коэффициент теплопередачи для пассивного дома: $U_{\text{стены}} = 0,15 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ и $U_{\text{остекления}} = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

Использование больших площадей наружного остекления приводит и к большим теплопотерям, поэтому увеличение остекления не содействует экономии тепла, особенно в зимние месяцы. Более важной категорией является качество, а не количество остекления, при чем не следует любой ценой оснащать энергоэффективные дома остеклениями с большими площадями южной ориентации [12].

Теплопотери оконных переплетов складываются из теплопроводности, конвекции и теплового излучения. Для снижения теплопотерь от теплопроводности и конвекции, используют стеклопакеты, но это дает незначительный эффект, так как основная доля потерь тепла происходит за счет теплового излучения. Для снижения этих потерь используют стекла с низкоэмиссионным покрытием, энергосберегающие стекла. Такие стекла позволяют проходить в помещение солнечным коротковолновым излучением и препятствуют выходу длинноволнового теплового излучения, как пример от отопительного прибора. В таблице 2 показаны возможные типы остеклений [12].

При монтаже современных типов оконных систем значительно повышается герметичность здания, и как следствие снижается инфильтрация воздуха, возникает необходимость в монтаже дополнительных приточных вентиляционных клапанов для достижения нормативного воздухообмена. На современном рынке существует масса решений монтажа приточных вентиляционных клапанов как в теле оконного блока, так и в наружных ограждениях.

Одним из способов повышения энергоэффективности здания является остекление лоджий и балконов, замена старых оконных рам на энергосберегающие окна, а также уплотнение щелей оконных и дверных проемов. Установлено что, остекление лоджий и балконов позволяет снизить теплопотери. Вследствие уменьшения перепада температур и снижения коэффициента теплоотдачи за счет отсутствия ветра происходит снижение теплопотерь через ограждающие конструкции.

Что касается эксплуатации инженерных систем, то существует два основных подхода, при которых можно достигнуть экономии энергоресурсов: либо за счет повышения эффективности систем, либо за счет уменьшения потребления энергоресурсов при надлежащем контроле над их расходом.

В научных трудах Страховой Н. А., Арутюняна А.А., Шеиной С.Г., Подоляна Л. А. и других известных ученых, описан комплекс энергосберегающих мероприятий связанных с модернизацией систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, энергоснабжения, автоматизации, использование нетрадиционных, возобновляемых источников тепла. Как и повышение тепловой защиты здания при проектировании мероприятий энергетической санации очень важная роль отводится средствам по повышению эффективности инженерных систем (рис. 4).

По мнению Федяевой П.В. инженерные решения по реконструкции и проектированию систем обеспечения микроклимата позволяют экономить энергию путём улучшения традиционных систем энергоснабжения и кондиционирования, внедрения различных способов автоматизации, использования возобновляемых источников энергии в пределах ограждающей оболочки здания.

На данный момент, самым перспективным направлением в этой области, является модернизация систем освещения. Рекомендуются в местах общего пользования многоквартирного дома замена ламп накаливания на светодиодные лампы с датчиками движения. Для стимулирования населения к приобретению энергосберегающих ламп необходимо использование государственного влияния на снижение максимально допустимой мощности ламп для установки в квартирах. Например, с 1 января 2011 г. был введен запрет на оборот ламп накаливания мощностью 100 Вт и более.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САНАЦИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Таблица 2 Энегосберегающие системы остекления

Table 2 energy-Saving glazing systems

№ схемы	Тип остекления	Коэфф. теплопередачи остекления U_g , $Вт/(м^2К)$, $[R_{остекл.}$ $(м^2С)/Вт]$	Коэфф. общего пропускания солнечной энергии g , %
1	2 стекла с одним низкоэмиссионным покрытием / аргон (этот тип остекления при больших площадях не пригоден для пассивных зданий)	1,1...1,4 [0,91...0,71]	55...68%
2	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2*11 мм/криптон	0,5...0,7 [2...1,43]	45...57%
2	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2*16 мм/аргон	0,6...0,8 [1,66...1,25]	45...53%
3	Двойная оконная рама, два стеклопакета с двумя стеклами (2*2 стекла) с одним низкоэмис. покрытием на каждом / аргон	0,6 [1,66]	47%
4	2 стекла с одним низкоэмиссионным покрытием / аргон, и перед ними одно стекло с твердым покрытием (k - стекло)	0,8 [1,25]	50%

Если рассматривать системы отопления, то фактически в большей части жилищного фонда установлена вертикальная, однотрубная система отопления, которая затрудняет монтаж приборов учета тепла и термостатических клапанов. Решением данной проблемы можно считать применение двухтрубных систем с поквартирным регулированием и учетом потребленного теплоносителя, что (рис. 5) позволяет экономить до 20% тепловой энергии по сравнению с существующими вертикальными однотрубными системами. Приборы авторегулирования комнатной температуры экономят 10-12% тепловой энергии [13].

Установка термостатических кранов и улучшение оборудования управления в многоквартирных зданиях дает до 14% энергосбережения.

Термостатические краны на радиаторах в сочетании с теплоизоляцией крыш также увеличивают энергосбережение [8]. Установка поквартирных приборов учета расхода горячей воды позволяет экономить до 10% тепловой энергии, и приборов, регулирующих системы отопления, тем

самым исключая перегрев помещения 10-12%. Таким образом, можно сэкономить до 25% тепловой энергии.

Исходя из анализа последних работ Табунщикова Ю.А., видна динамика изменения теплопотерь жилых зданий (табл. 3). Как показывает таблица, при общем снижении расхода тепловой энергии на отопление, удельные теплопотери на нагрев приточного воздуха растут. Поэтому для сокращения расхода энергии на нагрев приточного воздуха необходимо разрабатывать советующие мероприятия. Таким мероприятием может быть применение систем с рекуперацией или утилизацией теплоты вытяжного воздуха. Модернизация вентиляционных систем даёт возможность сократить расход тепла на отопление зданий на 20-30%.

Зарубежная практика подтверждает огромные перспективы внедрения систем вентиляции с рекуперацией тепла (рис. 6). Рекуперация тепла в вентиляционных системах – это процесс, при котором тепло отработанного вытяжного воздуха передается свежему холодному приточному воздуху благодаря монтажу высокоэффективных теплообменников.



Рис. 4. Средства по повышению энергоэффективности инженерных систем

Fig. 4. Means to improve energy efficiency of engineering systems

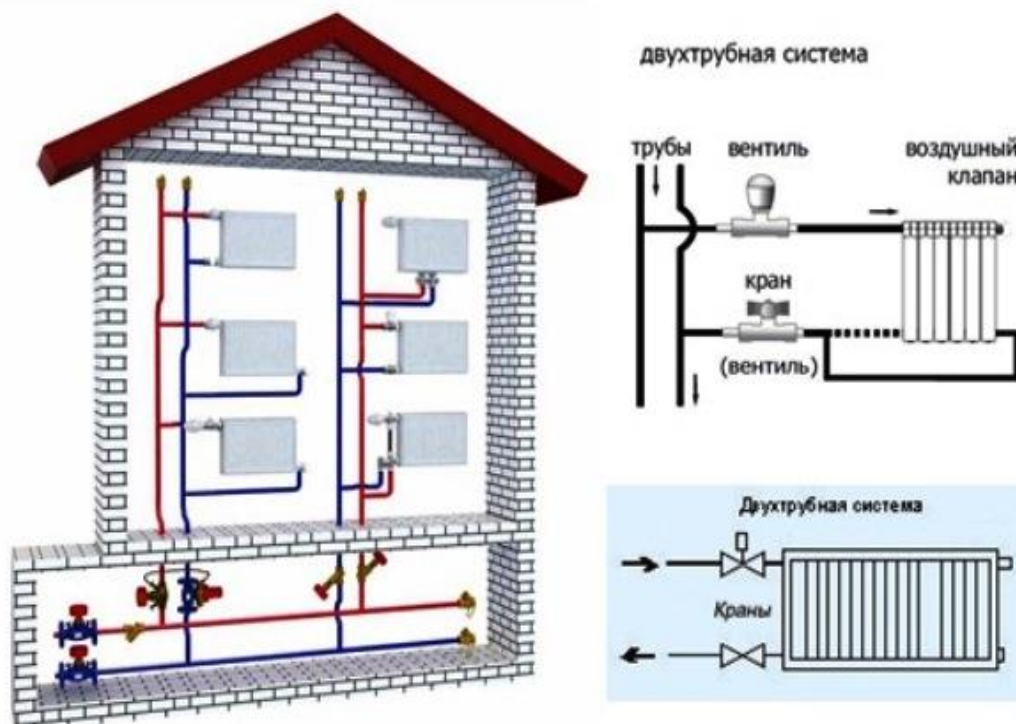


Рис. 5. Двухтрубная система отопления

Fig. 5. Two-pipe heating system

Таблица 3 Соотношение теплопотерь жилых зданий

Table 3 Heat loss ratio of residential buildings

Период, год	Нормативный расход тепловой энергии на отопление кВт·ч/м ²	Теплопотери через нестепрозрачные ограждающие конструкции, %	Теплопотери через степрозрачные ограждающие конструкции, %	Теплопотери, связанные с нагревом приточного воздуха, %
1995 - 2000	180 - 200	47	21	32
2000 - 2016	95 - 105	26,5	26,5	47
С 2016	70	25	17	58

Проектируя системы вентиляции в пассивных домах В. Файст пришел к выводу, что рекуперация тепла должна быть высокоэффективной и доля возврата тепла рекуператора должна составлять более 75%, при этом дополнительные теплопотери

будут низкими. Доля возврата тепла более 75% достижима сегодня только с использованием больших теплообменников с принципом встречных потоков или с использованием комбинированных теплообменников с перекрестным потоком.

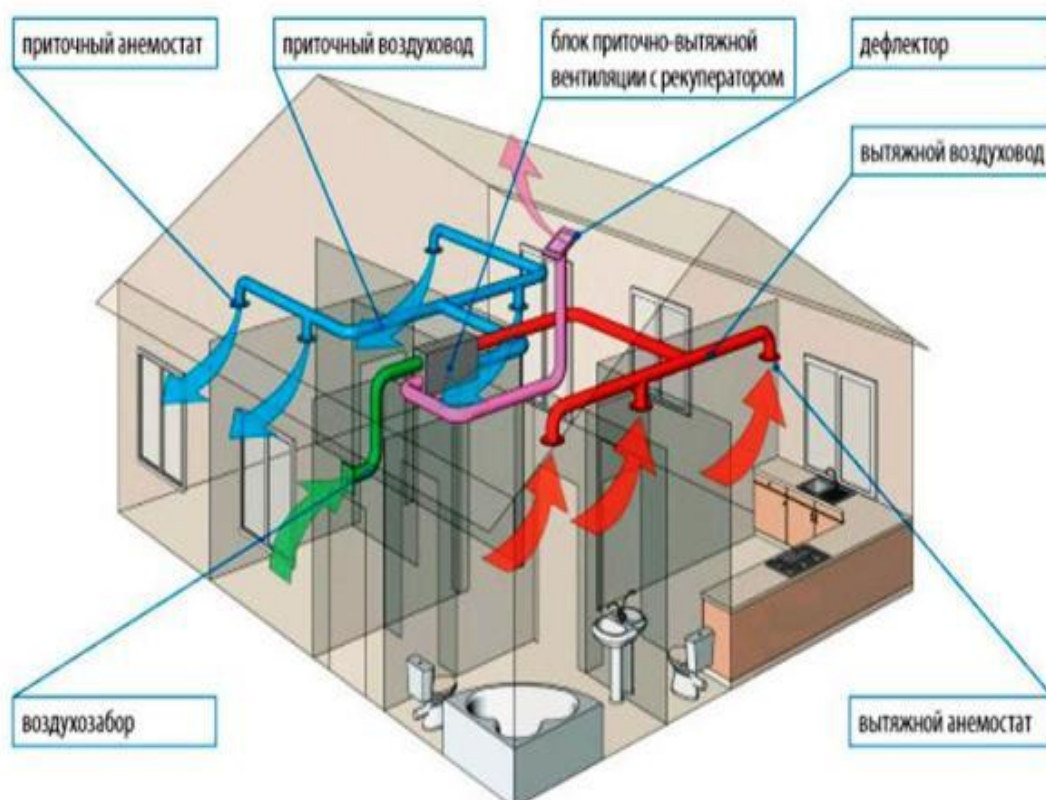


Рис. 6. Система вентиляции с рекуперацией тепла

Fig. 6. Ventilation system with heat recovery

Что касается систем, преобразующих солнечную энергию, то Сардыкова А.О. делит их на две основные группы: активные, пассивные. В

активных системах используются различные устройства и приборы, которые аккумулируют в себе солнечную энергию и передают её потребителю в

виде тепла (рис. 7) или в виде электричества. В качестве устройств аккумулирования применяют солнечные коллекторы фотоэлементы.

В пассивных системах преобразования солнечной энергии нет приборов, так как в качестве накопителя солнечной энергии используются элементы здания.

Пассивные системы использования солнечной энергии помогают накапливать и равномерно распределять по дому солнечное тепло, которое используется только для обогрева.

К пассивным системам относятся: нагрев изолированного остеклённого объёма, использование гелиотеплиц или солнечной комнаты (sunspace); и нагрев термоаккумулирующего элемента здания. В энергетической санации чаще применяются активные системы ввиду более высокого энергетического эффекта при меньших капитальных затратах.

Одним из перспективных направлений энергетической санации является применение тепловых насосов. Васильев Г.П., проведя ряд исследований, подтверждает эффективность использования теплоты грунта.

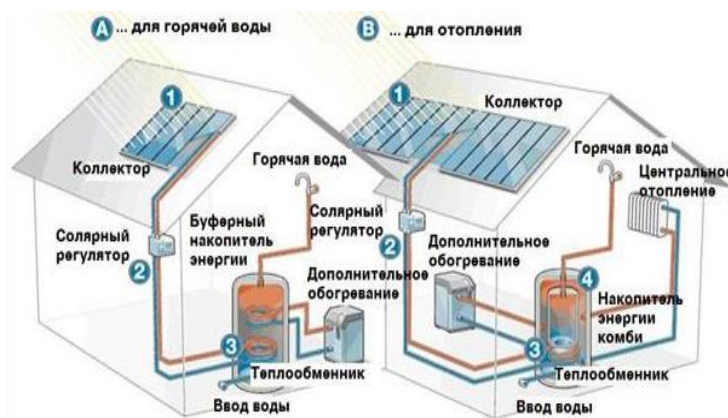


Рис. 7. Системы отопления и горячего водоснабжения с солнечными коллекторами

Fig. 7. Heating and hot water supply systems with solar collectors

В почвенно-климатических условиях России наиболее перспективными являются теплонасосные системы теплоснабжения зданий и сооружений, которые применяют в качестве источника тепла грунт поверхностных слоев Земли (рис. 8). К источникам такой тепловой энергии

относится: грунт поверхностных слоев Земли; водоёмы и природные водные потоки; окружающий воздух; вентиляционные выбросы зданий и сооружений; канализационные стоки; сбросное тепло технологических процессов [14].



Рис. 8. Теплонасосные системы с грунтовыми теплообменниками

Fig. 8. Heat pump systems with ground heat exchangers

Для получения теплоты из грунта и грунтовых вод конструкции теплообменников делятся на три типа: вертикальные теплообменники (зонды); горизонтальные теплообменники (коллекторы); теплообменники типа «корзина» и «спираль».

Еще в 2005 году, исследуя проблемы повышения энергоеффективности жилых зданий Подольн Л.А. высказал гипотезу, что сточные воды, по аналогии с внешним воздухом, являются источником тепла низкотемпературного типа, которые могут быть использованы тепловыми насосами. Обычно в городских застройках температура сточных воды колеблется от +8°C зимой до +20°C летом, поэтому их можно в очищенном, либо необработанном виде использовать как источник тепла.

Тепловые насосы на вытяжном воздухе являются альтернативой системам вентиляции с рекуперацией [9].

В данное время на рынке существует значительное количество технологий, для повышения энергоэффективности зданий, но для выбора оптимальных решений в конкретных случаях не достаточно расчетных значений, и нужно руководствоваться не только датой ввода в эксплуатацию здания, временем приватизации, но и физическим износом необходимых к улучшению конструктивных элементов здания: стены, перекрытия, система отопления, система электроснабжения. В этих случаях используют энергоаудит, натурное энергетическое обследование, как более эффективный метод энергосбережения.

Энергетическое обследование необходимо для оценки эффективности использования энергетических ресурсов и снижения расходов на энергообеспечение, для контроля за соблюдением действующего законодательства в области энергосбережения и рационального расходования топливно-энергетических ресурсов.

Проводят энергетические обследования организации, которые являются членами саморегулируемых организаций (СРО) в области энергетических обследований. Таким образом, производится двойной контроль за результатами деятельности таких компаний – сначала проверку осуществляет СРО, а затем Министерство энергетики РФ (Минэнерго).

Итоговыми документами обследования являются энергетический паспорт потребителя ТЭР и отчет о результатах обследования, с выводами о

соответствии, или несоответствии объекта нормативным показателям энергоэффективности.

В рамках данного исследования выявлены особенности проведения комплексной санации жилых зданий на основе применения существующих способов проведения энергетической санации, на основании чего определены наиболее перспективные способы проведения энергетической санации. Установлено, что вследствие последних изменений в нормативной базе к наиболее перспективным методам энергетической санации можно отнести: утепление кровель, чердачных перекрытий, подвалов, замена оконных блоков, устройство автоматизированного узла управления системой отопления; переход на горизонтальные системы отопления, установка термостатов и приборов поквартирного учета тепла, устройство вентиляционных систем с утилизацией или рекуперацией тепла, а также гигрорегулируемыми затворами.

Исследование существующих в отечественной и зарубежной практике способов и методов проведения энергетической санации в жилых зданиях с учетом нормативного регулирования энергосберегающей политики в строительном комплексе позволяет сделать вывод о том, что перспективами дальнейшего исследования является расчет сроков окупаемости и сроков эксплуатации внедряемых систем и оборудования, денежные протоколы с учетом дисконтирования и роста тарифов на энергоресурсы, оценка сопутствующей экономии, в частности высвобождение складских помещений, сокращение сроков сервисного обслуживания, удобство и простота эксплуатации оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадьин Г.М. Строительство и реконструкция малоэтажного энергоэффективного дома [текст] / Г.М. Бадьин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 432 с.
2. Цопа Н.В. О необходимости нормативного регулирования современной энергосберегающей политики в строительном комплексе [текст] / Н.В. Цопа, В.В. Малахова, Л.С. Ковальская // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 6 (58). – С. 91-98.
3. Иванов Г.С. Нормирование и рентабельность повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций [текст] / Г.С. Иванов // Жилищное строительство. – 1994. – № 1. – С. 23-26.
4. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы [текст] / Ю.А. Табунщиков // АВОК. – 2014. – № 1. – С. 6-11.

5. Матвиевский А. Утепление стен и существующих ограждающих конструкций [Электронный ресурс] / А. Матвиевский, Н. Умнякова // Максмир. – 2011. – Режим доступа: http://www.maxmir.com/publish/p_tech1.html
6. Белов В., Шварц Б. Энергосберегающая санация типовых жилых зданий: немецкий опыт для российских регионов. Аналитический сборник материалов семинаров Немецкого Общества по международному сотрудничеству (GIZ) для ассоциаций выпускников Президентской программы Российской Федерации [Электронный ресурс] / В. Белов, Б. Шварц. – Режим доступа: https://www.managerprogramm.de/wp-content/uploads/2014/06/Sanierung_Wohngebaeude.pdf
7. Неведов В.А. Опыт управления жилищной и коммунальной сферой в Германии [текст] / В.А. Неведов // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 301. – С. 161-164.
8. Подольян Л.А. / Энергоэффективность жилых зданий нового поколения [текст] / Л.А. Подольян // Дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – Москва, 2005. – 185 с.
9. Шеина С.Г. Анализ и расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий РГСУ [текст] / С.Г. Шеина, А.Н. Миненко // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-1 (22). – С. 131-134.
10. Цопа Н.В. / Перспективы применения инновационных материалов для теплозащиты наружных ограждающих конструкций жилых зданий [текст] / Н.В. Цопа, А.С. Чернобай // Актуальные проблемы строительства: материалы 69-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / М-во образования и науки Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб.: 2016. – С. 141-145.
11. Колмогоров О.И. Формирование механизма управления энергосбережением при капитальном ремонте в жилищной сфере [текст] / О.И. Колмогоров // Дисс. на соискание уч. ст. канд. экон. наук. – Санкт-Петербург, 2015. – 160 с.
12. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов [текст] / В. Файст. – М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
13. Федяева П.В. Организационно-технологическое обеспечение повышения энергоэффективности в жилищном фонде субъекта Российской Федерации [текст] / П.В. Федяева // Дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2015. – 217 с.
14. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли [текст] / Г.П. Васильев // Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – М.: МГСУ, 2006. – 432 с.
1. Badin G.M. Construction and reconstruction of a low-rise energy-efficient house [text] / G.M. Badin. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2011. - 432 p.
2. Zopa N.V. On the need for regulatory regulation of modern energy-saving policies in the construction sector [text] / N.V. Zopa, V.V. Malakhov, L.S. Kovalskaya // Building and technogenic security. - 2017. - No. 6 (58). - P. 91-98.
3. Ivanov GS Rationing and profitability of increasing the level of thermal protection of enclosing structures [text] / GS. Ivanov // Housing construction. - 1994. - No. 1. - P. 23-26.
4. Tabunshchikov Yu.A. Energy-efficient buildings and innovative engineering systems [text] / Yu.A. Tabunshchikov // ABOK. - 2014. - No. 1. - P. 6-11.
5. Matvievsky A. Warming of walls and existing enclosing structures [Electronic resource] / A. Matvievsky, N. Umnjakova // Maxmir. - 2011. - Access mode: http://www.maxmir.com/publish/p_tech1.html
6. Belov V., Schwartz B. Energy-saving sanitation of typical residential buildings: German experience for Russian regions. Analytical collection of materials of seminars of the German Society for International Cooperation (GIZ) for associations of graduates of the Presidential Program of the Russian Federation [Electronic resource] / V. Belov, B. Schwartz. - Access mode: https://www.managerprogramm.de/wp-content/uploads/2014/06/Sanierung_Wohngebaeude.pdf
7. Nefedov V.A. Experience in managing housing and communal services in Germany [text] / V.A. Nefedov // Bulletin of Tomsk State University. - 2007. - No. 301. - P. 161-164.
8. Podolyan L.A. / Energy efficiency of residential buildings of a new generation [text] / L.A. Podolyan // Diss. for the competition uch. Art. Cand. tech. sciences. - Moscow, 2005. - 185 with.
9. Sheina SG Analysis and calculation of "cold bridges" to improve the energy efficiency of residential buildings of the RSSU [text] / S.G. Sheina, A.N. Minenko // The engineer's messenger of the Don. - 2012. - No. 4-1 (22). - P. 131-134.
10. Zopa N.V. / Prospects for the use of innovative materials for thermal protection of external enclosing structures of residential buildings [text] / N.V. Zopa, A.S. Chernobay // Actual problems of construction: materials of the 69th International scientific and practical conference of students, graduate students, young scientists and doctoral students / M-in education and science Ros. Federation, S.-Petersburg. state. architects.-Builds. un-t. - St. Petersburg. : 2016. - P. 141-145.
11. Kolmogorov OI Formation of the mechanism of energy saving management during major repairs in the housing sector [text] / O.I. Kolmogorov // Diss. for

the competition uch. Art. Cand. econ. sciences. - St. Petersburg, 2015. - 160 p.

12. Faist B. Basic provisions on the design of passive houses [text] / V. Faist. - M: Publishing house of the Association of Construction Universities, 2008. - 144 p.

13. Fedyaeva P.V. Organizational and technological support for improving energy efficiency in the housing fund of the subject of the Russian

Federation [text] / P.V. Fedyaeva // Diss. for the competition uch. Art. Cand. tech. sciences. - Rostov-on-Don, 2015. - 217 with.

14. Vasiliev G.P. Heat and Cooling of Buildings and Structures Using Low-Potential Thermal Energy of Surface Layers of the Earth [text] / G.P. Vasiliev // Diss. for the competition uch. Art. Doct. tech. sciences. - M.: МГСУ, 2006. - 432 с.

ANALYSIS OF THE BASIC METHODS OF CARRYING OUT THE ENERGY SANATATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Tsopa N. V.

Summary. The article reveals the peculiarities of sanitation for residential buildings on the basis of the use of existing methods for conducting energy sanitation. The most promising methods for conducting energy sanitation were identified. They include: insulation of external enclosing structures, roofs, attics and basements; replacement of window units with more energy efficient ones; the device of the automated control unit of the heating system; transition to horizontal heating systems with the possibility of quarterly heat metering and the installation of thermostats; the device of ventilation systems with heat recovery or recuperation, as well as hygro-adjustable closures.

Key words: energy sanitation, energy efficiency, energy saving, energy saving potential, residential buildings.

УДК 69. 699.865

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НАРУЖНЫХ СТЕН, ПОЛОВ И КРОВЕЛЬ

Шаленный В.Т.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

e-mail: v_shalennyj@mail.ru

Аннотация. Представлены обоснования и усовершенствованные конструктивно-технологические решения использования изделий из пеностекла преимущественно в качестве тепло- и звукоизолирующего материала в конструкциях наружных стен, полов и кровель промышленных и гражданских зданий. Совершенствование конструкции утепления и отделки стен гражданских зданий блоками из пеностекла заключается в наличии и оригинальной конструкции пластмассовых анкерных креплений. Для наружных стен, полов и кровель предлагаются также усовершенствованные технологии нанесения растворов на основе гранул пеностекла – эффективного, экологически чистого и долговечного строительного материала. Показаны инновационные конструкции, обеспечивающие ликвидацию теплопроводных участков из тяжёлого бетона между перекрытиями и наружными стенами путём установки промежуточных армированных вкладышей пеностекла в процессе железобетонных работ по возведению каркаса. Показаны преимущества, области рационального применения и пути дальнейшего развития инноваций.

Ключевые слова: ресурсосбережение, пеностекло, конструкции наружных стен полов и кровель

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации, в расчёте на 1000 человек населения, используется всего 218 м³ теплоизоляции, в то время как аналогичный показатель потребления теплоизоляции в Швеции составляет 600 м³, США – 500 м³, Финляндии – 420 м³, Японии – 350 м³. При этом в США и Бельгии производство пеностекла составляет 24% от общего объёма теплоизоляционных материалов в этих странах, а в России – менее 0,1% [1, с.60]. Это даёт очевидный толчок поискам инновационных технологий применения пеностекольных изделий в строительных конструкциях отечественных зданий и сооружений.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Использование пеностекла преимущественно в качестве долговечного, надёжного и несыраемого утеплителя пропагандируется многими авторскими коллективами, например, [2 - 4]. Последний, действующий российский патент предлагает применение блоков из пеностекла и для заглублённых сооружений оборонного назначения в суровых климатических условиях Арктики.

Аналогичные работы выполняются и в Украине под руководством д.т.н., профессоров Савицкого Н.В. и Пшинько А.Н. Эти работы стали составной частью, защищённой в 2016 году докторской диссертации Никифоровой Т.Д., внедрение которой заключалось, в том числе, и в экспериментальном проектировании и строительстве в Днепропетровской области первого в Украине энергоэффективного заглублённого жилого дома «EGG» с его наружным утеплением блоками из пеностекла средней плотностью 100 кг/м³ [5]. Под влиянием разработок этих, для нас безусловно авторитетных специалистов, нами впервые предложено инновационное совершенствование конструкции наружной стены путём закрепления блоков пеностекла при помощи специальных угле-пластиковых кронштейнов [6]. Эти предложения затем были обобщены в монографии [7], к сожалению, изданной крайне ограниченным тиражом. В этой же монографии впервые сформулированы запатентованные в Украине с нашим участием предложения по устройству теплоизолирующих разрывов между монолитными конструкциями наружных стен из тяжёлого бетона, междуэтажными перекрытиями и

элементами многослойной плоской рулонной кровли [8].

Примерно на три года позже, публикуются сведения и выдаётся аналогичный российский патент на полезную модель, где лишь конкретизируется материал аналогичных теплоизолирующих разрывов – именно пеностекло [9]. Даже не обращая внимание на правомерность выдачи этого патента, отмечаем приоритет нашей разработки и необходимости хотя бы позже осветить её сущность в открытой печати. Кроме того, за истекший период выполнены и другие усовершенствования ресурсосберегающих конструктивно-технологических решений, способствующих повышению эффективности применения изделий из пеностекла в строительстве.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отсюда вытекает **цель** настоящей работы - в комплексе осветить результаты выполненных нами работ по совершенствованию тепло- и звукоизолирующих свойств многослойных строительных конструкций наружных стен, пола и кровли за счёт использования прогрессивных изделий из пеностекла - энергоэффективного, экологически чистого и долговечного строительного материала. Для достижения поставленной цели предусматривалось решение **задач** по анализу состояния вопроса, определению направлений изысканий и создание усовершенствованных конструктивно-технологических схем с кратким изложением сущности и рациональной области применения.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Безусловно существенный и до сих пор трудно устранимый недостаток конструктивно-технологических систем наружного утепления многослойных стен материалами из пеностекла – намного большая себестоимость устройства таких систем. «Узким местом» распространенной конструктивно-технологической системы завода-изготовителя «Гомельстекло» [10] является механическое крепление утеплителя из блоков пеностекла путем дюбелирования. Но дюбелирование блоков предусматривает их сверление и забивание пластиковых дюбелей в образованные таким образом отверстия, что

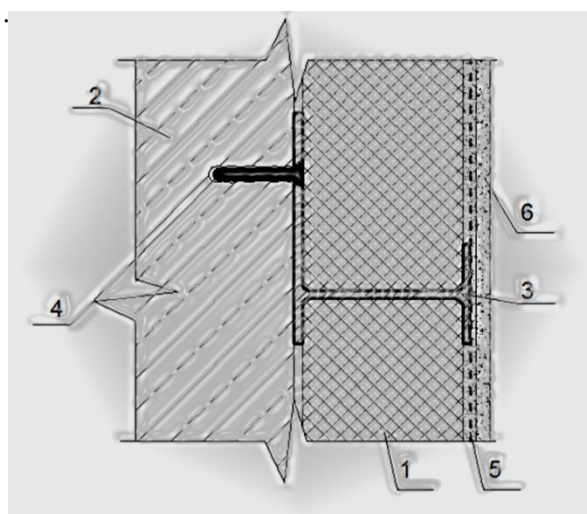
разрушает пеностекло вокруг крепления из-за его хрупкости, что непозволительно для подобных теплоизоляционных материалов.

Чтобы ограничить механическое воздействие на материал хрупкого утеплителя, с нашим участием, был разработан усовершенствованный способ крепления плитных утеплителей без дюбелей при помощи специальных кронштейнов, защищенный патентом РФ на полезную модель №162256 U1 и представленный на Рис. 1а.

Крепежные изделия из углепластика, к сожалению, до настоящего времени остаются достаточно дорогостоящими и дефицитными, а поэтому их использование в нашей системе утепления и отделки далеко не всегда будет оправданным. В некоторых случаях, ориентируясь на срок службы созданной системы в пределах 20-25 лет, кронштейны из углепластика можно заменить на подобные или усовершенствованные, но из дешевой и повсеместно распространенной пластмассы.

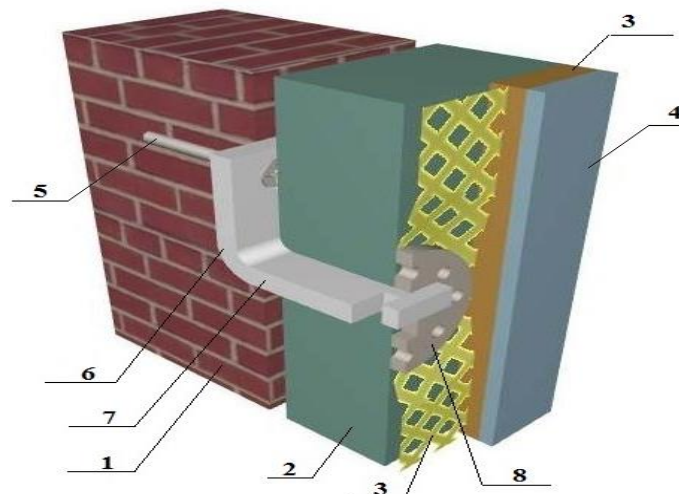
Исходя из проведенного анализа недостатков конструктивной системы-прототипа, в ее развитие, разработана и запатентована как полезная модель (заявка №2017143853 от 28.12.2017г., решение о выдаче патента от 28.08.2018г.) усовершенствованная конструктивно-технологическая система наружного утепления и отделки стеновыми блоками из пеностекла, представленная на Рис. 1б.

Она содержит снаружи блоков 2 армирующий слой 3 из стекло сетки и облицовочный слой цементно-песчаной штукатурки 4. В стене 1 образуют отверстие, куда устраивают оцинкованный анкер 5, прикрепляя таким образом угловую часть кронштейна 6 с полкой 7 к стене 1. Далее на полку 7 укладывают вышерасположенный блок 2 из пеностекла и приступают к его фиксации вместе с нижерасположенным и армирующей стекло сеткой 3. Чтобы надёжно зафиксировать такое положение блоков 2, через паз нужно одеть шайбу 8, повернуть на 90°, а затем переместить по пазу вниз до его окончания. С некоторым отставанием от перечисленных работ, устраивается цементно-песчаная штукатурка 4, полностью скрывающая элементы утепления, крепления и её армирования для последующей долговременной и надёжной эксплуатации предложенной системы утепления наружных стен.



а)

1- блоки пеностекла, 2- стена, 3 – кронштейн, 4 – дюбель, 5 – армирующая сетка, 6 – защитно-отделочный слой



б)

1- кирпичная стена, 2 - блоки пеностекла, 3 армирующая сетка в слое штукатурки, 4 – шпатлевочно-окрасочный слой, 5 -дюбель, 6 –кронштейн, 7 – его угловая часть, 8 - шайба или пластина

Рис. 1. Предложенные конструктивно-технологические штукатурные системы утепления и отделки наружных стен блоками из пеностекла с креплениями: а) – рядовыми кронштейнами из углепластика; б) – то же, разъемными, преимущественно из пластика, с фиксирующей шайбой

Fig. 1. Proposed constructive-technological plastering and finishing thermal insulation system of exterior walls of foam glass blocks with fixings

Кроме стеновых блоков из пеностекла, на рынке стройматериалов получают распространение и заполнители для бетонов и растворов, производимые на тех же производственных мощностях. Следовательно, имеется возможность использования и этих материалов в качестве как монолитных утеплителей для стен, так и в качестве звуко- и теплоизолирующих стяжек для полов и плоских рулонных многослойных кровельных покрытий. Такой монолитный слой может совмещать защитные свойства с функциями упрочнения и выравнивая поверхности, придания ей необходимых профилей и уклонов (на кровле).

В пользу устройства дополнительного защитно-отделочного слоя на основе монолитного бетона из гранул пеностекла следует отнести и то предположение, что в процессе такой термомодернизации существующих гражданских зданий, решается широко известная проблема разгерметизации стыков панельных конструкций. Под новой монолитной облицовкой можно спрятать, иногда необходимые по результатам обследования и проектирования, стальные либо пластиковые элементы усиления существующих конструкций

реконструируемых объектов. Преобразится и внешний облик существующей мало привлекательной застройки 60-70-х годов прошлого столетия.

В связи с чем, дальнейшее развитие получает и технология «мокрой» штукатурки с использованием сухих штукатурных смесей с заполнителем в виде гранул, песка или щебня из пеностекла. Эти работы предлагается выполнять как с предварительным провешиванием поверхностей и устройством растворных марок и маяков [11], так и с установкой и выверкой инвентарных маяков из оцинкованной стали. В первом случае, пространство между стеной и установленным на регулировочных винтах правилом заполняют строительным раствором, в том числе, с пеностекольным заполнителем, после твердения которого и образуется маяк, необходимый для дальнейшего качественного оштукатуривания необходимой толщины. Трудоемкость и сроки подготовительных работ можно также существенно снизить при использовании вместо растворных маяков специальных профилей из оцинкованной стали или других материалов, оригинальным способом

закрепляемых и выверяемых на поверхности стены [12].

В случаях необходимости устройства дополнительного штукатурного утепления стен толщиной более 50 мм, одним из перспективных,

нам представляется использование для таких целей съёмных разборно-переставных опалубочных систем. Такая щитовая опалубка может устанавливаться, выверяться и временно закрепляться на реконструируемой стене при помощи оригинальных анкерных устройств (Рис. 2).

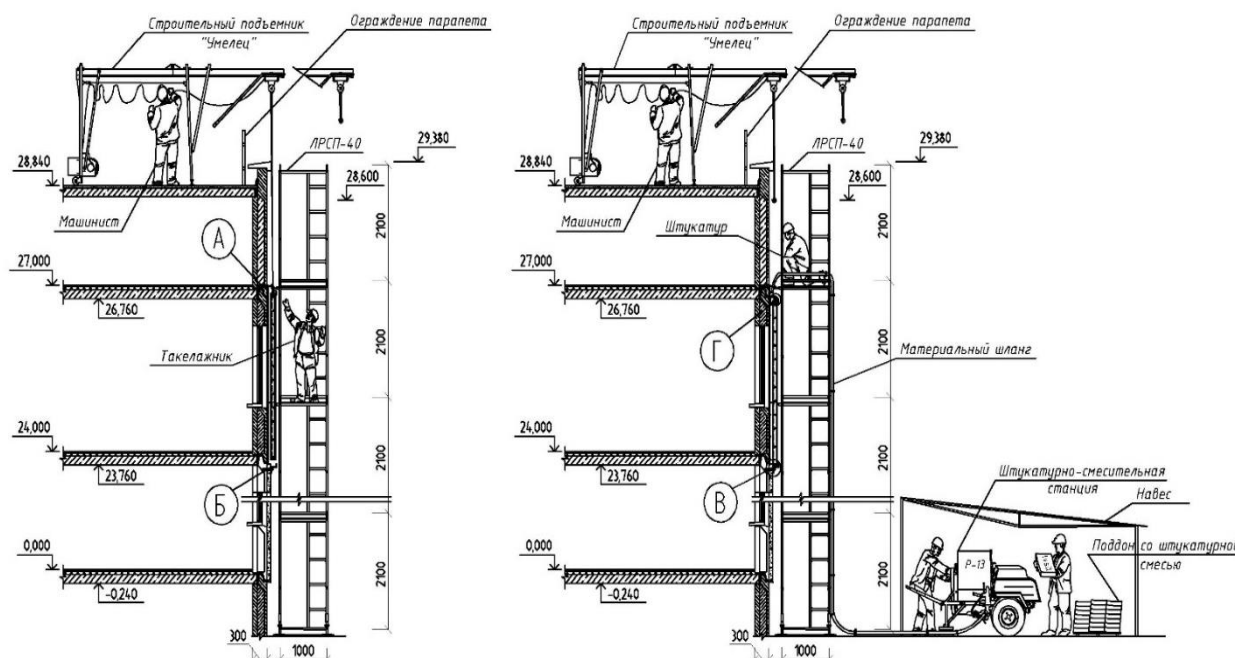


Рис. 2. Организационно-технологические схемы монтажа щитов опалубки на поверхности стены и подачи растворной смеси с заполнителями из пеностекла

Fig. 2. Organizational and technological arrangement of the shuttering boards on the wall surface and the filing of mortar with leaders of foam glass

При этом смесь готовится преимущественно в смесительно-насосном агрегате и, по материалному шлангу, подается в устроенную таким образом вертикальную полость, где уплотняется и твердеет. После чего производится распалубка и щиты перемещаются на вышележащий ярус бетонирования, а полученную наружную поверхность затирают и производят её окончательную отделку.

Открытым до сих пор при этом остаётся вопрос подбора и проектирования оптимального состава смеси с заданными теплотехническими и прочностными свойствами дополнительно устраиваемого слоя утепления и отделки на основе пеностеклянных заполнителей из щебня и гравия.

Все большее распространение получает использование заполнителей из пеностекла для устройства выравнивающих стяжек для полов, совмещающие теплозащитные и звукоизолирующие функции. В этом случае, традиционным методом предварительной подготовки бетонной поверхности

является устройство марок и маяков из быстротвердеющих составов или маячных досок. Но для этих целей можно использовать и предложенный нами способ монтажа инвентарных маяков из оцинкованной стали (Рис. 3).

Как было отмечено в начале статьи, чтобы исключить полностью или частично замеченные «мостики холода» рекомендуется прервать монолитный либо сборный участок связи из тяжелого железобетона путем устройства вкладыша из эффективного материала утеплителя, к которым мы относим и блоки из пеностекла (Рис. 4). Принципиально таким же образом необходимо поступать для ликвидации теплопотерь и в зоне сопряжения конструкции покрытия с парапетом (Рис. 5). Устройство дополнительной теплоизоляции балконной плиты путем установки вкладышей, разрывающих тепловой поток, следует выполнять в примерно следующей последовательности:

- опускают предварительно подготовленный пакет дополнительной теплоизоляции в зону производства работ;
- размещают фрагменты изоляции в зоне монтажа;
- устанавливают эти блоки в проектное положение;

- выверяют положение фрагментов дополнительной теплоизоляции и связывают ее арматурные стержни с арматурой будущего балкона и плиты перекрытия;
- равномерно укладывают бетонную смесь в опалубку плиты перекрытия и балконной плиты с последующим уходом за бетоном и распалубкой

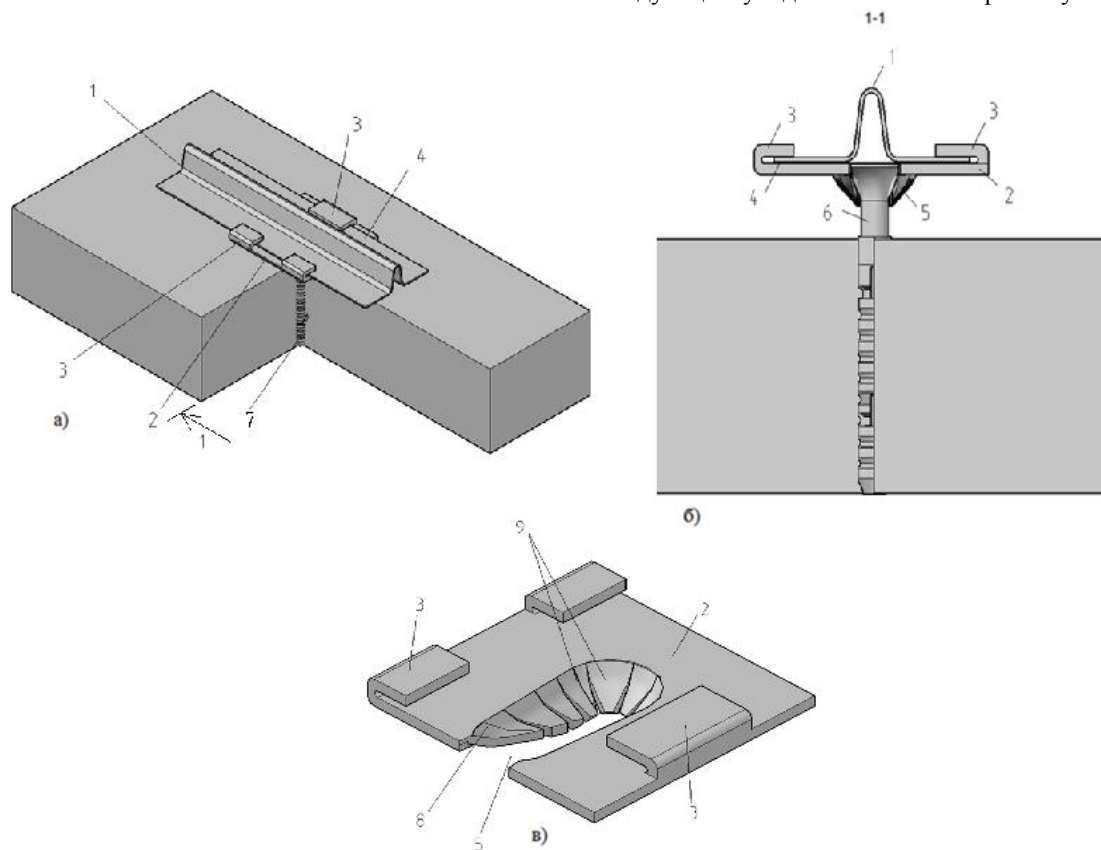


Рис. 3. Схема установки и выверки маячкового профиля для последующего бетонирования выравнивающей стяжки под полы или кровли раствором на основе гранул пеностекла: а) - готовая конструкция установленного и выверенного маячка 1 перед бетонированием поверхности; б) - тот же узел, разрез 1-1; в) - поясняет форму и элементы самого держателя 2: 3 – отгибы, 4 – паз под профиль 1; 5 – то же, под шуруп 6; 7 – дюбель, 8 – выштамповка под головку шурупа 6

Fig. 3. Installation scheme and reconciling profile for later concreting levelling coupler under floors or roof solution based on granules of foam glass

Таким образом, изложенные здесь и ранее, вопросы использования пеностекла в строительном производстве нами уже в достаточной степени проработаны, технология переработки стекольного боя в пеностекло также известна и уже реализуется на производственных мощностях и в Российской Федерации, Беларуси и дальнем зарубежье. Необходимую доработку технологии могут осуществить специалисты соответствующих кафедр КФУ им. В.И. Вернадского, например, кафедры строительного инжиниринга и материаловедения (или других научно-проектных организаций, имеющих соответствующий опыт и оборудование).

Приглашаем их к сотрудничеству. Возможно даже, назрела необходимость разработки у утверждения региональной программы реализации изложенных предложений. Или же они могут стать отдельным разделом обще крымской программы организации раздельного сбора, хранения и глубокой переработки твердых бытовых и производственных отходов

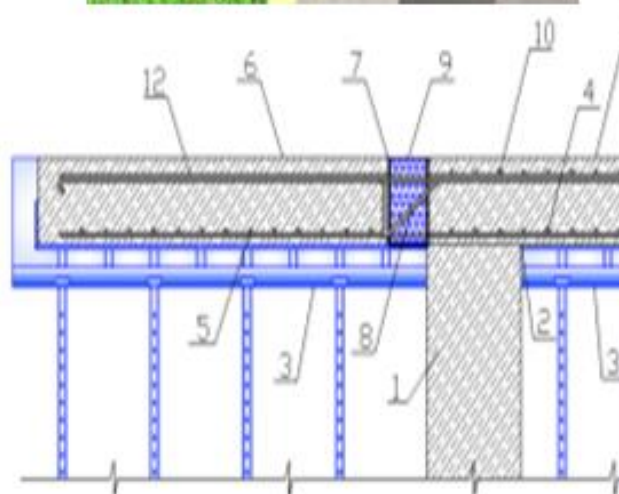
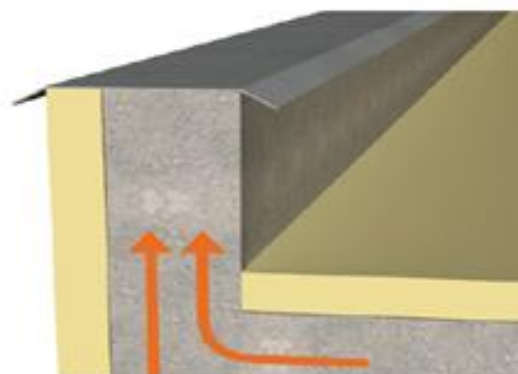
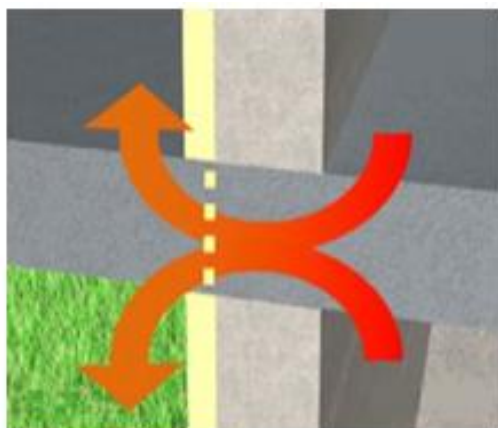


Рис. 4. Схемы образования и ликвидации «мостиков холода» в местах соединения балконной плиты и перекрытия тяжелым бетоном: 1-наружная стена; 2-нижняя отметка плиты перекрытия; 3- опалубка плиты перекрытия и балконной плиты; 4 – нижняя арматура плиты перекрытия; 5 – арматура балкона; 6 – балкон; 7 – несъемная полимерная опалубка; 8 – арматура теплоизоляционного элемента; 9 – теплоизоляционный материал - пеностекло; 10 – верхняя арматурная сетка плиты перекрытия; 11 – плита перекрытия; 12 – верхняя арматура балконной плиты

Fig. 4. Scheme of obtaining and the Elimination of "cold bridges at the junctions of a balcony plate and slab hard concrete

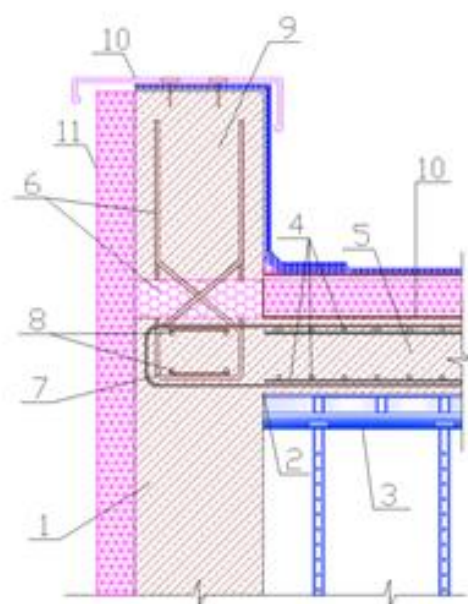


Рис. 5. Схемы образования и ликвидации «мостиков» холода в местах сопряжения плиты покрытия и стеновой системы: 1- наружная стена; 2- нижняя отметка плиты перекрытия; 3- опалубка плиты перекрытия; 4 –арматура плиты покрытия; 5 – плита покрытия; 6 - армированный теплоизоляционный элемент из пеностекла; 7 - арматурное кольцо теплоизоляционного элемента-вкладыша; 8 - арматура плиты покрытия; 9 - конструкция парапета; 10 - элементы кровельной конструкции; 11- скрепленная фасадная теплоизоляция

Fig. 5. Scheme of obtaining and the Elimination of "cold bridges in places of interface of coating plates and wall system

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Следовательно, в данной работе обоснованы и в комплексе представлены усовершенствованные конструктивно-технологические системы утепления и отделки наружных стен, полов и кровель существующих и строящихся гражданских зданий с использованием мелкоштучных изделий, и монолитной штукатурки из пеностекла. Преимущества этого материала давно известны и разработки в этом направлении материаловедения продолжают [13]. Здесь мы обращаем внимание и на решаемую таким путем проблему утилизации стекольного боя, актуальную как для Крыма [14, 15], так и других регионов Российской Федерации. В дальнейшем, необходимо провести комплекс исследований и разработок, направленных на решение проблем организации сбора и переработки промышленных и бытовых отходов с превращением их в пеностекло – экологически чистый, долговечный, не горючий и эффективный строительный материал. Необходимы также дальнейшие исследования по подбору оптимальных составов бетонов и технико-экономическим обоснованиям областей рационального применения представленных конструктивно-технологических систем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелихов, Н.С., Рахимов, Р.З. Производство и применение пеностекла в тепловой изоляции: учебное пособие / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов. – Казань: Издательство Казанск. гос. архит. – строит. ун-та, 2016. – 331с.
2. Чебышев, М.В. Конструктивные особенности вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла // Жилищное строительство. 2015. №7. С.27-28.
3. Долговечность ограждающих и несущих конструкций каркасно-панельных зданий серии 1-335АС в условиях г. Сочи /Е.Е. Юрченко, Е.А. Юрченко, А.А. Какосьян, С.А. Кирия //Материалы IX междунар. науч.-практич. конф. «Строительство в прибрежных курортных регионах», - 23-27 мая 2016г. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ». 2016. С.103-107.
4. Пат. № 175267 U1, Российская Федерация, МПК E04H9/00. Войсковое фортификационное сооружение для Заполярья /Г.И. Тыцкий, А.В. Широков и др. – Заявл. 01.08.2017; опублик. 29.11.2017, Бюл. №34.
5. Nikiforova, Tetiana. Methods and results of experimental researches of thermal conductivity of soils /Nikiforova Tetiana, Mykola Savitskyi, Karim Limam, Walter Bosschaerts, Rafik Belarbi //Energy Procedia, 2013. – Volume 42. – Pages 775–783 (Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021301847X?np=y>).
6. Шаленный, В.Т., Романенко, Т.Н., Лесникова, Е.И. Усовершенствованная конструкция и сравнительная эффективность утепления блоками из пеностекла //Строительство и техногенная безопасность. – 2016. - №2(54). – С.61-64.
7. Романенко, Т.Н., Федоркин, С.И., Шаленный, В.Т. Утепление ограждающих конструкций: / Т.Н., Романенко, С.И., Федоркин, В.Т., Шаленный: “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria, - 2016. - 365с.
8. Пат. №96941 U, Украина, МПК E04B 1/74, E04B 1/80 (2006.01). Способ устройства энергосберегающего конструктивного узла «парапет - наружная стена – плита покрытия»: / А.Н. Березюк, К.Б. Дикарев, А.А. Скокова, Н.И. Ганник, А.Н. Кузьменко, В.Т. Шаленный, А.В. Дзюбан. Заявл. 11.09.2014; опублик. 29.02.2015, Бюл. №4.
9. Пат. № 177349 U1, Российская Федерация, МПК E04B 1/780 (2006.01). Теплоизолирующая вставка для стыков элементов строительных конструкций: / М.А. Дрыкин. Заявл. 12.12.2017; опублик. 16.02.2018, Бюл. №5.
10. Тепловая изоляция ограждающих конструкций зданий и сооружений с использованием материалов из пеностекла. Технический кодекс установившейся практики. – Минск, 2006, 97с.
11. Герман, А.С., Шаленный, В.Т., Чубукчи, Э.С., Тупицын, Д.А. Развитие технологии мокрой штукатурки стен путём создания нового инструмента для провешивания поверхностей и установки маяков // Строительство и техногенная безопасность. 2013. №46. С.81-84.
12. Акимов, С.Ф., Головченко, И.В., Шаленный, В.Т., Куренько, А.В. Прогрессивные направления ресурсосберегающего развития технологии монолитного и сборно-монолитного домостроения в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. – 2015. - №1(53). – С.42 - 47.
13. Семейных, Н.С., Сопегин, Г.В., Федосеев, А.В. Оценка физико-механических свойств пористых заполнителей для легких бетонов // Вестник МГСУ. - 2018. - Т.13. - Вып. 2(113). - С. 203–212.
14. Шаленный, В.Т. О целесообразности создания в Крыму цикла переработки отходов стекла в пеностекло - экологически чистый и долговечный утеплитель /XXII международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики», г. Алушта, 10 – 16 сентября 2017г. /Изд. Отечество: Казань-Симферополь-Алушта, 2017. – С.392-397.
15. Шаленный, В.Т. Предложения по созданию в Крыму замкнутого цикла сбора и переработки боя стекла в пеностекло – энергоэффективный, экологически чистый и долговечный строительный материал /I Всероссийская междисциплинарная научно-практическая конференция «Крымская инициатива – экологическая безопасность регионов: концептуально-теоретические, практические, природоохранные и мировоззренческие аспекты»,

Симферополь, 5-7 октября 2017г. Симферополь, 2017. – С. 104 -108.

REFERENCES

1. Shelikhov, N.S., Rakhimov, R.Z. Production and application of foam glass thermal insulation: tutorial /N.S. Shelikhov, R.Z. Rakhimov.-Kazan: Kazansk Publishing House. GOS. Architect. - builds. 2016. - 331p. (In Russian).

2. Čebyšev, m. v. Konstruktivnye osobennosti ventiliruemogo fasada c uteplitelem from penostekla //Žilišnoe stroitelstvo. 2015. # 7. Pp. 27-28. (In Russian).

3. Dolgovečnost ograždaúših s nesuših konstrukcij frame-panelnyh commissioned serii 1-335 ACE in usloviâh g. Miami /E. E. Yurchenko, E. A. Yurchenko, a. Kakosân, s. a. Kiriâ//Proc. 1 x meždunar. nauč.-praktič. CONF. "Kurortnyh in regionah pribrežnyh Stroitelstvo, 23-27 May 2016 g. - Miami: CRIS FGBOU In "SGU". 2016 Pp. 103-107. (In Russian).

4. Pat. No. 175267 U1, the Russian Federation, MPK E04N9/0000. Army fortification for Polar/ G.I. Tyckij, A.V. Shirokov, etc. - Appl. 01.08.2017; 29.11.2017, Director. No. 34. (In Russian).

5. Nikiforova, Tetiana. Methods and results of experimental researches of thermal conductivity of soils /Nikiforova Tetiana, Mykola Savyskyi, Karim Limam, Walter Bosschaerts, Rafik Belarbi //Energy Procedia, 2013. – Volume 42. – Pages 775–783 (Mode of access: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021301847X?np=y>).

6. Shalennyi, V.T, Romanenko, T.N., Lesnikova, E.I. Advanced design and comparative effectiveness of insulation foam glass blocks //Construction and technological safety. -2016. -No. 2 (54). -Pp. 61-64. (In Russian).

7. Romanenko, T.N., Fedorkin, S.I., Shalennyj, V.T. Insulation of protecting designs:/T.N., Romanenko, S.I., Fedorkin, V.T., Shalennyj: "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria, 2016. -365 p. (In Russian).

8. Pat. No. U Ukraine, 96941, IASC E04B, E04B 1/74 1/80 (2006.01). The way of energy-saving devices constructive parapet site-exterior wall-plate cover ":/A.N. Berezyuk, K.B. Dikarev, A. Skokova, N.I.

Gannik, A.N. Kuzmenko, V.T. Shalennyi, A.V. Jūban. Appl. 11.09.2014. 29.02.2015, Director. No. 4. (In Ukrainian).

9. Pat. No. 177349 U1, the Russian Federation, IASC E04B 1/780 (2006.01). Thermal insulation paste for joints of structural elements:/M.A. Drykin. Appl. 12.12.2017; 16.02.2018, Director. No. 5. (In Russian).

10. Thermal insulation of enclosing structures of buildings and structures with the use of materials of foam glass. Technical code of good practice. -Minsk, 2006, 97p. (In Russian).

11. Herman, A.S., Shalennyi, V.T., Chubukchi, E.S., Tupitsyn, D.A. Technology wet plaster walls by creating a new tool for proveshivaniya surfaces and installation of beacons // Construction and industrial safety. 2013. -No.46. - Pp. 81-84. (In Russian).

12. Akimov, S.F., Golovchenko, I.V, Shalennyi, V.T., Kurenko, A.V. Progressive direction of resource-saving technology development of monolithic and prefabricated monolithic housing construction in Crimea // Construction and industrial safety. -2015. -No. 1 (53). -Pp. 42-47. (In Russian).

13. Semeynich, N.S., Sopegin, G.V., Fedoseyev, A.V. Score of physico-mechanical properties of porous lightweight concrete //Vestnik MGSU. -2018. -T. 13. - No 2 (113). - Pp. 203-212. (In Russian).

14. Shalennyi, V.T. On the feasibility of establishing a waste processing cycle in Crimea glass foamglass-eco-friendly and durable insulation / XXII international scientifically-practical Conference «problems and prospects of innovational development of economy". Alushta, September 10-16, 2017. /Ed. Homeland: Kazan-Simferopol-Alushta, 2017. -Pp. 392-397. (In Russian).

15. Shalennyi, V.T. Suggestions for creating closed-loop in the Crimea, collection and recycling of glass breakage in glass-energy efficient, environmentally friendly and durable building material/I Russian interdisciplinary scientific-practical Conference "Crimean initiative-environmental security: conceptual and theoretical, practical, environmental and spiritual dimensions ", Simferopol, 5-7 October 2017. Simferopol, 2017. -Pp. 104-108. (In Russian).

CONSERVATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT USE OF FOAM GLASS IN MULTI-LAYER
CONSTRUCTIONS OF EXTERNAL WALLS, FLOORS AND ROOFS

Shalennyi V.T.

Summary Presents justification and advanced constructive-technological solutions using products from foam glass mostly as heat and noise insulating material in the construction of the exterior walls, floors and roofs of industrial and civil buildings. Improving the design of insulation and walls of civic buildings blocks of foam glass is available and original design plastic anchoring. For exterior walls, floors and roofs are also offered advanced technology solutions based on granules of foam glass is an effective, environmentally friendly and durable building material. Showing innovative designs to ensure elimination of heat-conducting tracts of heavy concrete floors and external walls between by setting intermediate reinforced foam glass inserts in process of reinforced concrete works on construction of the frame. Showing the benefits of application management and ways of further development.

Key words: resource saving, construction foamglass, exterior walls of floors and roofs.

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Любомирский Н.В., Николаенко Е.Ю., Николаенко В.В., Бахтин А.С.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

niklub.ua@gmail.com , lesha29.04@mail.ru, v1told@mail.ru, aleserba@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по установлению возможности применения углекислого газа в производстве бетона с целью повышения его прочностных характеристик. Выявлены особенности физико-химических превращений, протекающих в теле пористого бетона при организации его твердения в средах с повышенной концентрацией углекислого газа. Установлено, что при введении в состав цементного вяжущего извести уменьшается степень карбонизации продуктов гидратации портландцемента. Показано, что при последовательном пропаривании и принудительной карбонизации пористого бетона на основе цементного и цементно-известкового вяжущего обеспечиваются условия как для гидратационного, так и карбонатного твердения. Это обуславливает появление максимального количества кристаллических гидратных и карбонатных новообразований, что повышает прочность материала. Выявленные особенности физико-химических процессов карбонизации цементных и цементно-известковых систем позволяют говорить об эффективности использования техногенного CO_2 в технологии производства неармированных бетонных изделий.

Выводы: установлено, что при комбинированном твердении газобетона на основе цементного и цементно-известкового вяжущего, включающем пропаривание и последующую выдержку в среде с высокой концентрацией CO_2 , обеспечиваются условия для протекания как гидратационного, так и карбонатного твердения. Это обеспечивает появление максимального количества кристаллических новообразований и повышение прочностных характеристик материала. Выявленные особенности физико-химических процессов карбонизации цементных и цементно-известковых систем позволяют говорить об эффективности использования техногенного CO_2 в технологии производства неармированных бетонных изделий.

Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, цемент, углекислый газ, карбонизация, структурообразование, микроструктура.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития общества большое значение приобретает вопрос сбережения природных ресурсов и снижения уровня загрязнения атмосферы Земли различными техногенными отходами и углекислым газом. Наряду с этим, отрасль строительства испытывает потребность в качественных эффективных строительных материалах и изделиях. Это предопределяет необходимость развития исследований в области получения экономичных и экологических материалов

и внедрение разработанных ресурсосберегающих технологий в производство.

В настоящее время в строительной индустрии активно применяются бетонные конструкции различного назначения. Большинство исследований в области бетона направлены на оптимизацию существующих технологий и процессов структурообразования материала, а также расширение сырьевой базы производства. Однако в качестве вяжущего преимущественно применяется портландцемент, производство которого является неэкологичным и сопровождается выделением

большого количества углекислого газа. В связи с этим актуальным является изучение вопроса применения CO_2 в технологии строительных материалов на основе цементного и цементно-известкового вяжущего с целью уменьшения выбросов его в атмосферу.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Процесс поглощения и связывания углекислого газа строительными материалами изучается уже давно. В ряде случаев карбонизация может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на физико-механические свойства строительных композитов. Так, например, у материалов на основе извести в результате взаимодействия с углекислым газом растут показатели прочности и долговечности [1-5]. А при рассмотрении вопроса карбонизации бетона научный интерес к процессу связывания свободного гидроксида кальция чаще всего сводится к проблеме углекислотной коррозии [6,7]. Это обусловлено тем, что свободная известь и продукты гидратации портландцементного клинкера, обеспечивающие структурообразование и твердение бетона, под действием CO_2 переходят в другие соединения с образованием карбоната кальция. Низкой стойкостью в условиях углекислотной агрессии обладают низкоосновные гидросиликаты кальция тоберморитовой группы. Также наименее устойчивы к карбонизации гидроалюминаты кальция, которые в результате реакции дают гидроксид алюминия, карбонат кальция и воду [8].

В то же время установлено, что вторичный карбонат кальция, который образуется при взаимодействии углекислого газа и свободного гидроксида кальция, способствует повышению атмосферостойкости и, таким образом, положительно влияет на сроки эксплуатации цементных неармированных бетонов [9-12]. Карбонизированный слой в данном случае выступает в качестве барьера на поверхности материала, уплотняющего поверхность бетона и уменьшающего его проницаемость. Также ранее проводились исследования, позволяющие говорить о положительном эффекте при карбонизации бетона в ходе ранней гидратации цемента, на этапе формирования бетонной смеси [13,14,15]. Было показано, что основные клинкерные минералы, двух- и трехкальциевый силикат, реагируют с диоксидом углерода с образованием гидрата силиката кальция, смешанного с карбонатом кальция. Установлено, что при карбонизации

свежегидратированного цемента продукты реакции получают наноразмерными и однородно распределенными, а показатели прочности увеличиваются до 26 % [13].

Исходя из вышеизложенного целесообразным является изучение вопроса влияния принудительной карбонизации на процесс структурообразования и физико-механические свойства материала на основе цементных и цементно-известковых систем с развитой поверхностью, например, газобетона.

Целью данной работы является изучение особенностей физико-химических превращений в теле газобетона на основе цементного и цементно-известкового вяжущего, твердеющего в специально созданных условиях с повышенной концентрацией диоксида углерода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на опытных образцах газобетона марки D 600 размером $100 \times 100 \times 100$ мм. В качестве компонентов вяжущего применяли портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства ОАО «Новоросцемент» и кальциевую известь производства АО «Евпаторийский завод строительных материалов» активностью 80%. Содержание вяжущего в сырьевой смеси составляло 50% по массе. Соотношение цемента и извести в смешанном вяжущем – 3:1. В качестве заполнителя использовался кварцевый песок.

Химический состав исходного сырья определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на ЭД-спектрометре Epsilon 3XLE (PANalitical). Результаты анализа представлены в таблице 1 и таблице 2.

Твердение было организовано двумя способами: пропаривание и пропаривание с последующей выдержкой в газо-воздушной среде с повышенной концентрацией углекислого газа. Тепловлажностная обработка проводилась в течении 8 часов при температуре 60°C . Карбонизация осуществлялась в течении 2 часов при содержании 40% CO_2 в газо-воздушной среде. Прочность при сжатии газобетонных образцов и их минералогический состав определяли в возрасте 1 и 28 суток после высушивания. Минералогический состав образцов определяли с помощью системы высокотемпературного синхронного ТГА/ДТА/ДСК анализа STA 8000 фирмы Perkin Elmer в интервале температур $30-1000^\circ\text{C}$ при скорости нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, в среде азота.

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Таблица 1. Химический состав цемента.

Table 1. Chemical composition of cement.

	Содержание, %										
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO	SrO
Портландцемент	0.610	4.141	19.836	4.728	0.873	62.931	0.212	0.081	3.893	0.042	0.155

Таблица 2. Химический состав извести.

Table 2. Chemical composition of lime.

	Содержание, %								
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	
Известь	0.385	0.346	0.286	1.019	0.051	97.889	0.030	0.253	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На рисунках 1-4 представлены результаты исследования минералогического состава

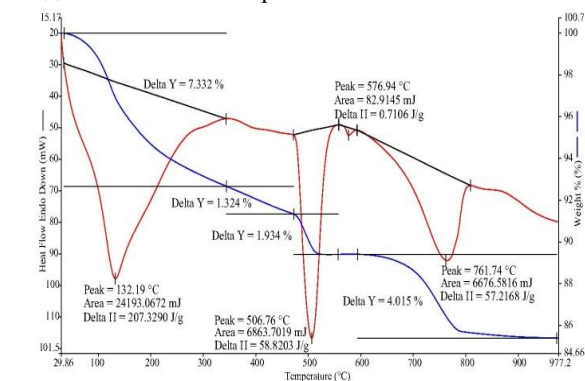


Рисунок 1. Дериватограмма образца газобетона на основе цементного вяжущего после пропаривания в возрасте 1 сут.

Figure 1. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement binder after steaming at the age of 1 day.

поверхностного слоя газобетонных образцов на цементном и цементно-известковом вяжущем после 1 суток твердения в зависимости от режима послеформовочной обработки.

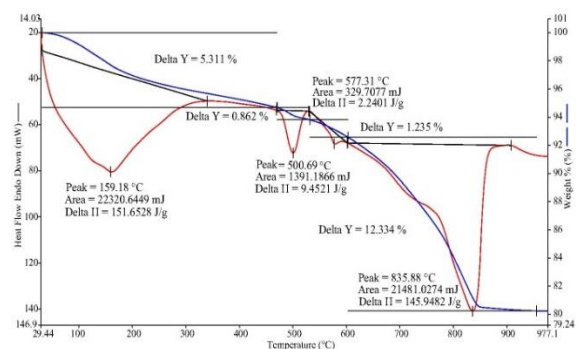


Рисунок 2. Дериватограмма образца газобетона на основе цементного вяжущего после пропаривания и принудительной карбонизации в возрасте 1 сут.

Figure 2. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement binder after steaming and forced carbonization at the age of 1 day.

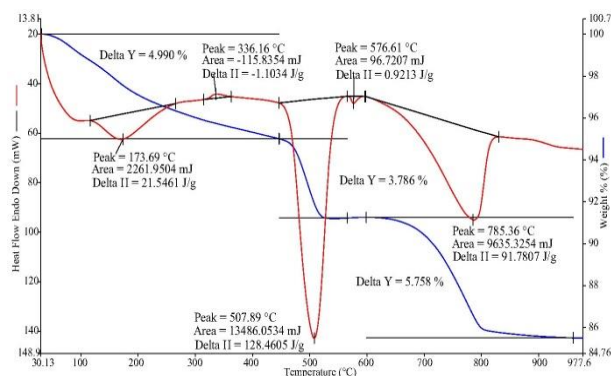


Рисунок 3. Дериватограмма образца газобетона на основе цементно-известкового вяжущего после пропаривания в возрасте 1 сут.

Figure 3. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement-lime binder after steaming at the age of 1 day.

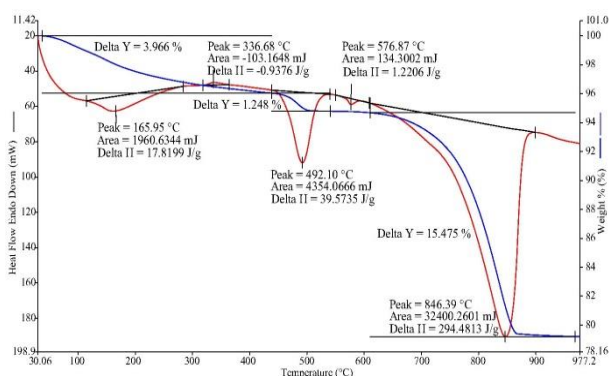


Рисунок 4. Дериватограмма образца газобетона на основе цементно-известкового вяжущего после пропаривания и принудительной карбонизации в возрасте 1 сут.

Figure 4. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement-lime binder after steaming and forced carbonization at the age of 1 day.

На полученных кривых ДТА имеются три основных эндотермических эффекта. Интервал температур 130-180 °С характеризует процесс дегидратации гидросиликатной фазы, этtringита, гидросульфоалюминатов и, возможно, гидросульфосиликатов кальция. Второй эндотермический эффект в интервале температур 480-530 °С свидетельствует о наличии портландита в системе. И третий эффект в интервале 750-850 °С характеризует процесс разложения карбоната кальция CaCO_3 [16,17,18]. В образцах, не подверженных принудительной карбонизации, наличие карбоната кальция может быть обосновано взаимодействием свободной извести с углекислым газом в процессе сушки образцов и проведения измерений.

При анализе дериватогрaмм образцов на цементном и цементно-известковом вяжущем выявлено, что в процессе карбонизации в реакцию с углекислым газом вступает как портландит, так и продукты гидратации цемента. Об этом свидетельствует снижение массы в интервале температур 130-180 °С и 480-530 °С. Однако следует отметить, что при карбонизации образцов на цементном вяжущем потеря массы образцов при температуре 500-510 °С уменьшилась с 1.934% до 1.235%, что составляет 36% от первоначального значения (рисунок 1, 2). А у образцов на цементно-известковом вяжущем масса в этом же диапазоне уменьшилась на 67% с 3.786% до 1.248% (рисунок 3,

4). Это может быть обусловлено тем, что эндотермический эффект в этом интервале температур характеризует наличие не только свободной извести, которая быстро вступает в реакцию с углекислым газом, но и групп CaOH^+ , находящихся в составе C-S-H фазы.

Также, при введении в систему свободной извести в составе известково-цементного вяжущего после карбонизации наблюдается уменьшение разницы потери массы в интервале температур 130-180 °С по сравнению с образцами на цементном вяжущем. Так, после карбонизации масса цементных образцов в данном диапазоне уменьшилась на 28% с 7.332% до 5.311% (рисунок 1, 2), а образцов с содержанием извести – на 21% с 4.990% до 3.966% (рисунок 3, 4). Данное явление может быть связано с низкой устойчивостью Ca(OH)_2 к карбонизации по сравнению с продуктами гидратации цемента. В результате взаимодействия извести с углекислым газом образуется карбонат кальция, который, в некоторой степени, может играть роль коагулянта и замедлять процесс дальнейшей карбонизации гидратов клинкерных минералов [12].

Далее проводились исследования минералогического состава поверхностного слоя газобетонных образцов на цементном и цементно-известковом вяжущем в возрасте 28 суток после пропаривания и пропаривания с принудительной карбонизацией (рисунок 5-8).

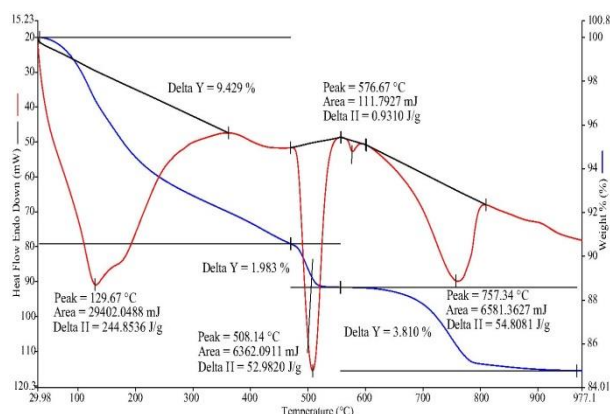


Рисунок 5. Дериватогрaмма образца газобетона на основе цементного вяжущего после пропаривания в возрасте 28 сут.

Figure 5. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement binder after steaming at the age of 28 days.

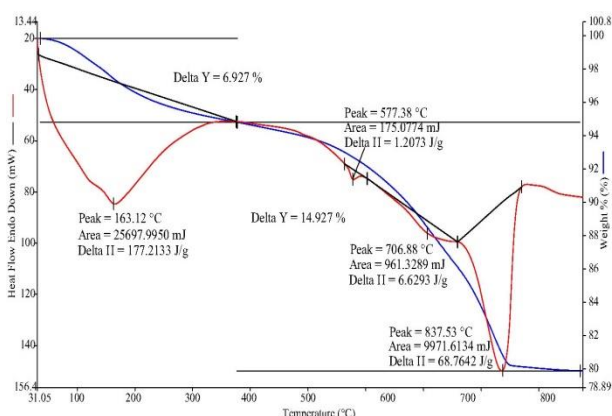


Рисунок 6. Дериватогрaмма образца газобетона на основе цементного вяжущего после пропаривания и принудительной карбонизации в возрасте 1 сут.

Figure 6. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement binder after steaming and forced carbonization at the age of 28 days.

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

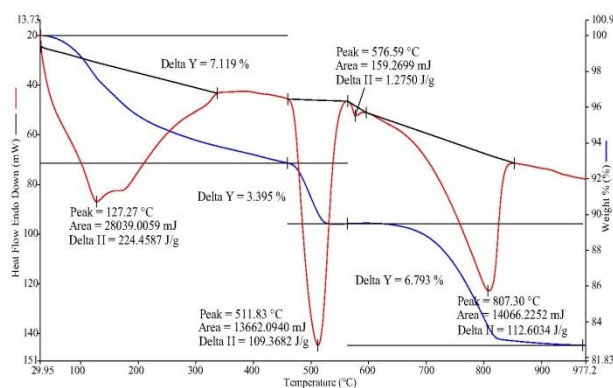


Рисунок 7. Дериватограмма образца газобетона на основе цементно-известкового вяжущего после пропаривания в возрасте 28 сут.

Figure 7. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement-lime binder after steaming at the age of 28 days.

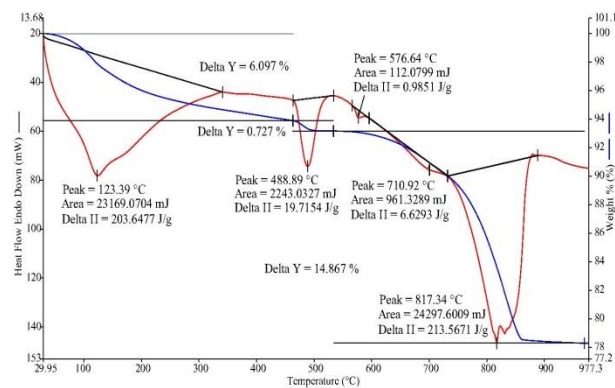


Рисунок 8. Дериватограмма образца газобетона на основе цементно-известкового вяжущего после пропаривания и принудительной карбонизации в возрасте 28 сут.

Figure 8. Derivatogram of a sample of aerated concrete on the basis of a cement-lime binder after steaming and forced carbonization at the age of 28 days.

При анализе дериватограмм образцов на цементном и цементно-известковом вяжущем в возрасте 28 сут выявлено, что в процессе твердения пропаренных и карбонизированных образцов значительно снижается количество свободной извести в системе. Об этом свидетельствует отсутствие либо незначительное проявление эндотермического эффекта у газобетонных образцов в интервале температур 480-530 °C. Это обусловлено тем, что в процессе гидратационного твердения цементного вяжущего происходит связывания свободной извести в различные цементные новообразования. Также наблюдается эффект в

интервале 700-750 °C, который характерен для разложения гидросиликатов кальция и, вероятно, фазы C-A-S-H, дегидратация которой сопровождается выраженным эндотермическим эффектом [19].

Исследования микроструктуры газобетонных образцов в возрасте 1 и 28 суток (рисунок 9,10) показали, что послеформовочная карбонизация опытных образцов имеет существенное влияние на морфологию кристаллов новообразований, получаемых в процессе твердения газобетонного массива.

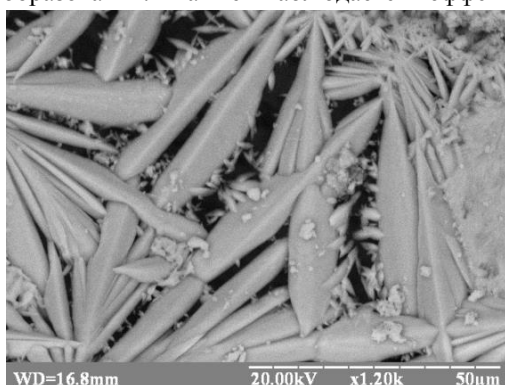


Рисунок 9. Микроструктура опытных образцов газобетона после пропаривания и карбонизации в возрасте 1 сут, $\times 1200$.

Figure 9. Microstructure of aerated concrete samples after steaming and carbonization at the age of 1 day, $\times 1200$.

Съемка структуры образцов показала, что в результате последовательного пропаривания и карбонизации в теле газобетона образуются крупные кристаллообразования размером 50 мкм

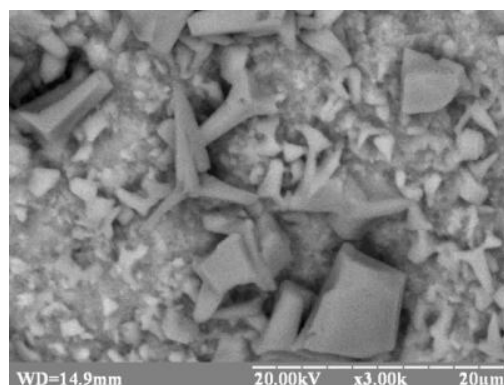


Рисунок 10. Микроструктура опытных образцов газобетона после пропаривания и карбонизации в возрасте 28 сут, $\times 3000$.

Figure 10. Microstructure of aerated concrete samples after steaming and carbonization at the age of 28 days, $\times 3000$.

дендритно-сфероидолитовой текстуры, схожие с текстурой арагонита (рисунок 9). Поскольку фаза арагонита в процессе образования карбоната кальция является неустойчивой, то с течением

времени она, как менее стабильная полиморфная модификация, переходит в более устойчивую – кальцит с тригональной сингонией. Об этом свидетельствуют снимки микроструктуры образцов в возрасте 28 суток (рисунок 10). В данном случае микроструктура представлена крупными скаленоэдрическими и ромбоэдрическими кристаллами кальцита. На поверхности пор размеры кристаллов варьируются от 4 до 8 мкм, а в межпоровых перегородках – от 1 до 4 мкм. Подобное явление может быть обосновано частичным переходом гидратных соединений цементного камня в другие соединения под воздействием CO_2 с

последующим образованием модификаций карбоната кальция: ватерита, арагонита, кальцита [20].

Для подтверждения возможности применения карбонизации, как способа повышения физико-механических свойств бетонов как на цементном, так и на цементно-известковом вяжущем, были проведены испытания по определению прочности газобетонных образцов в зависимости от вида вяжущего и условий твердения. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Прочность при сжатии образцов газобетона, МПа.

Table 3. Compressive strength of aerated concrete samples, MPa.

Тип вяжущего	Пропаривание		Пропаривание + карбонизация	
	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
Портландцемент	1.2	1.7	1.6	2.1
Портландцемент + известь	0.7	1.2	1.1	1.7

При анализе полученных результатов наблюдается рост показателей прочности газобетона после принудительной обработки углекислым газом. Так, например, после пропаривания и карбонизации прочность образцов на цементном вяжущем в первые сутки увеличилась на 25%, а в возрасте 28 сут – на 19%. Процесс снижения набора прочности газобетонных образцов к 28 сут обусловлен связыванием значительной части свободной извести при взаимодействии с углекислым газом и замедлением процессов гидратации минералов цемента. Карбонизированные образцы на цементно-известковом вяжущем в возрасте 1 сут увеличили свою прочность по сравнению с образцами после пропаривания на 36%. А через 28 сут твердения разница между показателями прочности составила 35%. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что принудительная карбонизация наиболее эффективна при применении известково-цементного вяжущего.

ВЫВОДЫ

Таким образом, при комбинированном твердении газобетона на основе цементного и цементно-известкового вяжущего, включающем пропаривание и последующую выдержку в среде с высокой концентрацией CO_2 , обеспечиваются условия для протекания как гидратационного, так и карбонатного твердения. Это обеспечивает появление максимального количества кристаллических новообразований и повышение

прочностных характеристик материала. Выявленные особенности физико-химических процессов карбонизации цементных и цементно-известковых систем позволяют говорить об эффективности использования техногенного CO_2 в технологии производства неармированных бетонных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pöllmann H 2015 Mineralogical Strategies to reduce CO_2 in the fabrication of alternative cements // Proc. IBAUSIL. vol. 1 pp 11-129.
2. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Лукьянченко М.А. Системы на основе извести карбонизационного твердения // Строительные материалы. 2008. № 11. С. 45 – 47.
3. 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.
4. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature // Cement and Concrete Research Volume 35. 2005. Issue 14. P. 647 – 657.
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. Чижев С.В., Кузнецов С.А. Прогнозирование процесса карбонизации бетона // Перспективы науки. 2014. № 11(62). С. 76 – 81.

7. Свит Т.Ф., Семин Д.С. Об изменении состава продуктов гидратации цемента // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С.220–224.

8. Jochen Stark, Bernd Wicht Dauerhaftigkeit von beton. Weimer. -1995.-P. 295

9. Morandea A., Thiéry M., Danglad P. Impact of accelerated carbonation on OPC cement paste blended with fly ash // Cement and Concrete Research. 67(2015) pp. 226–236.

10. Quoc Tri Phunga, Norbert Maesa, Diederik Jacquesa, Els Bruneelc, Isabel Van Driessche, Guang Yeb, Geert De Schutterb Effect of limestone fillers on microstructure and permeability due to carbonation of cement pastes under controlled CO₂ pressure conditions // Construction and Building Materials. 82(2015). pp. 376–390.

11. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В. О механизме коррозии углекислого газа строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2015. № 5. С. 19 – 26.

12. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цементов для использования в химической агрессии // Изв. вузов: Строительство. 1998. № 10. С. 65–68.

13. Monkman S., MacDonald M., Hooton D., Thomas M. Use of carbon dioxide as an acceleration additive in concrete // Цемент и его применение. № 1-2017. pp. 82-89.

14. Berger R.L., Young J.F., Leung K. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon-dioxide treatment// Nature: Physical Sci., 1972 Vol. 240. pp. 16-18.

15. Goodbrake C.J. Young J.F., Berger R.L. Reaction of beta-dicalcium silicate and tricalcium silicate with carbon dioxide and water vapor// J. Amer. Ceram. Soc. 1979. Vol. 62. pp.168-171.

16. Ильина Л.В., Бердов Г.И., Гичко Н.О., Теплов А.Н. Изменение механической прочности и структуры портландцементного камня при введении комплексных дисперсных минеральных наполнителей // Известия вузов. Строительство. 2014. №4.

17. Uendlandt U. Thermal methods of analysis. M.: Mir. 1978. 527 p. (in Russian)

18. Lucia F.-C., Torrens-Martin B., Morales L.M., Sagrario M.-R. Infrared Spectroscopy in the Analysis of Building and Construction Materials. InTech. 2012. p. 510.

19. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Влияние технологических параметров на структуру и прочность при сжатии модифицированных мелкозернистых бетонов // Научный журнал КубГАУ. №111(07). 2015. С. 1-13.

20. Любомирский Н.В., Николаенко Е.Ю., Николаенко В.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А. Влияние принудительной карбонизации на формирование структуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонаткальцевого заполнителя // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 48-51.

REFERENCES

1. Pöllmann H 2015 Mineralogical Strategies to reduce CO₂ in the fabrication of alternative cements // Proc. IBAUSIL. vol. 1 pp 11-129.

2. Fedorkin S I, Lyubomirskiy N V and Lukyanchenko M. A. System based on lime of carbonizing hardening // Constr. Mater. N11. pp. 45-47.

3. 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.

4. Van Balen. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature // Cement and Concrete Research Volume 35. 2005. Issue 14. P. 647 – 657.

5. De Silva P., Bucea L., Moorehead D.R., Sirivivatnanon V. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure // Cement & Concrete Composites. 2006. N. 28, pp. 613–620.

6. Chizhov S.V. and Kuznetsov S.A. Prediction of concrete carbonation // Prospects of science. 2014. N 62. pp. 76-81.

7. Svit T.F., Semin D.S. About changes in structure of cement hydration products // Polzunovskii Vestnik. 2006. N2. pp. 220-4.

8. Jochen Stark, Bernd Wicht Dauerhaftigkeit von beton. Weimer. -1995.-P. 295.

9. Morandea A., Thiéry M., Danglad P. Impact of accelerated carbonation on OPC cement paste blended with fly ash // Cement and Concrete Research. 67(2015) pp. 226–236.

10. Phunga Q.T., Maesa N., Diederik J., Bruneelc E., Van Driessche I., Yeb G., Geert De Schutterb Effect of limestone fillers on microstructure and permeability due to carbonation of cement pastes under controlled CO₂ pressure conditions // Construction and Building Materials. 82(2015). pp. 376–390.

11. Anikanova T.V., Rakhimbaev Sh.M., Kaftaeva M.V. On the mechanism of carbon dioxide corrosion of building materials // Fundamental'nye issledovaniya. 2015. N5. pp. 19-26.

12. Rakhimbaev Sh.M. Principles of choosing cements for use in chemical aggression // Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo. 1998. N10. pp. 65-68.

13. Monkman S., MacDonald M., Hooton D., Thomas M. Use of carbon dioxide as an acceleration additive in concrete // Цемент и его применение. № 1-2017. pp. 82-89.

14. Berger R.L., Young J.F., Leung K. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon-dioxide treatment// Nature: Physical Sci., 1972 Vol. 240. pp. 16-18.

15. Goodbrake C.J. Young J.F., Berger R.L. Reaction of beta-dicalcium silicate and tricalcium silicate with carbon dioxide and water vapor// J. Amer. Ceram. Soc. 1979. Vol. 62. pp.168-171.

16. Il'ina L.V., Berdov G.I., Gichko N.Oh., Teplov A.N. Changes in mechanical strength and structure of Portland cement stone with the introduction of complex

dispersed mineral fillers // *Izvestiya Vuzov: Stroitel'stvo*. 2014. N4. pp. 61-4.

17. Uendlandt U. Thermal methods of analysis. M.: Mir. 1978. 527 p. (in Russian)

18. Lucia F.-C., Torrens-Martin B., Morales L.M., Sagrario M.-R. Infrared Spectroscopy in the Analysis of Building and Construction Materials. *InTech*. 2012. p. 510.

19. Andreeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Davaasenge S.S. and Savvinova M.E. Influence of

technological parameters on structure and durability of the modified fine-grained concrete at compression // *Science J of KubSAU*. 2015. N111. pp. 1-13.

20. Lyubomirsky N.V., Nikolaenko E.Yu., Nikolaenko V.V., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. The influence of forced carbonization on the formation of the structure of aerated concrete based on the lime-cement binder and carbonaceous filler // *Building materials*. 2017. N 5. pp. 48-51.

THE PROCESS OF STRUCTURAL FORMATION OF A AERATED CONCRETE OF NON-AUTOMATIC SOLIDITY AT FORCED INTERACTION WITH CARBON GAS

Lyubomirskiy N., Nikolaenko E., Nikolaenko V., Bakhtin A.

Summary. The results of experimental studies on the establishment of the possibility of using carbon dioxide in the production of concrete for the purpose of improving its strength characteristics are presented. Specific features of physicochemical transformations occurring in the body of porous concrete during the organization of its hardening in environments with a high concentration of carbon dioxide are revealed. It was found that when lime is introduced into the cement binder composition, the degree of carbonation of portland cement hydration products decreases. It was shown that with successive steaming and forced carbonization of porous concrete on the basis of cement and cement-lime binder, conditions for both hydration and carbonate hardening are provided. This causes the appearance of a maximum amount of crystalline hydrate and carbonate neoplasms, which increases the strength of the material. The revealed features of the physicochemical processes of carbonization of cement and cement-lime systems allow us speak about the effectiveness of the use of man-made CO₂ in the technology of production of unreinforced concrete products.

Key words: non-autoclaved aerated concrete, cement, carbon dioxide, carbonization, structure formation, microstructure.

ОПЫТ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ ПРИБОРО- И
МАШИНОСТРОЕНИЯ

Урецкий Е.А., Субботкин Л. Д. Мороз В.В.

Брестское отделение Белорусской Инженерной Технологической Академии (БИТА);
Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181;
Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
email: ldsword@mail.ru

Аннотация: Разработанная линия доочистки выделенного потока наименее загрязненных сточных вод и его обработка до требований к технической воде в «грязном» оборотном цикле подтвердила ее работоспособность, невысокую энергоемкость, низкие затраты воды на собственные нужды, незначительный расход кислоты. Схема ступенчатого повторного использования сточных вод с байпасным выводом солей позволяет варьировать степень доочистки в зависимости от требований производства. Степень возврата воды в производство составляет 85-90%.

Ключевые слова: Элюат, дилуат, сточные воды, соли, малоотходная технология, кислые и щелочные растворы, освещение, тонкослойный модуль, каркасно-засыпной фильтр

ВВЕДЕНИЕ.**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Выбор вариантов доочистки определяется входными и выходными параметрами обрабатываемой системы. Чем выше содержание загрязняющих компонентов и жестче требования к качеству технической воды, тем сложнее схема доочистки. Простейшим решением представляется выделение потока наименее загрязненных стоков и его обработка до требований к технической воде в «грязном» оборотном цикле. Таким способом удастся вернуть на повторное использование до 20% от всего количества сточных вод. Остальная часть сточных вод обрабатывается реагентными методами совместно с промывочными растворами и элюатами от линии доочистки [1,2].

Альтернативным решением является обработка всего объема сточных вод на единой линии доочистки с ионообменной или мембранной деминерализацией воды [1,2]. Стоимость такой обработки на порядок выше основной очистки, высоки расходы реагентов и смол, затраты воды на собственные нужды приближаются к количеству обработанных стоков, а при глубине обессоливания более 80% превышают его.

Главным недостатком такой схемы является ее высокая экологическая опасность, т.к. на 1 грамм

удаляемых из сточных вод солей приходится до 3-х грамм солей, сбрасываемых с элюатами.

В создавшихся условиях некоторым выходом может быть байпасный вывод солей посредством глубокой очистки части сточных вод при высоком исходном солесодержании обработанного в линии основной очистки сточных вод указанные выше недостатки остаются. Следовательно, ключом к созданию экономичной схемы доочистки является экономичная малоотходная технология реагентной обработки сточных вод [1.2.3.4]. На базовом предприятии (Брестский электромеханический завод) проведены тщательные наблюдения за качеством обработанного по такой технологии сточных вод явилось следствием внедрения целого ряда новых элементов изменения условий протекания процессов в технологии обработки стоков [3,4,5]:

— выделение концентрированных кислых и щелочных растворов и использование их в качестве реагентов сократило массу взвеси за счет исключения вторичного загрязнения сточных вод товарными реагентами;

— обезвреживание концентрированных хромсодержащих сточных вод отработанными травильными растворами до смешивания их с промывными хромсодержащими стоками также сократило расход реагентов, т.к. удельный расход

восстановителя возрастает по мере уменьшения концентрации шестивалентного хрома;

- перевод процесса из большого числа аппаратов и емкостей в два проточных реактора сократил время пребывания сточных вод в технологической линии, повысил оперативность действия автоматических средств регулирования, исключив избыток вводимых реагентов;

- совершенствование средств автоматики позволило поддерживать процессы в режимах, близких к оптимальным. Это повысило точность дозирования реагентов и улучшило условия формирования взвеси;

- наконец, совмещение процессов обезвреживания сточных вод от покрасочного и гальванического производства в одной линии также сократило расход реагентов и содержание взвешенных и растворённых веществ в системе.

Отсутствие в системе избыточной гидроокиси тяжелых металлов снизило общую концентрацию твердого вещества, улучшило структуру хлопьев и уменьшило количество иммобилизованной влаги в хлопьях взвеси. Уменьшилась агрегативная устойчивость коллоидных систем, процессы отстаивания стали завершаться более полно в более короткие сроки. Этому способствовало и энергичное перемешивание системы в реакторах, обеспечивающее хорошее хлопьеобразование. Удельный объём осадка не превышал 3% после 2-часового отстаивания.

Учитывая высокие технологические качества взвеси и ее исключительно низкую для промышленных сточных вод концентрацию процессы разделения полученной системы характеризуются теми же параметрами, что и хорошо освоенное осветление в водоподготовке.

Одновременно, такая система позволяет равномерно распределять солевой состав по всему объему сточных вод, устранив пиковые нагрузки на все технологические элементы. При этом концентрация соледержания составляет относительно малую величину от 650 до 1050 мг/л. Кроме того, небольшое содержание органических веществ в осветленных сточных водах дало возможность после экспериментальных работ отказаться от специальных устройств по удалению органических загрязнений.

Все это позволило при выборе схемы доочистки и подборе отдельных ее элементов уверенно ориентироваться на опыт, накопленный в практике водоподготовки с учетом новых достижений в области осветления и обессоливания вод.

На этой основе разработана и внедрена, на базовом предприятии линия доочистки сточных вод (рисунок 1), состоящая из тонкослойного модуля со встроенными зернистыми хлопьеобразователями, напорного каркасно-засыпного фильтра и стандартной электродиализной установки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Предложенное решение позволяет вести осветление сточных вод до качества необходимого для их повторного использования. Часть этого потока после соответствующей предподготовки подвергается деминерализации и возвращается по байпасной схеме в оборотный цикл. В принципе сточные воды после дополнительной глубокой деминерализации пригодны для приготовления технологических растворов.

Помимо сходства обработанных сточных вод с природными скоагулированными водами имеется и отличие, заключающееся в том, что концентрация твердой фазы и структура составляющих ее агрегатов меняются многократно в зависимости от условий водоотведения на технологических участках. Эти соображения определили необходимость использования зернистых хлопьеобразователей непосредственно перед тонкослойным отстойником с нисходяще-восходящим движением воды. Для повышения эффекта осветления в широком диапазоне дисперсности, на выходе из восходящего полочного модуля устроен фильтр с плавающей загрузкой (рисунок 2).

Эффект осветления в предложенной конструкции отстойника, согласно проведенным исследованиям, достигает 96% [6].

Вторая ступень осветления осуществляется на каркасно-засыпном фильтре конструкции Б.А. Митина [7], отличающемся нечувствительностью к изменениям нагрузки, высокой эффективностью регенерации и умеренным расходом воды на промывку (рисунок 3).

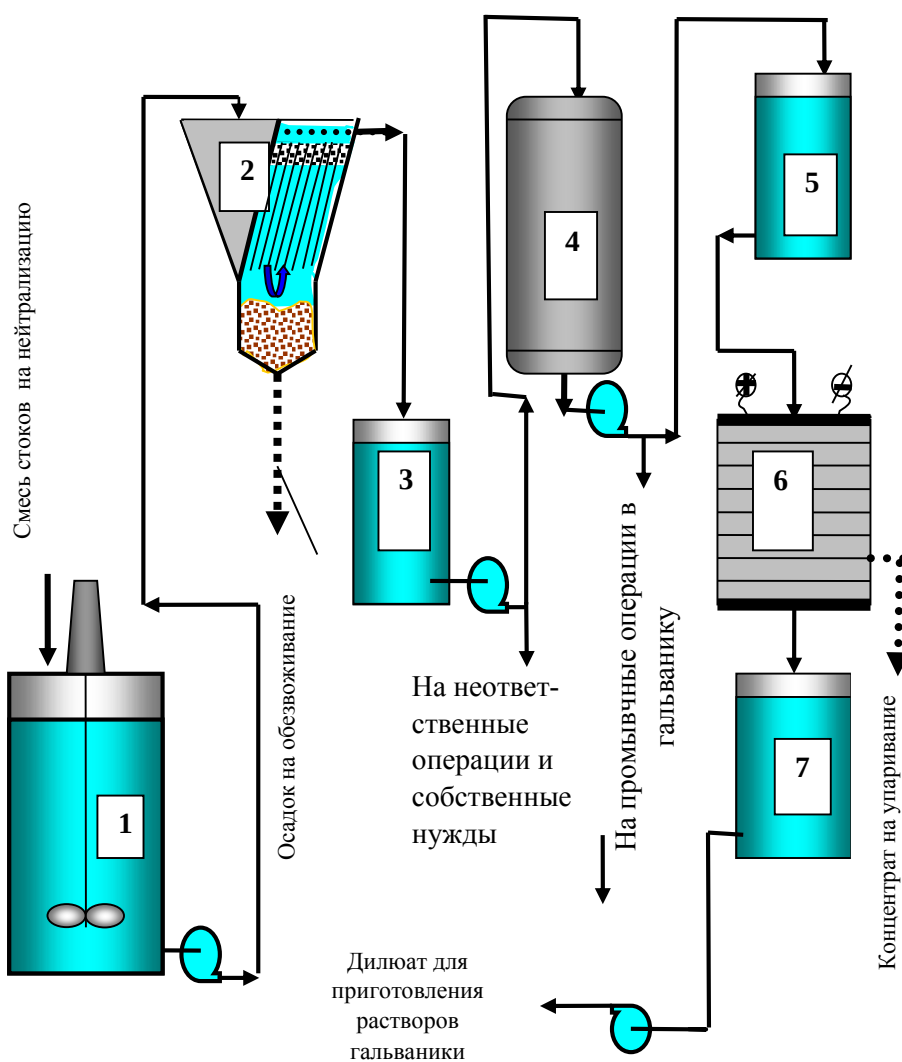


Рисунок 1 - Схема линии доочистки сточных вод

1– реактор-нейтрализатор всех видов сточных вод; 2 – тонкослойный модуль с зернистым хлопьеобразователем; 3 – бак отстоя; 4 – напорный каркасно-засыпной фильтр; 5 – бак фильтрата; 6 – электродиализная установка; 7 – бак дилуат.

Figure 1-diagram of the wastewater treatment line

1– the reactor-Converter of all types of waste water; 2 – thin-layer module with granular hlopeobraznoj; 3 – tank sludge; 4 – pressure frame sediment filter; 5 – tank of the filtrate; 6 – electrodialysis installation; 7 – tank diluat.

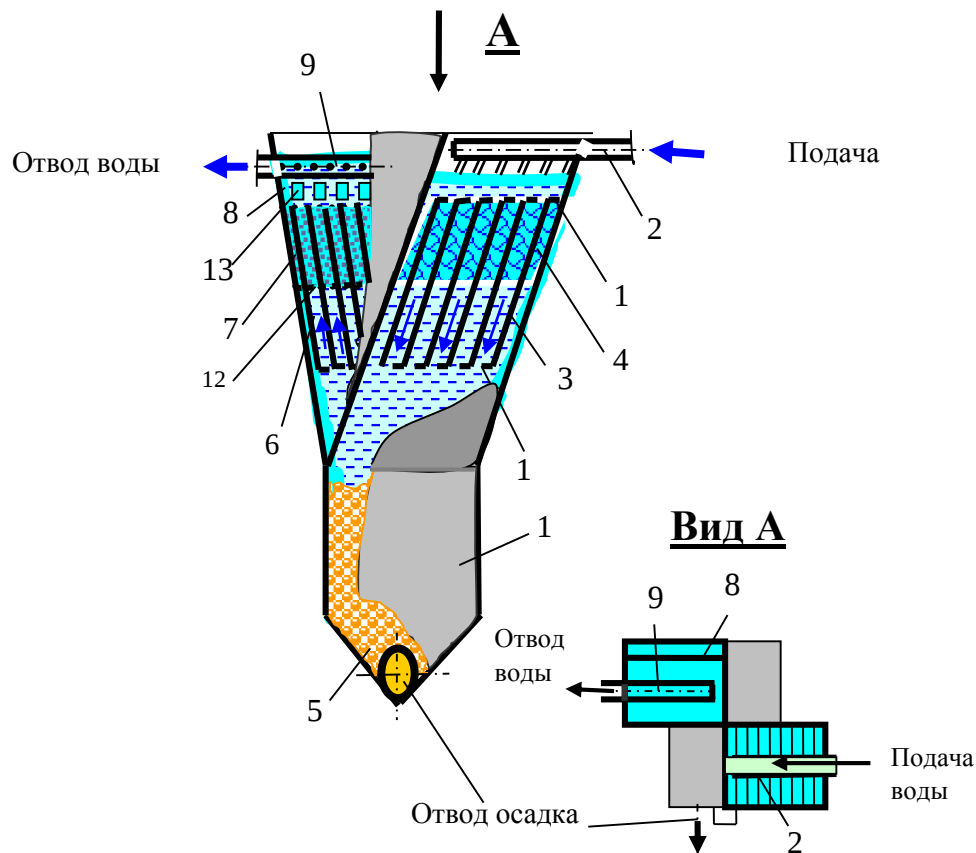


Рисунок 2 - Схема тонкослойного отстойника.

1 – металлический корпус; 2 – распределительная система для подачи загрязнённой воды; 3 – прямоточный модуль; 4 - крупнозернистая загрузка; 5 – осадкоуплотнитель;
 6 – противоточный модуль; 7 – мелкозернистая загрузка; 8 – вертикальная перегородка;
 9 – сборная система; 10, 11 - противоположно направленные козырьки на верхних и нижних концах для удержания загрузки; 12 – сетка, ограничивающая сверху и снизу мелкозернистую загрузку; 13 – перепускные окна

Figure 2 - arrangement of thin-layer sedimentation tank.

1-metal body; 2-distribution system for contaminated water supply; 3-ramjet module; 4-coarse-grained loading; 5-sedimentation tank; 6-countercurrent module; 7-fine-grained loading; 8-vertical partition; 9-prefabricated system; 10, 11-oppositely directed visors on the upper and lower ends to hold the load; 12-grid, limiting the top and bottom fine-grained load; 13-bypass Windows

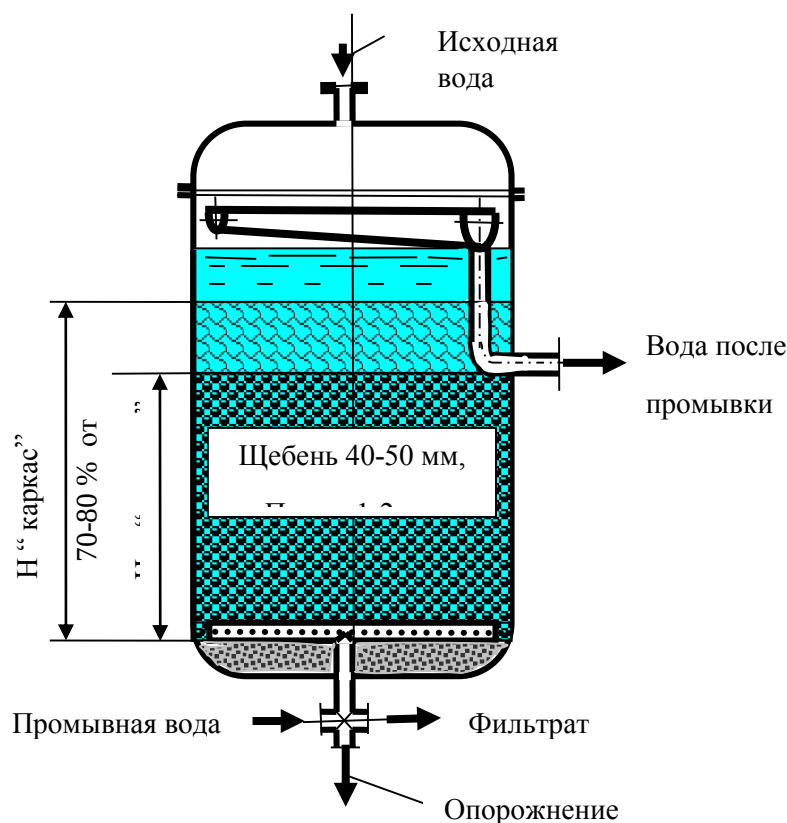


Рисунок 3 - Напорный каркасно-засыпной фильтр

Figure 3-Pressure frame-fill filter

По данным исследований эффект осветления на таком фильтре был не менее 90%. Качество стока после двух ступеней осветления в основном удовлетворяло паспортным требованиям для исходной воды перед обессоливанием.

Электродиализ давно признан эффективным методом опреснения соленых вод. Преимущества его перед рядом других методов заключаются в том, что он не требует изменения агрегатного состояния воды, осуществляется при невысоких температурах и давлении, потреблении энергии пропорционально солесодержанию. Последнее особенно рационально для деминерализации пресных вод до 1000 мг/л. При таком солесодержании срок службы мембран возрастает благодаря малой плотности тока, выход по току более 80%, примерный расход электроэнергии 1-2 квт. час. с учетом затрат на прокачку рассола и дилюата через установку. Расход

воды на собственные нужды, как подтвердили проведенные исследования, не превышал 15%.

Кроме того, серийные аппараты достаточно хорошо автоматизированы и практически не требуют дополнительных реагентов в процессе эксплуатации. Опыт показал, что обслуживающий персонал быстро осваивает эти аппараты.

Все эти соображения определили выбор аппарата в схеме доочистки, где были применены электродиализные аппараты ЭДУ 400х12 института "ГЕОХИ" им. Вернадского АН СССР [8].

В таблице 1 приведены результаты эксплуатации линии доочистки в сопоставлении с качеством технической и водопроводной воды, используемой на базовом объекте. По основным показателям фильтрат соответствует технической воде, а дилюат - водопроводной.

Таблица 1 - Результаты работы линии доочистки

Table 1 - the results of the line aftertreatment

Место отбора проб	pH	Взвешенные вещества, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Общее содержание, мг/л	Окисляемость, мг/л	Щёлочность, мг/л	Хром, мг/л	Железо, мг/л
Реактор	9,00	324,0	не опр	не опр	не опр	не опр.	2,0	13,5
Отстойник	8,85	21,0	882,0	1100,0	7,4	3,1	0,05	1,44
Фильтр	8,76	5,0	863,0	1000,0	7,2	3,0	0,02	0,42
Дилуат*)	7,20	1,2	220,0	160,0	6,4	2,2	0,01	0,02
Техническая вода	8,1	8,2	202,0	240,0	5,6	4,0	отс	0,22
Водопроводная вода	6,9	4,8	261,0	320,0	<u>4,8</u>	<u>4,6</u>	отс	<u>0,14</u>

*) - после однократной обработки на ЭДУ

ВЫВОД

Эксплуатация линии доочистки подтвердила ее работоспособность, невысокую энергоёмкость, низкие затраты воды на собственные нужды, а также весьма незначительный расход кислоты при обработке пакетов. Вместе с тем схема ступенчатого повторного использования сточных вод с байпасным выводом солей позволяет варьировать степень доочистки в зависимости от требований производства к качеству технической воды и от состава сточных вод, поступающих на очистку. При этом степень возврата воды в производство составит 85-90%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография: изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 -360 стр. С илл.
2. Голина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. М., Издательство Ассоциации строительных ВУЗов России, 2012. - 312 с.
3. Субботкин Л.Д. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производств / Субботкин Л.Д.,

Урецкий Е.А., Мороз В.В // Сб. научных трудов Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС, 2017. – № 8 (60) – С. 73–78.

4. Субботкин, Л.Д. Исследования процессов совместной физико-химической очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства / Субботкин Л.Д., Урецкий Е.А., Мороз В.В // Сб. научных трудов Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС, 2017. – № 8 (60) – С. 137–143.

5. Способ совместной очистки сточных вод лакокрасочных производств и производств защитных покрытий и плат: пат. 12453 Респ. Беларусь / Е.А. Урецкий, В.В. Мороз; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № а 20071107; заявл. 11.09.2007; опубл. 16.07.2009 / Гос. реестр на изобретение.

6. Устройство для осветления жидкости. А.С. SU №1242201. Митин Б.А. Урецкий Е.А., Комаровский М.П. Приоритет изобретения 7 января 1985г.

7. Митин Б.А. Особенности конструирования и эксплуатации фильтров для очистки промышленных стоков. Реф. сб., ГПИ “Сантехпроект” №2 М. 1975г.

8. Сенявин М.М., Веницианов Е.В., Митин Б.А., Урецкий Е.А. Теоретические и экспериментальные исследования процессов сорбционной и фильтрационной очистки сточных вод гальванического производства от растворенных и взвешенных примесей. Отчёт ГЕОХИ АН СССР, 1984 г., 34 с.

REFERENCES

1. Uretskiy E.A. Resource-saving technologies in the water industry of industrial enterprises. Monograph: publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 -360 pp. Fig.
2. Gogina ES, Gurinovich AD, Uretskiy EA Resource-saving technologies of industrial water supply and water disposal: A reference book. M., Publishing house of the Association of Construction Universities of Russia, 2012. - 312 p.
3. Subbotkin L.D. Development and introduction of resource-saving technology for joint sewage treatment of galvanic and painting industries / Subbotkin LD, Uretskiy EA, Moroz V.V. // Sb. scientific works Construction and technogenic safety. - Simferopol: NAPKS, 2017. - No. 8 (60) - P. 73-78.
4. Subbotkin, L.D. Investigations of the processes of joint physico-chemical purification of waste water from galvanic and painting production / Subbotkin LD, Uretskii EA, Moroz V.V. // Sb. scientific works Construction and technogenic safety. - Simferopol: NAPKS, 2017. - No. 8 (60) - P. 137-143.
5. A method for joint wastewater purification of paint and varnish industries and production of protective coatings and boards: pat. 12453 Rep. Belarus / E.A. Uretsky, V.V. Frost; applicant Brestsky state. tech. un-t. - No. 20071107; claimed. 11.09.2007; publ. 07/16/2009 / Gos. register for an invention.
6. Device for clarification of liquid. A.S. SU №1242201. Mitin B.A. Uretskiy EA, Komarovskiy M.P. Priority of the invention on January 7, 1985.
7. Mitin B.A. Features of design and operation of filters for industrial sewage treatment. Ref. сб., ГПИ "Сантехпроект" №2 М. 8. Senyavin MM, Venitsianov EV, Mitin BA, Uretskiy EA Theoretical and experimental studies of the processes of sorption and filtration purification of sewage from galvanic production from dissolved and suspended impurities. Report of the Geokhy Academy of Sciences of the USSR, 1984, 34 p.

EXPERIENCE OF THE RECYCLED USE OF WASTEWATER WATER AT THE ENTERPRISE OF INSTRUMENT- AND MACHINE-BUILDING

Uretskiy EA, Subbotkin L.D., Moroz V.V.

Summary: The developed line for post-treatment of the separated stream of the least contaminated wastewater and its treatment to the requirements for technical water in the "dirty" turnaround cycle has confirmed its efficiency, low energy intensity, low water consumption for own needs, and low consumption of acid. The scheme of step-by-step re-use of wastewater with bypass salt extraction allows you to vary the degree of post-treatment depending on the requirements of production. The degree of return of water to production is 85-90%.

Key words: Eluate, dilute, wastewater, salts, low-waste technology, acid and alkaline solutions, clarification, thin-layer module, frame-filling filter

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЧАСОВОГО МАКСИМУМА ПРИ ЧИСЛЕ ЖИТЕЛЕЙ МЕНЕЕ ТЫСЯЧИ ЧЕЛОВЕК

Боровский Б.И., Дихтярь Т.В.

Академия строительства и архитектуры

ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»

г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

E-mail: tim4enko.zin@yandex .ru

Аннотация: Значения коэффициента часового максимума необходимы для определения часового расхода газа, который используется при гидравлическом расчёте газовых сетей. Данные по значениям этого коэффициента приведены в стандарте, начиная с одной тысячи жителей до 2млн. и более. При числе жителей менее тысячи стандарт даёт формулу, связанную с газовым оборудованием и не зависящую от числа жителей. В логике определения часового расхода газа происходит теоретический разрыв непрерывности: до одной тысячи жителей главный фактор – число жителей, использующих газ, менее одной тысячи – газовое оборудование. Опыт показывает, что во втором случае завышается часовой расход газа и происходит перерасход металла и стоимости строительства. Однако существует информация, которая позволяет установить связь коэффициента часового максимума с числом жителей, менее тысячи человек. Этот вопрос рассматривается в данной статье.

Ключевые слова: годовой расход газа, часовой расход газа, коэффициента часового максимума, максимальный коэффициент часовой неравномерности, коэффициент одновременности, номинальный расход газа прибором.

ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент часового максимума имеет важное значение для проведения гидравлического расчёта газовых сетей, так как с его помощью определяется максимальный часовой расход газа (без отопления). Данные по значениям этого коэффициента приведены в стандарте при числе жителей от 1 тыс. чел. до 2млн. и более; при числе жителей менее 1тыс. чел. часовой расход газа по стандарту зависит от газового оборудования и не зависят от числа жителей, использующих газ. Опыт показывает, что во втором случае завышается часовой расход и происходит перерасход металла и стоимости строительства. Происходит нарушение непрерывности: до одной тысячи жителей главный фактор – число жителей, использующих газ, менее одной тысячи – газовое оборудование. Задача статьи состоит в сохранении упомянутой непрерывности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Максимальный часовой расход газа определяется выражением ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$Q_d^h = K_{max}^h Q_y, \quad (1)$$

где K_{max}^h – коэффициент часового максимума;

Q_y - годовой расход газа, $\text{м}^3/\text{год}$.

Значения K_{max}^h приведены в стандарте [1]. Эти данные имеют давнюю историю, ранее они входили в СНиП [2] и стандарте [3]. Как уже отмечалось, значения K_{max}^h соответствуют диапазону от одной тысячи жителей до 2млн. и более. С увеличением числа жителей K_{max}^h уменьшается, так как становится маловероятным совпадение пиков часовых расходов газа. При числе жителей менее тысячи стандарты дают формулу

$$Q_d^h = \sum_{i=1}^m K_{sim} q_{nom} n_i, \quad (2)$$

где K_{sim} – коэффициент одновременности;

q_{nom} – номинальный расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимаемый по паспортным данным или техническим характеристикам прибора;

n_i - число однотипных приборов или групп приборов;

m – число типов приборов или групп приборов.

Коэффициент K_{sim} определяется типом жилых домов (в городах, посёлках или в сельской местности), числом квартир (без учёта количества проживающих) и газовым оборудованием: газовые плиты и проточные или ёмкостные водонагреватели; для ёмкостных водонагревателей, котлов и отопительных печей рекомендуется принимать

коэффициент одновременности, равный высокой величине 0,85, которая не зависит от мощности прибора и сезона эксплуатации. В работе [4] отмечается, что главные недостатки этой формулы состоят в неучёте числа жителей и мощности установленных газовых приборов, обычно превышающей необходимую мощность; это завышает часовой расход газа и приводит к дополнительному расходу металла и стоимости строительства. В работе [5] показано, что формула (2) завышает часовой расход в 3,5 раз по сравнению с формулой (1) при использовании ёмкостного водонагревателя.

Работа [4] приводит формулу для расчёта часового расхода газа, предложенную МИСИ им. В.М. Куйбышева, использующую максимальный коэффициент часовой неравномерности потребления газа за год $K_{ч.г}^{макс}$, зависящий от использования газа на приготовление пищи или на приготовление пищи и горячей воды и учитывающий число квартир и количество проживающих в квартире, то есть использующий только число жильцов, в основном менее тысячи человек. В работе [5] показано, что формула МИСИ имеет преимущества по сравнению с формулой (2): часовой расход газа, рассчитанный по формуле (2), превышает расчёт по формуле МИСИ в 3,1 раз, при использовании газа для приготовления пищи и горячей воды и ёмкостного водонагревателя.

В статье используются данные в случае приготовления в квартирах пищи, пищи и горячей воды. Эти табличные данные обработаны с помощью корреляционно – регрессионного анализа. В результате получены значения коэффициента K_{max}^h при числе жителей, менее одной тыс. человек. Таким образом, установлена непрерывность определения часового расхода газа только по числу жителей как до одной тыс. человек, так и менее одной тысячи.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью статьи является разработка модели прогнозирования значений коэффициента часового максимума при числе жителей, менее тысячи человек. Задача состоит в получении зависимостей для упомянутого коэффициента.

Методом исследований является анализ литературных данных с последующим математическим способом получения зависимости для коэффициента часового максимума при числе жителей, менее тысячи человек.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Методом исследований является анализ литературных данных, проведение необходимых расчётов с последующим построением модели определения коэффициента часового максимума при числе жителей менее тысячи человек.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Формула МИСИ имеет вид

$$Q_d^h = \sum n_i K_{ч.г}^{макс} Q_{у кв} N_i / 8760, \quad (3)$$

где $Q_{у кв}$ – годовое потребление газа жильцами квартиры;

N_i – число квартир типа i ;

n – число типов квартир;

8760 – количество часов в году.

Газ в квартирах используется для приготовления 1) только пищи и 2) пищи и горячей воды. В первом случае горячая вода может готовиться с помощью электрических бойлеров. Нормы расхода теплоты на 1 чел. в год соответствуют наличию в квартире в первом случае только тазовой плиты, а во втором случае – газовой плиты и централизованного горячего водоснабжения или плиты и газового водонагревателя.

Для отдельного случая формула (3) принимает вид

$$Q_d^h = K_{ч.г}^{макс} Q_{у кв} N / 8760. \quad (4)$$

Сопоставление формул (1) и (4) показывает, что коэффициент часового максимума связан с максимальным коэффициентом часовой неравномерности соотношением

$$K_{max}^h = K_{ч.г}^{макс} / 8760. \quad (5)$$

Из формулы (4) следует, что произведение $Q_{у кв}$ N определяет годовое потребление газа жильцами всех квартир. Однако увеличение числа квартир N при постоянном $Q_{у кв}$ N приводит к увеличению коэффициента $K_{ч.г}^{макс}$ на 10 -30%, иногда на 50%. Поэтому при дальнейшем анализе используются данные, соответствующие наибольшему значению N , при котором коэффициент $K_{ч.г}^{макс}$ максимальный. Из формулы (5) следует, что при росте коэффициента $K_{ч.г}^{макс}$ значения K_{max}^h возрастает, то есть при анализе несколько завышается часовой расход газа.

Рассмотрим вопрос, как соответствуют при числе жителей, превышающем тысячу человек, значения коэффициента часового максимума по стандарту и значения, полученные по формуле (5). Используем данные по $K_{ч.г}^{макс}$ в единственном ряду N

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЧАСОВОГО МАКСИМУМА ПРИ ЧИСЛЕ ЖИТЕЛЕЙ МЕНЕЕ ТЫСЯЧИ ЧЕЛОВЕК

=400 для числа жителей, более тысячи человек
(табл.1).

Таблица 1. Сравнение коэффициентов

Table 1. Comparison of coefficients

Вид использования газа	Число жителей, чел.	1200	1600	2000	2400
для приготовления пищи	$1/(K_{max}^h)_{табл.}$	1706	1915	2051	2133
	$1/(K_{max}^h)_{станд.}$	1825	1900	2000	2020
	$(K_{max}^h)_{станд.} / (K_{max}^h)_{табл.}$	-6,5%	0,8%	2,6%	5,6%
для приготовления пищи и горячей воды	$1/(K_{max}^h)_{табл.}$	1794	1996	2107	2207
	$1/(K_{max}^h)_{станд.}$	1825	1900	2000	2020
	$(K_{max}^h)_{станд.} / (K_{max}^h)_{табл.}$	-2,7%	5%	5,3%	9,3%

Таблица 2. Рассчитанные значения коэффициента часового максимума K_{max}^h

Table 2. Calculated values of the hourly maximum coefficient K_{max}^h

S, чел.	2	10	30	80	100	200	300
приготовление пищи	1/236	1/543	1/750	1/940	1/980	1/1270	1/1440
приготовление пищи и горячей воды	1/146	1/428	1/620	1/790	1/830	1/1120	1/1300
S, чел.	400	500	600	700	800	900	1000
приготовление пищи	1/1570	1/1660	1/1740	1/1800	1/1860	1/1900	1/1950
приготовление пищи и горячей воды	1/1400	1/1500	1/1590	1/1650	1/1700	1/1760	1/1800

Данные табл.1 показывают, что использование значений коэффициента $K_{ч.г}^{макс}$ при наибольшем значении числа квартир для определения K_{max}^h даёт среднюю погрешность в первом случае менее 1%, а во втором случае 4,5%. Это может являться подтверждением правильности выбора наибольших значений коэффициента $K_{ч.г}^{макс}$.

По табличным данным и формуле (5) вычислены значения K_{max}^h , которые с помощью корреляционно – регрессионного анализа обобщены при индексах корреляции 0,950 соотношениями:

1) Использование газа для приготовления пищи (S – число жителей, чел.)

при S = 2- 100 чел. $1/ K_{max}^h = 190 \ln S + 105;$
(6)

при S = 100 – 1000 чел. $1/ K_{max}^h = 420 \ln S - 952.$ (7)

2) Использование газа для приготовления пищи и горячей воды

при S = 2 – 100 чел. $1/ K_{max}^h = 175 \ln S + 25;$
(8)

при S = 100 – 1000 чел. $1/ K_{max}^h = 420 \ln S - 1102.$
(9)

С помощью формул (6) - (9) рассчитаны и представлены в традиционном виде в табл.2 значения коэффициента часового максимума.

Из табл. 2 следует, что при приготовлении пищи и горячей воды коэффициент часового максимума возрастает на 8 – 62% по сравнению со

значением при приготовлении только пищи. Увеличение происходит по мере уменьшения числа жильцов, так при S = 2 чел. увеличение достигает 62%.

ВЫВОДЫ

1. Коэффициент часового максимума определяет максимальный часовой расход газа, необходимый для проведения гидравлического расчёта газовой системы. Стандарт установил его зависимость числа потребителей газа (без отопления) в диапазоне от одной тысячи жителей до 2млн. и более.

2. При числе потребителей менее одной тысячи человек в стандарте приведена формула для расчёта часового расхода газа, которая определяется типом жилых домов (в городах, посёлках или в сельской местности), числом квартир (без учёта количества проживающих) и газовым оборудованием: газовые плиты и проточные или ёмкостные водонагреватели, котлы и отопительные печи. Главные недостатки этой формулы состоят в неучёте числа жителей и мощности установленных газовых приборов, обычно превышающей необходимую мощность; это значительно завышает часовой расход газа и приводит к дополнительному расходу металла и стоимости строительства. При

этом происходит нарушение непрерывности: до одной тысячи жителей главный фактор – число жителей, использующих газ, менее одной тысячи – газовое оборудование.

3. Формула для расчёта часового расхода газа, предложенная МИСИ, использует только число жильцов, в основном менее тысячи человек. Формула даёт хорошие результаты. Использование формулы позволит повысить точность расчёта расхода газа.

4. С использованием формулы МИСИ проведены соответствующие расчёты и получены соотношения для вычисления коэффициента часового максимума в диапазоне менее тысячи потребителей газа. Этим установлена непрерывность определения часового расхода газа только по числу жителей как до одной тыс. человек, так и менее одной тысячи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 42 – 101 – 2003. Общие требования по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. - М., 2003.

2. СНиП 2.04.08 – 87. Газоснабжение / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1991. – 72с.

3. ДБН В.2.5 – 20 – 2001. Газоснабжение / ГСНУ. – К., 2001. – 287с.

4. Ионин А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. - М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.

5. Боровский Б.И. Определение часового расхода газа для хозяйственно – бытовых нужд в отдельных домах при численности населения менее тысячи человек. / Б.И. Боровский, Г.Н. Баранова. // Сб. Строительство и техногенная безопасность, 2013. - №46. - С.100 – 104.

REFERENCES

1. SP 42 – 101 – 2003. General requirements for the design and construction of gas distribution systems of metal and polyethylene pipes. - M., 2003.

2. SNiP 2.04.08 - 87. Gas supply / Gosstroy of the USSR. - Moscow: АПП ЦИТП, 1991. - 72с.

3. DBN B.2.5 - 20 - 2001. Gas supply / GSNU. - K., 2001. - 287с.

4. Ionin AA Gas supply / A.A. Ionin. - Moscow: Stroizdat, 1989. - 439 p.

5. Borovsky B.I. Determination of the hourly consumption of gas for household needs in individual houses with a population of less than a thousand people. / B.I. Borovsky, G.N. Baranova. // Sat. Building and technogenic security, 2013. - №46. - P.100 - 104.

THE DETERMINATION OF THE VALUES OF THE COEFFICIENT HOUR MAXIMUM WHEN THE NUMBER OF INHABITANTS OF LESS THAN A THOUSAND PEOPLE

Borovskiy B.I, Dikhtyar T.V.

Summary. The values of the coefficient of the maximum time required to determine the time of gas flow, which is used in the hydraulic calculation of gas networks. Data values of this coefficient are given in the standard, starting with one thousand inhabitants up to 2 million. and more. If the number of inhabitants of less than a thousand standard gives the formula associated with equipment and not dependent on the number of inhabitants. In the logic definition of the time flow gas is a theoretical discontinuity: up to one thousand inhabitants, the main factor is the number of residents using gas, less than one thousand gas equipment. Experience shows that in the second case overstated the time consumption of gas and there is a wastage of metal and cost of construction. However, there is information that allows communication ratio time the maximum number of people, less than a thousand people. This issue is discussed in this article.

Key words. Annual consumption of gas, time the gas flow rate ratio of the maximum time, the maximum coefficient of hour non-uniformity, the coefficient of simultaneity, nominal gas consumption by the device.

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМУ КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ КРЫМА

Муровская А.С.

*Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
murovskay@mail.ru*

Аннотация. В работе проанализированы существующие традиционные системы электрогенерации и перспективы внедрения новых схемных решений в систему комбинированного электроснабжения жилых объектов путем включения энергообъектов на базе возобновляемых источников энергии в комбинированную систему электроснабжения, позволяющих перераспределять электроэнергию между потребителями или накапливать ее в системе в период минимального потребления. На основе предложенного схемного решения проведен расчет комбинированной системы электроснабжения единичного модуля «Эко-деревни» с целью замещения части нагрузки традиционных генерирующих установок и снижения антропогенного воздействия на окружающую среду путем уменьшения выбросов загрязняющих веществ.

Ключевые слова: схемные решения, электроснабжение, комбинированные системы электроснабжения, возобновляемые источники энергии, жилые объекты, Крым

ВВЕДЕНИЕ

С фактическим присоединением Крымского полуострова к Российской Федерации снизилась надежность систем электроснабжения Крыма. В энергосекторе полуострова появились новые задачи по снижению энергетической зависимости от Украины.

В 2015 году со стороны Украины была введена «энергоблокада» Крыма. Для решения этой проблемы, с 2015 по 2018 году строятся, и планируется ввод в эксплуатацию двух электростанций суммарной мощностью 940 МВт, газопровод и энергомот с материковой части РФ [1].

Запуск первого этапа энергомота в объеме 200 МВт был выполнен 2 декабря 2015 года, второго этапа на 200 МВт – 15 декабря 2015 года, что позволило поставлять в Крым около 400 МВт мощности, уже к маю 2016 года произвели ввод еще двух этапов энергомота, что в сумме составило 800 МВт и обеспечило подключение энергетической системы Крыма к Единой Энергетической Системе Российской Федерации.

На начало 2017 года генерация электроэнергии Крымского региона за счет собственных станций составила порядка 160 МВт, что обеспечивало только 21% от необходимого объема [2].

Недостаток собственной генерации на объектах традиционной энергетики и перебои в электроснабжении с материка, а также низкое качество передаваемой электроэнергии по морально устаревшим сетям полуострова, приводят к падению напряжения ниже допустимого уровня в сетях бытовых потребителей, что особенно ощутимо в зимнее время года.

С целью обеспечения жилых объектов полуострова бесперебойным электроснабжением актуальными является внедрение ресурсосберегающих технологий по экономии традиционных энергоносителей и внедрению комбинированных энергосистем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Электроснабжение жилых объектов в настоящее время реализуется в основном от традиционных тепловых электростанций (ТЭС) или тепловых электроцентралей (ТЭЦ), работающих по принципу конденсационных электростанций (КЭС), где при сжигании различных органических видов топлив выделяется тепловая энергия, поступающая на турбину, затем с помощью генератора вырабатывается электрическая энергия. Отработанный пар после турбины подается в системы горячего водоснабжения и теплоснабжения потребителей [3].

На рис. 1 представлена блок-схема типовой ТЭЦ. Так как отработанный пар проходит стадию повторного использования, то КПД такой станции составляет 60-70%.

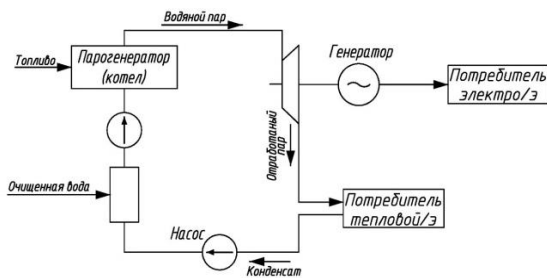


Рис. 1. Блок-схема типовой теплоэлектроцентрали

Fig. 1. Block diagram of a typical combined heat and power plant

С целью повышения КПД данных станций в условиях Крымского региона целесообразно применять комбинированную работу ТЭЦ и возобновляемых источников энергии. Применение солнечных коллекторов (СК) преобразующих энергию солнечного излучения или использование теплового насоса (ТН), работающего за счет энергии недр Земли, дает возможность осуществить водоподогрев воды перед входом в парогенератор в системе ТЭЦ, что повлечет за собой увеличение выработки электрической энергии для нужд потребителей.

На рис. 2 и рис. 3 представлены блок-схемы комбинированной ТЭЦ с использованием СК и ТН соответственно [4].

Не смотря на значительные преимущества данных схем, такие как: повышение КПД, постоянная выработка электроэнергии, остаются все же и недостатки, а именно – вредные выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду при сжигании органических видов топлив, а также постоянные затраты на закупку и транспортировку топлива.

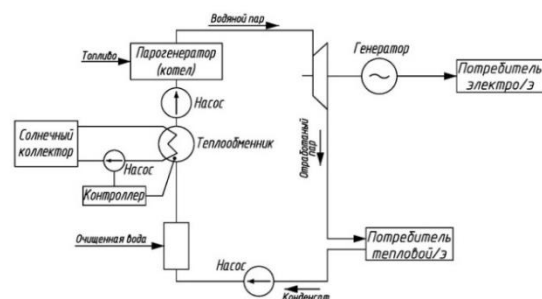


Рис. 2. Блок-схема комбинированной ТЭЦ с использованием СК

Rice. 2. Block diagram of combined heat and power plant using SC

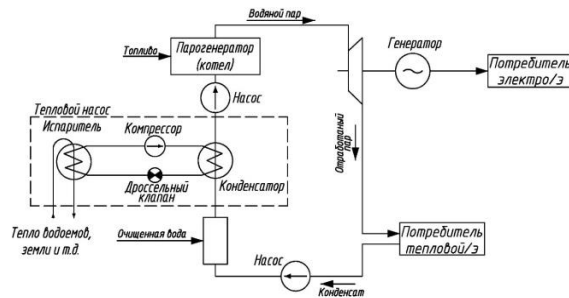


Рис. 3. Блок-схема комбинированной ТЭЦ с использованием ТН

Fig. 3. Block diagram of combined heat and power plant using TN

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью работы является определение возможного замещения традиционных способов выработки электроэнергии и передачи потребителям на нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Крымский регион обладает значительным ветровым потенциалом, следовательно, для обеспечения электроснабжения потребителей возможно применение ветроэлектроустановок (ВЭУ) преобразующих кинетическую энергию ветрового потока в электрическую энергию (рис. 4) [4].

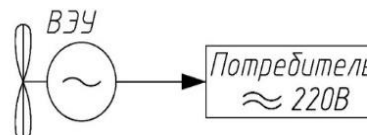


Рис. 4. Блок-схема электроснабжения объекта: ВЭУ – Потребитель

Fig. 4. Block diagram of the facility power supply: wind turbine-Consumer

Преимуществами данной системы является следующее:

- при выработке электроэнергии отсутствуют выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду;

- при передаче электроэнергии потребителю потери в линиях электропередач (ЛЭП) минимальны, так как ВЭУ небольшой мощности может располагаться вблизи объекта;

- небольшая занимаемая площадь.

К недостаткам данной системы относится:

- при отсутствии минимальной скорости ветра, требуемой для запуска ВЭУ, выработка электроэнергии прекращается.

С целью усовершенствования первого варианта подключения ВЭУ – Потребитель предлагается применение солнечных фотобатарей (ФБ) в качестве дополнительного источника энергии (рис. 5) [4].

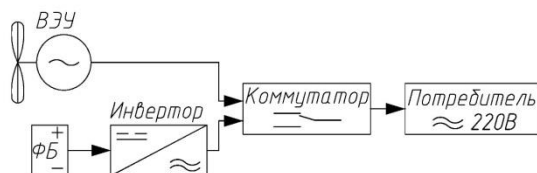


Рис. 5. Блок-схема электроснабжения объекта: ВЭУ+ФБ – Потребитель

Rice. 5. Power supply block diagram of the facility: wind turbine+FB-Consumer

Данная схема также имеет ряд преимуществ и недостатков. Преимущества заключаются в следующем:

- за счет комбинирования систем генерации, достигается большая стабильность в системе электроснабжения (при отсутствии ветра выработка возможна за счет солнечной энергии и наоборот).

Недостатками данной схемы подключения являются:

- занимает большую площадь;
- при отсутствии ветра, прекращается выработка на ВЭУ и в ночное время суток прекращается выработка на ФБ.

В качестве обоснования перспективы внедрения систем комбинированного энергоснабжения жилых объектов с применением новых схемных решений на базе возобновляемых источников энергии был выбран Ленинский район, село Калиновка.

Основанием для данного выбора послужило близкое расположение к приморской зоне, что предполагает развитие курортной отрасли, широко развитое земледелие, в прямой близости располагаются поля с плодородными землями, а также наличие свободных площадей, на которых возможно размещение ветровых и солнечных электростанций при отсутствии достаточного количества традиционных энергоснабжающих объектов.

В географическом положении с. Калиновка находится в северо-западной части Керченского

полуострова, по правому берегу маловодной балки Семь Колодезей (рис. 6). Высота центра села над уровнем моря составляет 8 м. Площадь села составляет 321 га, население – 2400 человек [5].

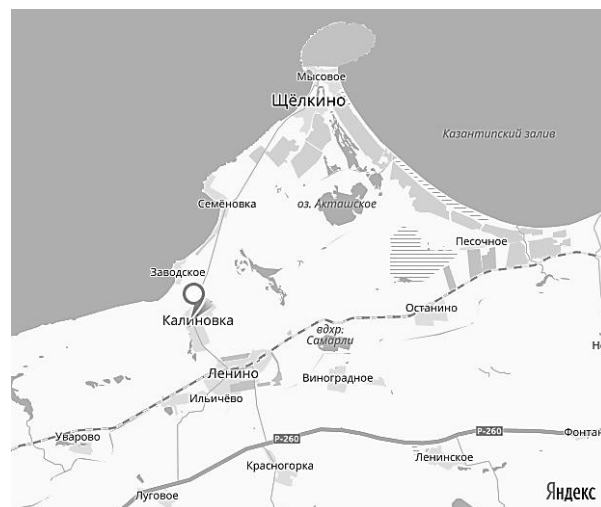


Рис. 6. Ситуационный план с. Калиновка

Fig. 6. Site plan Kalinovka village

Исходя из полученных климатических характеристик метеостанции в районе с. Мысовое за период с 2006 по 2014 год средняя скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли составила 5,32 м/с, максимальная – 30 м/с. Средняя температура воздуха составила +13°C, минимальная – (-)7,5°C, максимальная +35,7°C. Средняя интенсивность солнечной инсоляции в районе села Калиновка в январе составляет 40,3 кВт/м², в июле – 198,1 кВт/м² [6, 7].

Учитывая климатические характеристики данного района, можно сделать вывод, что территория предполагаемого размещения системы комбинированного энергоснабжения жилых объектов с применением новых схемных решений на базе возобновляемых источников энергии обладает высоким потенциалом для развития энергостанций работающих на базе ВИЭ и является перспективным направлением.

Для реализации проекта комбинированного энергоснабжения на базе ВИЭ рассмотрим вариант проектирования «Эко-деревни». При проектировании новой улицы, нам понадобится обеспечить всех потребителей электрической энергией. Стандартная схема включает в себя: строительство новой линии электропередач напряжением 10 кВ, установку трансформаторной подстанции, строительство ЛЭП напряжением 0,4 кВ для каждого потребителя. Однако данные мероприятия повлекут за собой большие

финансовые вложения, и по итогам строительства качество получаемой электроэнергии будет низким, из-за присутствия в ЛЭП потерь напряжения, так как в передаче электрической энергии участвует много оборудования, которое может выйти из строя, что уменьшает надежность системы.

Следовательно, для повышения надежности обеспечения потребителей новой улицы «Эко-деревни» электроэнергией в условиях климатического и географического размещения объекта целесообразно применение ВЭС.

Для расчета объема вырабатываемой электроэнергии на ВЭС возможно использование лицензионных программных комплексов [8, 9]. В основе расчета лежит рельефная карта рассматриваемой территории, которая создается и подгружается в программный комплекс в местной системе координат и является начальной точкой в исходных данных. Так же в исходных данных необходимо указать тип ВЭУ, ее основные параметры (кривая мощности и т.д.), место установки в местной системе координат. Указать координаты установки метеостанции, с последующей загрузкой метеоданных за период не менее трех лет. На рис. 7 представлен вариант рельефной карты с примером расстановки ВЭУ программным комплексом.

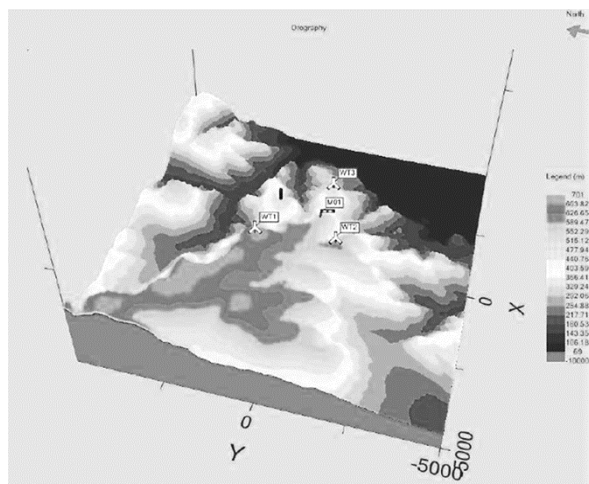


Рис. 7. Рельефная карта с примером расстановки ВЭУ из программного комплекса

Fig. 7. Relief map with an example of the placement of wind turbines from the software complex

На первом этапе расчета производится моделирование и анализ трехмерной карты, что позволит определить сложность рельефа, проанализировать направление ветровых потоков с учетом рельефа местности (рис. 8).

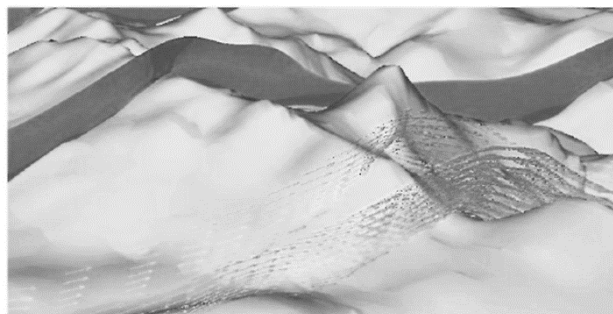


Рис. 8. Ветровой поток с учетом особенности рельефа местности

Fig. 8. Wind flow taking into account the terrain features

На втором этапе производится расчет прогнозируемой выработки с учетом загруженных метеоданных (рис. 9).

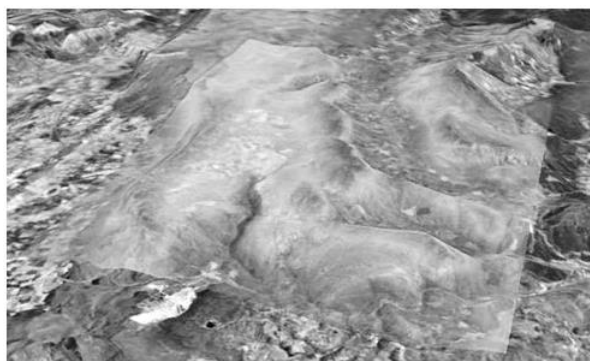


Рис. 9. Полученная карта выработки электроэнергии

Fig. 9. Received power generation card

Третий этап основывается на загруженных параметрах для выбранного типа ВЭУ с учетом расстановки на рассматриваемой территории. На основании полученного результата можно сделать вывод о правильности выбора мест установки ВЭУ.

Рассмотрим вариант энергоснабжения «Эко-деревни» по модульному принципу. Для расчета возьмем модуль из четырех жилых домов и определим необходимое количество ресурсов для их полного энергоснабжения. Площадь одного дома 72 м², количество проживающих – 3 человека.

Каждый жилой дом имеет ряд электроприборов, общая потребляемая мощность которых определяется исходя из единичной мощности электроприбора и коэффициента спроса (одновременности). Так же для определения общего потребления электроэнергии необходимо знать время работы каждого прибора в течение месяца. Исходя из проведенных расчетов для рассматриваемого типового дома с целью обеспечения электроснабжения необходима

энергоустановка с объемом вырабатываемой электроэнергии не менее 1035,6 кВт·ч.

Зная, что ограждающие конструкции рассматриваемого типового дома имеют тепловые потери 0,07 кВт·ч/м² для обеспечения отопления и горячего водоснабжения необходим источник тепловой энергии с мощностью не менее 531,21 кВт/день.

На рис. 10 представлена блок-схема комбинированного электроснабжения, с компенсацией перебоев в электросистеме, методом аккумулирования в дневное время суток энергии с ФБ на АКБ. В ночное время и в период отсутствия ветра, запасенная на АКБ электроэнергия подается через контроллер, инвертор и коммутатор – потребителю [10].

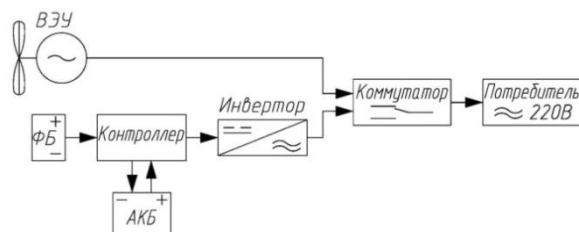


Рис. 10. Блок-схема комбинированного электроснабжения: ВЭУ+ФБ+АКБ – Потребитель

Fig. 10. Block diagram of combined power supply: wind power+FB+battery-Consumer

В случае, когда приобретение АКБ и их установка не целесообразна, по причине наличия в прямой близости существующих линий электропередач, применима блок-схема, представленная на рис. 11.

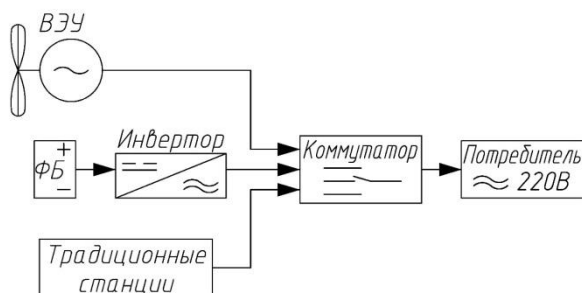


Рис. 11. Блок-схема комбинированного электроснабжения: ВЭУ+ФБ и традиционные генерирующие станции – Потребитель

Fig. 11. Block diagram of combined power supply: wind turbines+FB and traditional generating stations-Consumer

Рассмотренная блок-схема обеспечивает стабильное электроснабжение потребителя от ВЭУ и ФБ, а в часы пиковой нагрузки или в период отсутствия благоприятных погодных условий, использует электроэнергию, передаваемую от традиционных станций (ТЭС, ГЭС и т.д.) по линиям электропередач [11].

На примере разработанных блок-схем произведем расчет комбинированных систем электроснабжения «Эко-деревни» по модульному типу.

Исходные данные для расчета:

- энергопотребление одного модуля в месяц составляет – 1035,6 кВт·ч;

- предварительно принимаем ФБ Helios House HH-POLI240W в количестве – 24 шт.

- количество параллельно соединенных ФБ принимаем равным 6.

Рассчитываем рабочие напряжение стабилизационного блока и инвертора по формулам (1, 2):

$$U_{СБФБ} = N_{ФБ} \cdot U_{ФБ} \quad (1)$$

$$U_{СБАКБ} = N_{АКБ} \cdot U_{АКБ} \quad (2)$$

Получаем $U_{СБФБ}=180$ В и $U_{СБАКБ} = 180$ В. Принимаем выходное напряжение СТ $U_{СТ2} = 175$ В. Разность $U_{СТФБ \text{ и АКБ}} - U_{СТ2}$ составляет 5 В при работе от СЭС и от АКБ, что соответствует благоприятному режиму работы IGBT – модуля серии U с параметрами: $U=250-1200$ В, $I=50-400$ А в составе блока СТ.

ФБ в составе СЭС должны обеспечивать энергопотребление бытовых приемников здания. Расчетная мощность этой группы приемников составляет 5,76 кВт.

Ток СЭС определяем по формуле (3):

$$I_{СЭС} = P / U_{ФБ} \quad (3)$$

После расчета получаем значение $I_{СЭС} = 32$ А. Определяем количество параллельно соединенных ФБ по формуле (4):

$$N_{ПФБ} = I_{СЭС} / I_{ФБ} \quad (4)$$

В итоге получаем, что для электроснабжения одного модуля «Эко-деревни» требуется 96 ФБ.

IGBT – модуль в составе стабилизационного блока работает на активной характеристике, а в составе инвертора IGBT – модуль работает с постоянной частотой в режиме насыщения и отсечки.

Аккумуляторные батареи должны обеспечивать энергопотребление бытовых

приемников здания в течение двух суток. Расчетная мощность одного модуля «Эко-деревни» составляет 5,76 кВт. Необходимая мощность АКБ рассчитывается с учетом КПД инвертора и значения глубины разряда выбранного типа аккумулятора.

Необходимая мощность на входе инвертора (И) с учетом КПД определяется на основании потребной выходной мощности 5,76 кВт по формуле (5) и составляет 7,2 кВт:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{вых.}} / \eta_{\text{инв}} \quad (5)$$

В качестве инвертора применяем трехфазный мостовой инвертор на полностью управляемых элементах GBTI – модулях.

Фазное напряжение на вторичной обмотке ТР $U_{\text{ф2}}$, включенного в СЭС, составляет 230 В. Коэффициент трансформации k для ТР целесообразно выбирать в пределах 5-10. Из этого соотношения следует, что входное напряжение АКБ $U_{\text{АКБ}}$ постоянного тока должно составлять не менее 54 В при $k = 10$ и не менее 108 В при $k = 5$.

Учитывая, что напряжение одного элемента АКБ $U_{\text{АКБ}} = 12$ В, целесообразно принять в АКБ пятнадцать последовательно включенных элементов. Величина $U_{\text{АКБ}}$ до СТ равна $U_{\text{АКБ}} = 180$ В. В сети СЭС $U_{\text{ф2}}$ составляет 230 В, коэффициент k для ТР равен 3,1.

Необходимый для обеспечения энергопотребления бытовых приемников ток определяем по формуле (6) составляет 40 А:

$$I = P_{\text{АКБ}} / U_{\text{АКБ}} \quad (6)$$

Необходимую величину заряда аккумуляторов определяем по формуле (7) и принимаем равным 1920 А·ч:

$$q_{\text{АКБ}} = n \cdot I \quad (7)$$

Необходимо также учесть то, что разряд аккумуляторной батареи не должен превышать 80%, поэтому необходимо задать значение глубины разряда батареи β , учитывающий данный фактор.

Также на параметры АКБ влияет температура окружающей среды. При понижении температуры емкость батареи снижается. Поэтому введем коэффициент α , учитывающий уменьшение емкости при понижении температуры окружающей среды. При средней температуре внутри помещения, где установлены аккумуляторы, равной 10°C, коэффициент $\alpha = 0,95$.

Определим реальную необходимую емкость АКБ по формуле (8):

$$q_{\text{реал}} = q_{\text{АКБ}} / \beta \cdot \alpha \quad (8)$$

Расчетная величина составляет $q_{\text{реал}} = 2526$ А·ч. Выбираем свинцово-кислотные тяговые АКБ серии 6EPzS 930 S [12].

Определяем количество АКБ. Для достижения необходимого напряжения $U_{\text{АКБ}} = 180$ В, принимаем пятнадцать последовательно включенных элементов, следовательно, $N_{\text{посл}} = 15$ шт. Для достижения необходимого тока секции необходимо соединить параллельно в три ряда, $N_{\text{парал.}} = 3$.

Таким образом, получили три ряда соединенных параллельно из 15 батарей, соединенных последовательно.

Общее количество АКБ в схеме принимаем равным 45 шт.

Рассмотрим электроснабжение за счет ВЭУ «Vestas V19» [13]. На основании основных технических характеристик выбранной ВЭУ, метеоданных [6] и средних показателе скорости ветра выполним расчет выработки одной ВЭУ, с последующим определением необходимого количества ВЭУ. На первоначальном этапе произведем пересчет скорости ветра с флюгерной высоты 10 м, полученной с метеостанции, на высоту установки ветроколеса выбранной ВЭУ – 23,4 м. Далее определим объем выработанной электроэнергии одной ВЭУ по месяцам в течение года и на основании полученных результатов определим необходимой количество ВЭУ, выбрав за основу месяц июнь, как менее ветреный, с минимальным потенциалом вырабатываемой электроэнергии:

$$N_{\text{ВЭУ}} = P_{\text{дом}} / P_{\text{ВЭУ}} = 5 \text{ шт.}$$

В целях совершенствования экономических методов управления природопользованием Правительства Российской Федерации для обоснования целесообразности замены традиционной теплогенерирующей установки, работающей на органическом виде топливе, на комбинированную энергосистему для обеспечения ГВС и отопления «Эко-деревни» с применением ВЭУ с АКБ и ФБ был произведен расчет платы за негативное воздействие на окружающую среду для полного объема валовых выбросов по всему перечню загрязняющих веществ предполагаемого объекта строительства с утвержденными ставками платы на 2018 год.

Нормативы платы устанавливаются согласно постановлению от 13 сентября 2016 г № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» по каждому ингредиенту

загрязняющего вещества с учетом степени опасности его для окружающей природной среды.

Исходя из проведенных расчетов, плата за загрязнение атмосферного воздуха в период эксплуатации традиционной теплогенерирующей установки на 2018 год составит 26058,43 руб./год.

Плата за загрязнение атмосферного воздуха при строительстве комбинированной энергосистемы для обеспечения ГВС и отопления «Эко-деревни» с применением ВЭУ с АКБ и ФБ на 2018 год составит 7,17 руб./год.

Плата за загрязнение атмосферного воздуха в период эксплуатации комбинированной энергосистемы для обеспечения ГВС и отопления «Эко-деревни» с применением ВЭУ с АКБ и ФБ не начисляется, так как выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух не производится.

Для подтверждения рентабельности установки комбинированной системы электроснабжения на базе ВИЭ необходимо определить срок окупаемости системы. В табл. 1 приведена стоимость выбранного оборудования системы электроснабжения одного модуля «Эко-деревни».

Таблица 1. Стоимость оборудования системы электроснабжения одного модуля «Эко-деревни»

Table 1. Cost of equipment for power supply system of one module «Eco-villages»

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Ветроэлектроустановка	5	2831929	14159645
Фотобатареи	96	21300	2044800
Аккумуляторные батареи	45	35446	1595070
Инвертор	1	243605	243605
Монтаж и пуско-наладка системы	-	5412936	5412936
Итого:			23456056

Количество выработанной электроэнергии определено на основании проведенных расчетов и для рассматриваемого модуля «Эко-деревни» составит $W = 35050 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$. Тариф на электроэнергию по состоянию на 2018 год равен $c = 3,13 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$.

Определим текущую годовую чистую прибыль по формуле (9):

$$\Pi_{\text{pt}} = W \cdot c = 109707 \text{ руб.} \quad (9)$$

Рассчитаем рентабельность инвестиций по формуле (10):

$$R_i = (\Pi_{\text{pt}} + A_{\text{pt}})/K = 0,12 \quad (10)$$

Определим срок окупаемости комбинированной системы электроснабжения по формуле (11):

$$T_{\text{ок}} = 1/R_i = 8,3 \text{ года} \quad (11)$$

Срок окупаемость комбинированной системы электроснабжения с применением ВЭУ с АКБ и ФБ на 2018 год составит 8,3 года.

ВЫВОДЫ

1. В работе проведен анализ применения различных комбинированных схемных решений по производству электроэнергии на действующих и перспективных генерирующих объектах и обоснована целесообразность замены традиционных энергоресурсов на системы комбинированного энергоснабжения на базе ВИЭ с целью замещения части нагрузки традиционных генерирующих установок и снижения антропогенного воздействия на окружающую среду путем уменьшения выбросов загрязняющих веществ.

2. Проведен энергорасчет с подбором основного оборудования для выбранного объекта – одного модуля «Эко деревни» с учетом географических и климатических характеристик местности.

3. Проведено эколого-экономическое обоснование применения комбинированных систем для энергоснабжения жилых объектов за счет ВИЭ, а также рассчитан срок окупаемости предлагаемой системы, что позволяет определить целесообразность и рентабельность их строительства, а также оценить экономию традиционных энергоресурсов и как следствие снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление правительства РФ «О внесении изменения в Правила предоставления субсидии из федерального бюджета в виде имущественного взноса Российской Федерации в Государственную корпорацию по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологической промышленной продукции «Ростех» на строительство и модернизацию объектов по производству электрической, тепловой энергии на территории отдельных регионов Российской Федерации по федеральной целевой программе «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополь до 2020 года» в рамках деятельности «Реализации функциональных федеральных органов государственной власти» №1044 от 31.08.2017 г. / Правительство РФ. Москва, 2017. – 2 с.

2. Выездное заседание Правительственной комиссии по обеспечению безопасности электроснабжения по вопросу подготовки субъектов электроэнергетики Южного федерального округа к

работе в осенне-зимний период. г. Астрахань – 8.09.2017.

3. Матвеев А.С. Тепловые и атомные электрические станции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 5 с.

4. Муровская А.С. 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.

5. Электронный ресурс. Режим доступа: // <https://kladr-rf.ru/91/007/000/031/>.

6. Данные с метеопоста в селе Мысовое, за период с 01.01.2006 г. по 31.12.2014 г. // Электронный ресурс. Режим доступа: // <https://rp5.ru/>.

7. Электронный ресурс. Режим доступа: // <https://eocweb.larc.nasa.gov/>.

8. Лицензионный программный комплекс WAsP // www.wasp.dk.

9. Лицензионный программный комплекс Meteodyn WT // <https://meteodyn.com/en/>.

10. Муровская А.С. Проблемы подключения ветровых и солнечных электростанций в общую энергосистему Республики Крым [Текст] / С.П. Муровский, Л.Д. Сокут, А.С. Муровская // Сборник научных статей «Актуальные проблемы общества в современном научном пространстве». Выпуск №29. В 2 ч. Ч.2 – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 28-31.

11. Муровская А.С. Перспективы развития систем электроснабжения за счет подключения ветровых и солнечных электростанций с накопителями энергии в общую энергосистему. /Л.Д. Сокут, А.С. Муровская // Строительство и техногенная безопасность. - 2017. - № 59. - С. 113-121.

12. Министерство топлива и энергетики РФ «Инструкция по проектированию городских и поселковых электрических сетей» от 29.06.99 г. – 31 с.

13. Постановление правительства РФ от 13 сентября 2016 г № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» / Правительство РФ. Москва, 2016. – 27 с.

REFERENCES

1. Resolution of the Government of the Russian Federation "On Amendments to the Rules for the Grant of a Subsidy from the Federal Budget in the Form of a Property Contribution of the Russian Federation to the State Corporation for the Promotion of the Development, Production and Export of High-Tech

Industrial Products Rostek for the Construction and Modernization of Electricity, territories of individual regions of the Russian Federation under the federal special-purpose program "Social and economic development of the Republic of Crimea and the city of Seva Poplar 2020 "within the framework of" the functionality of the federal bodies of state power »№1044 from 31.08.2017, the / the Government. Moscow, 2017. - 2 p.

2. Offsite meeting of the Government Commission for Ensuring the Security of Electric Power Supply on the Preparation of the Subjects of the Electric Power Industry of the Southern Federal District for Work in the Autumn-Winter Period. Astrakhan - September 8, 2017.

3. Matveev A.S. Thermal and nuclear power plants. - Tomsk: TPU Publishing House, 2009. - 5 p.

4. Murovskaya A.S. Possibilities of increasing the efficiency of solar power stations in a unified electrical network due to the use of energy storage units [Text] / LD Sokut, A.S. Murovskaya, A.N. Kurzo // Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference "Introduction of the results of innovative developments: problems and prospects" (Perm, 08.02.2017). - In 2 hours Part 1 / Ufa: Omega Saints, 2017. - P.70-73.

5. Electronic resource. Access mode: // <https://kladr-rf.ru/91/007/000/031/>.

6. Data from the meteorological station in the village of Mysovoye, for the period from 01.01.2006 to 31.12.2014. // Electronic resource. Access mode: // <https://rp5.ru/>.

7. The electronic resource. Access mode: // <https://eocweb.larc.nasa.gov/>.

8. WASP licensed software package // www.wasp.dk.

9. The licensed program complex Meteodyn WT // <https://meteodyn.com/en/>.

10. Murovskaya A.S. Problems of connecting wind and solar power stations to the general energy system of the Republic of Crimea [Text] / S.P. Murovsky, L.D. Sokut, A.S. Murovskaya // Collection of scientific articles "Actual problems of society in modern scientific space". Issue number 29. At 2 pm Part 2 - Ufa: AETERNA, 2017. - P. 28-31.

11. Murovskaya A.S. Prospects for the development of power supply systems through the connection of wind and solar power stations with energy storage in the common energy system. /L.D. Sokut, A.S. Murovskaya // Building and technogenic security. - 2017. - No. 59. - P. 113-121.

12. Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation "Instruction for the design of urban and settlement electric grids" from 29.06.99 - 31 p.

13. Resolution of the Government of the Russian Federation of September 13, 2016 No. 913 "On rates of payment for negative environmental impact and additional coefficients" / Government of the Russian Federation. Moscow, 2016. - 27 pp.

THE INTRODUCTION OF NEW CIRCUIT DESIGN SYSTEM OF COMBINED POWER SUPPLY
OF RESIDENTIAL AREAS OF CRIMEA

Murovskaya A.S.

Summary. The paper analyzes the existing traditional power generation systems and prospects for the introduction of new circuit solutions in the system of combined power supply of residential facilities by including in the combined power supply system of power facilities based on renewable energy sources, allowing to redistribute electricity between consumers or accumulate it in the system during the period of minimum consumption. On the basis of the proposed scheme solution, the calculation of the combined power supply system of a single module "Eco-village" was carried out in order to replace part of the load of traditional generating plants and reduce the anthropogenic impact on the environment by reducing emissions of pollutants.

Key words: circuits, power, combo power system, renewable energy, residential, Crimea.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Пашенцева Л.В., Пашенцев А.И.

Академия строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493 г. Симферополь, ул. Киевская 181
e-mail: Aleksandr_Pashentsev@mail.ru, lar111isa@mail.ru

Аннотация. Проведена систематизация факторов, влияющих на надежность эксплуатации тепловых сетей, представленная в виде блок-схемы, включающей в себя семь групп факторов – институциональные, политические, правовые, природные, технические, экономические, экологические с обоснованием составляющих и раскрытием их сущностной характеристики. Проведено позиционирование групп факторов по степени значимости с использованием экспертного метода и расчетом коэффициента конкордации, позволившее выделить три группы превалирующих факторов: технические, экономические, правовые.

Ключевые слова: тепловая сеть, фактор, подпитка, коэффициент конкордации, ранг значимости.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство российских ученых рассматривают надежность городских систем теплоснабжения с позиции совокупности процессов, обеспечивающих ее работоспособность в долгосрочном периоде времени. Сегодня любой процесс или явление, происходящее во внешней среде, рассматривается и анализируется через призму факторов. Их влияние способно изменить ситуацию в зависимости от действия преобладающего вектора. Фактор характеризуется как движущая сила, причина некоторого процесса, обуславливающая его характер. При этом факторы являются первопричиной, влияющей на развитие и протекание процесса. Так Е. Б. Алаев отмечает «факторы – это цепочка причинно-следственных связей, которые регулируют количественные и качественные характеристики процесса, они всегда выступают как движущая сила процесса» [1, с. 23]. Авторы разделяют данную точку зрения, так как наличие информации о составе и характере факторов позволяет реально оценить складывающуюся ситуацию в функционировании городской системы теплоснабжения (ГСТ), установить причины возникающих аварийных ситуаций. При этом целесообразность выделения и анализа факторов обусловлена необходимостью обеспечения безопасности жизнедеятельности человека непосредственно в жилых микрорайонах, где даже незначительная техническая ошибка может привести к катастрофическим последствиям.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является систематизация факторов, влияющих на надежность эксплуатации тепловых сетей, предусматривающая представление блок-схемы в виде групп факторов и их составляющих. Для достижения поставленной цели решены задачи: проведен анализ существующих точек зрения относительно проблемы исследования, проведена группировка факторов, влияющих на надежность систем теплоснабжения, проведено позиционирование факторов с использованием экспертного метода, что позволило определить факторы, оказывающие превалирующее влияние на надежность данных систем.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Изучение специальной научной литературы, посвященной исследованию особенностей эксплуатации городских тепловых сетей, позволило установить две определяющие точки зрения относительно проведения систематизации факторов, оказывающих влияние на эксплуатацию данных технических систем. Одна группа ученых А.О. Барабанов [], Е.Н. Гришина [], П.Н. Дубов [] считают необходимым проводить факторизацию, исходя из возможности выделения небольшой группы факторов, оказывающей непосредственное влияние на надежность и работоспособность тепловых сетей. Они считают, что выделение факторов должно осуществляться на основе принципа «доминантного

воздействия», подразумевающего выделение одной –двух групп с входящими в них составляющими, которые оказывают прямое влияние на функционирование тепловой сети. Это означает, что ученые выделяют две группы факторов, в частности технические и эксплуатационные. При этом первые связаны с строительством тепловой сети, а вторые с ее использованием в процессе подачи теплоносителя потребителям. Так А.О. Барабанов отмечает, что «группировка факторов должна осуществляться исключительно по объекту приложения и включать в себя только основные составляющие, отражающие характер воздействия на надежность и работоспособность тепловой сети» [2, с. 89]. Авторы разделяют данную точку зрения в части объекта приложения,

так как в зависимости от физических данных составляющие групп факторов могут существенно меняться. При этом выявить определяющее действие некоторого фактора можно только на основе детального анализа последствий их воздействия. Ученый Е.Н. Гришина считает, что «факторизация носит косвенный характер и преследует цель обозначить возможные проблемные направления, которые могут привести к возникновению негативных эффектов, что может привести к снижению показателей надежности тепловой сети» [3, с. 88]. Данная точка зрения на взгляд авторов имеет дискуссионный характер, так как выявление проблемных направлений в эксплуатации тепловой сети должно быть в обязательном порядке изучено и в случае установления возможного накопления негативных эффектов, которые могут привести к аварийным ситуациям на ней необходимо провести мероприятия по их нейтрализации. Ученый П.Н. Дубов отстаивает точку зрения согласно, которой выделение факторов должно осуществляться по специальным признакам, характеризующим возможность дальнейшей эксплуатации в периоде времени или указывающие на необходимость проведения ремонтных работ. В частности он отмечает, что «выделение признаков проводится на основе учета специфики функционирования тепловой сети и представляет собой показатели ее работы. В этом случае целесообразно выделить две-три группы факторов, среди которых могут проектные, строительные и эксплуатационные» [4, с. 21]. Здесь представлено иное мнение о группировке факторов, оказывающих влияние на надежность тепловой сети, группы выделены на основе фазы их создания и работы, что указывает на необходимость разработки факторов с учетом

особенностей проектирования, строительства и эксплуатации данных технических систем. Такой подход позволит провести четкое разграничение факторов и создает условия для детального изучения факторов на каждой из них с целью выявления взаимовлияния. Другая группа ученых О.П. Жигунов [5], Л.Е. Котов [6] считают, что систематизация факторов должна быть представлена в расширенном виде и включать полный перечень групповых факторов, позволяющих составить объективное представление о возможных направлениях, по которым в перспективе вероятно накопление негативных эффектов. Так О.П. Жигунов отмечает, что «целесообразно представление прямых и косвенных групповых факторов, влияющих на надежность тепловой сети с представлением полного перечня составляющих» [5, с. 26]. Представление детального перечня групповых факторов позволит оценить каждую его составляющую и выйти на окончательное заключение о степени возможного влияния некоторой группы факторов на работу тепловой сети. Аналогичной точки зрения придерживается Л.Е. Котов, отмечающий «группировка факторов должна включать разные направления, что позволит получить объективное представление их влияния на тепловую сеть на разных этапах ее эксплуатации- приработки, нормальной эксплуатации, накопления усталостных характеристик. Как видим в настоящее время имеются разные точки зрения относительно группировки факторов, влияющих на работу тепловой сети, что позволяет авторам представить собственную точку зрения по данному вопросу.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ научной литературы, посвященной проблеме обеспечения надежности работы ГСТ, позволил авторам конкретизировать факторы с представлением групп. Каждая из них включает в себя определенное количество составляющих, которые в совокупности объясняют назначение и характер влияния факторов данной группы. При этом авторы считают, что количественный состав групп факторов и составляющих может быть дополнен в зависимости от реально складывающейся технико-эколого-экономической ситуации в крымском регионе. Изучение факторов целесообразно проводить путем их систематизации с выделением групп и раскрытием сущности составляющих (рис. 1.1), что способствует выявлению характера их деструктивного влияния на надежность ГСТ.

Политические факторы свидетельствуют о достижении в обществе взаимопонимания между всеми политическими силами, что позитивно отражается на развитии как страны в целом, так и каждого ее региона в частности. Нежелание найти компромиссное решение некоторой проблемы пагубно отражается на всех сферах жизнедеятельности общества, включая производственное. Эти факторы отражают наличие или отсутствие доброй воли политических сил в решении значимых задач, от которых зависит устойчивое развитие страны, регионов. Поэтому в группу политические факторы входят: геополитическое и внутригосударственное политическое противостояние, политика приватизации и экспроприации, национальная и конфессиональная толерантность. Как известно, топливно-энергетический комплекс является основой экономического развития любой страны, в том числе Российской Федерации. Рост численности населения и удовлетворения потребностей человека в продукции предприятий вынуждает индустриальные страны мира проводить агрессивную политику, направленную на обеспечение контроля за «энергосодержащими» территориями. Столкновение интересов приводит к возникновению региональных конфликтов, где движущей силой является стремление третьих сил зафиксировать контроль над этими территориями. Это приводит к нарушению схемы работы топливно-энергетического комплекса региона, сокращению производственной мощности предприятий, систем тепло-, водо-, газо-, энергоснабжения, а также сокращению площади, занятой административными и жилыми микрорайонами. Перебои в поставках газа, мазута приводят к временной остановке работы источников тепловой энергии, что способствует нарушению гидравлического режима городских систем теплоснабжения. Последующие пуски проводятся без точного учета объема теплоносителя, оставшегося в ГСТ до момента остановки системы, так как проблематично провести соответствующие расчеты из-за утечек теплоносителя при наличии многочисленных свищей на теплопроводах. Кроме того, послеаварийный запуск городских систем теплоснабжения и обеспечение циркуляции теплоносителя может привести к порывам трубопроводов местного значения вследствие гидравлического удара на тепловых сетях. Не менее пагубно влияет на надежность функционирования ГСТ приватизация и экспроприация некоторых объектов теплоэнергетики, что выражается не столько в смене юридического лица, сколько в

изменении правил эксплуатации, где определяющим является максимизация прибыли при минимизации затрат на обеспечение их работоспособности. В этом случае усилия направляются непосредственно на разработку и внедрение механизма обогащения собственников при полном отсутствии программ реконструкции и текущих ремонтов, заменяя их исключительно некачественным техническим обслуживанием

Правовые факторы свидетельствуют об объективности, полноте и мобильности нормативно-правовых актов, направленных на нейтрализацию неправомерных действий субъектов хозяйствования, эксплуатирующих городские системы теплоснабжения. Однако в реальности действующее законодательство не является серьезным барьером на пути нарушения правил эксплуатации ГСТ. Этому способствуют: высокая инерционность действующего законодательства, значительный временный лаг применения регуляторных законодательных актов, субъективизм разделения полномочий и ответственности центральных и региональных органов охраны природы, минимизация ответственности за нарушение норм законодательства.

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация, когда в виду малых размеров штрафных санкций за загрязнение, негативное влияние на компоненты окружающей среды, предприятиям теплоэнергетики выгоднее оплатить штрафы, чем внедрять природоохранные программы. Это способствовало формированию в обществе менталитета вседозволенности в отношении с природой, приведшее к активизации природных явлений и процессов. Нормализовать экологическую ситуацию можно применением нормативно-правовых актов, которые являются обязательными к выполнению для всех субъектов хозяйствования, участвующих в производстве тепловой энергии «Крымтеплокоммунэнерго», «Крымэнерго», «Вода Крыма», «Газовые сети». Однако согласование отдельных статей законодательства занимает значительный период времени, что приводит к потере его значимости, отказу от рассмотрения ввиду значительного количества поправок. Нужно обратить внимание на некоторую инерционность статей экологического законодательства, что характеризуется возможной двойной трактовкой, что существенно затрудняет установление степени вины и ответственности за его нарушение, не позволяет устранить негативные последствия в требуемом объеме и времени. Кроме того, существующая система разграничения

полномочий между органами исполнительной власти в вопросах охраны окружающей среды в Республике Крым требует совершенствования в институциональном формате. Это объясняется наличием дублирования функциональных обязанностей, что приводит не только к затягиванию

принятия решений в виду прохождения необходимых согласований, но и возникновению противоречивых взглядов на решение одной и той же проблемы, что подчеркивает целесообразность качественного наполнения экологического законодательства, а не количественного.



Рис. 1.1. Факторы, влияющие на надежность городских систем теплоснабжения

Fig. 1.1. Factors affecting the reliability of urban heating systems

Технические факторы свидетельствуют о режиме эксплуатации, уровне оперативной готовности сложных технических систем водо-, газо-, тепло-, энергоснабжения выполнять своевременно и безаварийно запланированные функции в приготовлении и подаче тепловой энергии. Они характеризуют их способность сохранять во времени в условиях предельных значений всех параметров возможность выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, технического обслуживания, ремонтов. В эту группу факторов целесообразно отнести: своевременность и объективность оценки состояния инженерных коммуникаций, уровень логистики, нарушение периодичности проведения осмотров, технического обслуживания, планово-предупредительных работ, низкий уровень автоматизации, нарушение правил эксплуатации и строительных норм, нарушение условий объектности. Сложившаяся ситуация в эксплуатации инженерных коммуникаций является следствием того, что их обслуживание сводится исключительно к аварийному ремонту. Существующая документация размещения инженерных сетей не имеет компьютерного исполнения и отсутствует единая электронная база дислокации. В большинстве предприятий «Крымэнерго», «Вода Крыма», «Крымтеплокоммунэнерго», «Газовые сети» не применяются современное оборудование технического обслуживания, т.е. исследование технических систем водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения с помощью «Гидролюкс-2000», телекамер, закрытое восстановление труб и кабелей, промывка труб под высоким давлением. Обращает на себя внимание практическое отсутствие внедрения новых методов логистики, что привело к снижению эффективности работы службы снабжения. Применяется, как правило, «система центрального склада», что приводит к нарушению сроков снабжения материалами при проведении ремонтных работ. В результате этого за период 2000-2016 гг. наблюдается нарушение норматива продолжительности устранения аварийных ситуаций, соответственно «Вода Крыма» 42 случая на 100 наблюдаемых (рост 8,31%), «Крымэнерго» 29 (рост 6,81%), «Крымтеплокоммунэнерго» 54 (рост 14,81%), «Газовые сети» 22 (рост 3,89%). Это привело к увеличению времени устранения аварийной ситуации на системах водоснабжения на 0,92 часа (2000 г. 1,43 час., в 2016 г. 2,35 час.), энергоснабжения на 0,82 часа (2000г. 1,01 час., 2016г. 1,83 час.), теплоснабжения 1,02 час. (2000г. 1,81 час., 2016г. 2,83 час.), газоснабжения на 0,76 час., (2000 г. 0,92час. 2016г. 1,68 час.) [8, с. 98]. Немаловажное значение имеет своевременность обнаружения очагов кризисного развития гидрогеологических процессов, способных вызвать

активизацию оползней грунта и повредить или разрушить системы теплоснабжения. Развитию данного процесса способствуют утечки из систем водоснабжения, теплоснабжения и водоотведения, вызванные нарушением строительных норм проведения планово-предупредительных ремонтов, технического обслуживания инженерных коммуникаций, формализацией проведения осмотров. Практически вся прибрежная акватория Крыма от Симеиза – Ялты до Судака относится к оползнеопасным, а территория от Севастополя до Белогорска, включая Бахчисарайский район и Симферополь, являются карстоопасными. Поэтому увеличение антропогенной нагрузки на данные территории в совокупности с чрезмерным увлажнением почвогрунтов может вызвать проявление опасных геологических процессов. В этой связи актуальным является проведение автоматизации управления распределением теплоносителя с внедрением алгоритма раннего обнаружения повреждений и дефектов на магистральных, распределительных теплопроводах и объектах ГСТ. Это потребует проведения комплекса мероприятий, начальным этапом которого является определение реальной оценки надежности систем теплоснабжения.

Экологические факторы свидетельствуют о нарушении гетерогенности городских ландшафтов, ландшафтно-экологического единства, вызванного аварийностью ГСТ, что способствует развитию процессов их деградации и депрессии, характеризующееся снижением потенциала средообразующей функции экологических систем. В этой связи к данной группе факторов целесообразно отнести: низкую водообеспеченность районов крымского полуострова, изменение механического состава почвогрунтов, активизацию оползневых процессов, эрозии, дефляции, слитизации, дегумификации почвы, рост антропогенного давления, «выклинивание» грунтовых вод и местное подтопление жилых кварталов, формирование местных очагов развития заболеваний.

Крымский полуостров относится к зоне недостаточного увлажнения, что вызывает проблемы развития его районов. Ввод в эксплуатацию систем водоснабжения (Фронтальная, Ленинская, Старо-Крымская, Черноморская, Раздольненская, Сокольская), Северо-Крымского канала способствовало повышению водообеспеченности крымского полуострова и дифференциации водопотребления, включающее водоснабжение, орошение, комплексное использование, что в настоящее время требует существенной корректировки ввиду недостатка водных ресурсов. Кроме того, недостаток

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

финансовых ресурсов вызвало нарушение сроков проведения планово-предупредительных и текущих ремонтов, технического обслуживания, снижение оснащенности и повышение аварийности систем водоснабжения, что привело к росту подпитки городских систем теплоснабжения для обеспечения требуемого давления теплоносителя в сети (табл. 1.1). Из нее видно, что за период 2000-2016 гг. объем подпитки увеличился в среднем на 0,066 млн.м³ (34,192%). Особенно вызывает тревогу техническое состояние ГСТ центрального района (г. Симферополь) и южного регионов Крыма (гг. Алушта, Ялта), где объем подпитки соответственно увеличился на 0,0197 млн. м³ (40,87%), 0,0085 млн. м³ (34,97 %), 0,0101 млн. м³ (35,94%). Однако сохранение рабочих параметров городских систем теплоснабжения не может осуществляться за счет увеличения подпитки холодной водой ввиду ее дефицитности. Поэтому вопрос обеспечения

надежности работы ГСТ имеет важное народохозяйственное значение, так как этот объем воды целесообразно направить на решение проблем сельского хозяйства. Кроме того, увеличение объема подпиточной воды способствует росту утечек теплоносителя из ГСТ вследствие наличия свищей, образовавшихся в результате коррозионного процесса. Это способствует формированию и развитию процесса эрозии почвогрунтов, сопровождаемый вымыванием связующих элементов. В результате этого почвогрунты теряют свою связность, становятся рыхлыми и неспособными противостоять даже незначительному водному потоку, действующему в краткосрочном периоде времени, что приводит к формированию ядра оползня, под которым понимают массив грунта, потерявший внутренние структурные связи.

Таблица 1.1. Объем подпитки холодной водой городских систем теплоснабжения *

Table 1.1. The volume of cold water supply of urban heating systems

Городская система теплоснабжения	Объем подпитки, млн.м ³ 2000г.	Объем подпитки, млн.м ³ 2016г.	Изменение объема подпитки 2016г./2000 г.	
			млн.м ³	%
Армянск	0,0131	0,0168	+ 0,0037	+28,24
Алушта	0,0243	0,0328	+0,0085	+ 34,97
Джанкой	0,0164	0,0219	+0,0055	+ 33,53
Евпатория	0,0341	0,0449	+0,108	+31,67
Керчь	0,0294	0,0371	+0,0077	+ 26,19
Симферополь	0,0482	0,0679	+0,0197	+ 40,87
Ялта	0,0281	0,0382	+0,0101	+ 35,94
Итого	0,193	0,259	+0,0660	+ 34,19

* Источник: составлено автором по статистическим данным

В этой связи показательными являются результаты исследования крымского ученого Р.И. Москвина, согласно которым водонасыщение почвогрунтов в зоне размещения ГСТ в южном регионе Крыма увеличилась в 2015 г. на 1,32% по сравнению с 2008 г. [7, с. 79]. Это свидетельствует о том, что увеличение подпитки ГСТ холодной водой оказывает негативное влияние на обеспечение экологической ситуации т.е., способствует

водонасыщению почвогрунтов, что способствует изменению их механического состава.

Природные факторы формируют климато-ландшафтные характеристики района расположения городских систем теплоснабжения, изучение которых позволяет осуществить выбор конкретного их вида, определить особенности работы во внешней среде. К ним целесообразно отнести : влажность

воздуха, температуру воздуха, солнечную радиацию, скорость ветра, корпускулярность воздушных масс, глубину промерзания грунта. Учет данных факторов позволит избежать ошибок при поддержании гидравлического режима эксплуатации ГСТ. Определяющим из них является корпускулярность воздушных масс, которая определяет возможность распространения и перемещения. Высокая плотность ($1,55-2,10 \text{ г/см}^3$) формирует низкую облачность, повышенную влажность, минимальную скорость перемещения воздушных масс, что способствует созданию эффекта водонасыщения, характерного для Крыма в осеннее-зимнее время года. В этом случае, трубопроводы воздушных тепловых сетей подвержены воздействию агрессивной насыщенной внешней среды длительный период времени, что приводит в намоканию изоляционного материала (минеральной ваты) и проявлению агрессивности к металлу труб сернистого SO_2 , серного окислов SO_3 , содержащихся в материале изоляции, что существенно ускоряет процесс коррозии. Известно, что влажная среда изоляционных материалов ускоряет коррозионный процесс теплопроводов в 1,25-1,55 раз относительно нормативного срока. Установлено, что в условиях субсредиземноморского климата (Алушта, Ялта), который характеризуется прохладной влажной зимой и жарким летом, процесс коррозии ускоряется в 1,30-1,40 раза, степного континентального климата (Симферополь, Керчь), для которого свойственно холодная влажная зима и сухое жаркое лето, процесс коррозии ускоряется в 1,45-1,55 раз. [7, с.69]. Кроме того, пагубное влияние оказывает на работу ГСТ скорость ветра. В осеннее-зимний период в южном, центральном районах Крыма наблюдаются порывистые и шквалистые ветра, которые в совокупности с низкими температурами атмосферного воздуха приводят к существенным потерям тепловой энергии при транспорте теплоносителя, что значительно снижает качественную составляющую надежности систем теплоснабжения. Как отмечает Р. И. Москвин «аномальная зима в крымском регионе в 2012 г. привела к росту тепловых потерь до рекордного уровня 45-60%, а в условиях не допоставки требуемого объема газа пришлось прилагать усилия для сохранения самих городских систем теплоснабжения от замерзания» [7, с. 92].

Экономические факторы характеризуют возможность развития городских систем теплоснабжения в условиях технической депрессивности, вызванной ростом антропогенного

давления на них и недостаточным финансированием мероприятий текущего и капитального характера. Это способствует накоплению негативных эффектов из-за проявления свойства аддитивности отрицательных воздействий. К этой группе факторов можно отнести: уровень экономической преступности, уровень развития инфраструктуры систем теплоснабжения, латентность экономики региона, зависимость от доступа к источникам сырьевых ресурсов, недостаток местной квалифицированной рабочей силы, низкий уровень инвестиционной привлекательности. Техническое состояние ГСТ Крыма за последние 20 лет существенно снизилось, если в 1991 г. коэффициент оперативной готовности составлял 0,842, то в 2015 г. 0,634, что объясняется исключительно экономическими проблемами, которые выразились в недостаточном финансировании их обслуживания. При этом в 2017 г. ввиду проведения реконструкции тепловых сетей за счет средств федерального центра удалось повысить данный коэффициент до 0,737. Однако, если в 1991-1999 гг. это было вызвано хроническими неплатежами населения и юридических лиц за потребленную тепловую энергию, то в 2000-2013 гг. возросшим уровнем экономической преступности в результате вывода денежных средств путем применения различных теневых схем. Поэтому совсем не случайно, что возникающие проблемы в эксплуатации систем теплоснабжения до последнего времени решались за счет применения не популярных мер: сокращение персонала, снижение часовых тарифных ставок, использование низкокачественных материалов для проведения ремонта по завышенным ценам, сокращение рабочего времени и размера оплаты труда. Результатом этого является незначительное техническое обновление систем теплоснабжения, физический износ которых оценивается 68-71%, что привело к невозможности эксплуатации с нормативными параметрами давления теплоносителя. Необходимо отметить, что за период времени 2009-2013 гг. показатель технического обновления ГСТ составляет 0,084-0,090, что в 5-6 раз уступает практически всем регионам РФ. Это негативно отразилось на инвестиционной привлекательности объектов теплоснабжения, так как их существующее техническое состояние требует проведения капитального ремонта в полном объеме. Использование квалифицированного персонала, обслуживающего ГСТ, повисит их работоспособность и безаварийность. Для этого должны быть созданы экономические стимулы для персонала, разработаны и реализованы программы по повышению квалификации работников. Только

такими мерами можно вернуть заинтересованность в результатах своего труда обслуживающего персонала. Сегодня в целом для предприятия «Крымтеплокоммунэнерго» характерна стабильная и устойчивая утечка кадров, которая увеличилась в 2017 г. по сравнению с 2009 г. на 9,71% и составляет 14,18%, что не способствует повышению уровня эксплуатации городских систем теплоснабжения.

Институциональные факторы характеризуют влияние сложившейся структуры управления в топливно-энергетическом комплексе Крыма на бесперебойность работы ГСТ. К ним можно отнести : государственное регулирование цен на топливо, регулирование права собственности, региональный протекционизм, минимизация деволуции общества, бюрократизм.

Адекватная ценовая политика на топливно-энергетические ресурсы, подразумевающая установление приоритета цены реализации тепловой энергии над ценами приобретения сырья, должна основываться на соблюдении прав потребителей. В этом случае ценовой разброс должен обеспечить теплогенерирующим предприятиям возможность достичь финансовой устойчивости, которая позволит своевременно провести техническое обслуживание и текущий ремонт ГСТ без привлечения заемных ресурсов и выполнять договорные обязательства по бесперебойной поставке теплоносителя. Однако для исключения перекосов в ценообразовании, что может выражаться в завышении тарифов на

реализацию тепловой энергии, нужно проводить регулирование цен, что осуществляется органами исполнительной власти с учетом складывающейся конъюнктуры на рынке топлива. Кроме того, совершенствование механизма тендера на проведение ремонтных работ, позволяет предприятиям привлекать специализированные субъекты хозяйствования. Это позволяет провести в сжатые сроки комплекс работ по обеспечению надежности ГСТ. При этом предприятиям «Крымтеплокоммунэнерго» целесообразно осуществлять свою деятельность в виде государственного предприятия, что позволяет ему закрепить определенные активы на безоплатной основе. Такой подход исключает возможность отчуждения имущественных объектов у них, так как государство выполняет функцию контроля за их деятельностью и выступает гарантом выполнения договора на поставки тепловой энергии потребителям независимо от формы собственности, направления деятельности, включая население жилых микрорайонов.

Таким образом, исследование факторов, влияющих на надежность городских систем теплоснабжения, свидетельствует об их реальном многообразии, взаимозависимости и взаимоучете для выявления причин и последствий аварийных ситуаций, что позволит установить группу доминирующих факторов, что можно осуществить применением экспертного метода(таблица 1.2).

Таблица 1.2. Экспертная оценка позиционирования факторов, влияющих на надежность городских систем теплоснабжения

Table 1.2. The expert assessment of the positioning of the factors affecting reliability of urban heat supply systems

№	Фактор	Значение параметра	Средняя экспертная оценка	Ранг значимости	Коэффициент конкордации		
1	Институциональные	0,10	0,806	3	0,82	0,79	0,81
2	Политические	0,15	0,746	5	0,74	0,73	0,77
3	Правовые	0,10	0,763	4	0,79	0,74	0,76
4	Природные	0,12	0,511	7	0,56	0,45	0,52
5	Технические	0,30	0,900	1	0,86	0,90	0,94
6	Экологические	0,05	0,707	6	0,73	0,71	0,68
7	Экономические	0,18	0,857	2	0,78	0,92	0,87

Согласно данным таблицы 1.2. технические, экономические и институциональные факторы оказывают преобладающее негативное влияние на надежность городских систем теплоснабжения, что подтверждает коэффициент конкордации, имеющих максимальные значения, изменяющийся в пределах 0,806-0,900.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведена систематизация факторов, влияющих на надежность систем теплоснабжения, представленная в виде блок-схемы с выделением семи групп и раскрытием сущностной характеристик их составляющих. Определены факторы, которые оказывают преобладающее влияние на надежность систем теплоснабжения, что подтверждает рассчитанный коэффициент конкордации, институциональные – 0,806; экономические – 0,857; технические – 0,900.

ВЫВОДЫ

1. Проведена систематизация факторов, влияющих на надежность функционирования городских систем теплоснабжения с выделением семи групп и составляющих, обоснование которых позволяет представить объективную характеристику накопления негативных эффектов, возникающих в процессе их эксплуатации.

2. Применение экспертного метода позволило провести позиционирование факторов, влияющих на надежность систем теплоснабжения по степени негативного влияния с определением уровня значимости, который характеризует его ранг значимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алаев Е. Б. Социально-экономическая география : понятийно-терминологический словарь / Е. Б. Алаев. – М. : «Мысль», 1983. – 350 с.
2. Барабанов А.О. Сложные технические системы энергетики / Яковлев С.И. – СПб: Свितязь, 2009. – 182 с.
3. Гришина Е.Н. . Особенности эксплуатации систем теплоснабжения / Юрьев О.Н. – Казань.: Итил, 2011. – 212 с.
4. Дубов П.Н. Исследование надежности функционирования городских систем теплоснабжения / Чанцев А.О. – Пермь.: Альфа, 2012. – 196 с.
5. Жигунов О.П. Надежность объектов теплогазоснабжения и вентиляции. – СПб: Свितязь, 2010. – 218 с.
6. Котов Л.Е. Устройство и эксплуатация тепловых систем / Терентьев А.П. – СПб.: Питер, 2014. – 312 с.
7. Москвин Р.И. Почвогрунты Крыма / Москвин Р.И. – Ялта: Метроном, 2013. – 234 с.
8. Щепкин П. Т. Техническое состояние инженерных коммуникаций Крыма / Щепкин П.Т. – Симферополь : Аида, 2012. – 193 с.

REFERENCES

1. Alaev EB Socio-economic geography: conceptual-terminological dictionary / EB Alaev. - M.: "Thought", 1983. - 350 p.
2. Barabanov A.O. Complex technical systems of power engineering / Yakovlev SI - St. Petersburg: Svityaz, 2009. - 182 p.
3. Grishina E.N. . Features of operation of heat supply systems / Yuriev ON - Kazan: Itil, 2011. - 212 p.
4. Dubov PN Research of reliability of functioning of city heat supply systems / Chantsev AO - Perm: Alpha, 2012. - 196 with.
5. Zhigunov OP Reliability of objects of heat and gas supply and ventilation. - St. Petersburg: Svityaz, 2010. - 218 p.
6. Kotov L.E. Design and operation of thermal systems / Terent'ev AP - St. Petersburg: Peter, 2014. - 312 p.
7. Moskvina R.I. Soils of the Crimea / Moskvina RI - Yalta: Metronome, 2013. - 234 with.
8. Schepkin P. T. Technical condition of engineering communications of Crimea / Schepkin P.T. .. - Simferopol: Aida, 2012. - 193 p.

SYSTEMATIZATION OF FACTORS INFLUENCING THE RELIABILITY OF OPERATION OF THERMAL NETWORKS

Pashentseva L.V. , Pashentsev A.I.

Summary The systematization of the factors influencing on dependability of operation of thermal networks, which is presented in block-scheme, is carried out. The block-scheme includes seven groups of factors - institutional, political, legal, natural, technical, economic, ecological with the justification of the components and the disclosure of their essential characteristics. The positioning of groups of factors on importance degree with use an expert method and calculation of coefficient of a concordance is carried out. It has allowed to allocate three groups of the prevailing factors: technical, economic, legal.

Key words: thermal network, factor, feed, concordance coefficient, importance rank.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЦЕПИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Сокут Л.Д., Муровский С.П., Акулиничев Н.М.,

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
shmisser@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты математического моделирования в пакете Matlab Simulink универсального полупроводникового преобразователя на IGBT-модулях, состоящего из трехфазного мостового управляемого выпрямителя, трехфазного мостового инвертора и фильтров в цепи постоянного и переменного тока; на модели проанализированы гармонические составляющие в цепях преобразования тока и напряжения и рассмотрены с помощью модели пути повышения качества электрической энергии при использовании полупроводникового преобразователя в цепях регулирования характеристик электрических машин.

Ключевые слова: моделирование, полупроводниковый преобразователь, гармонические составляющие тока и напряжения, электрические машины, электроснабжение

ВВЕДЕНИЕ

В системах электропривода и электроснабжения средней и большой мощности находят широкое применение универсальные полупроводниковые преобразователи (УПП) на IGBT-модулях [1, 2].

УПП эффективно применяются в таких устройствах с регулируемыми параметрами и режимами как:

-трехфазные электрические генераторы ветроэлектростанций (ВЭУ) в составе ветроэлектростанций (ВЭС) [3];

-преобразователи тока и напряжения фотоэлектрических батарей (ФБ) в цепях солнечных электростанций (СЭС) [4];

-устройства безщеточного возбуждения трехфазных синхронных генераторов энергоблоков традиционных электростанций – тепловых, атомных, гидроэлектростанций [5];

-трехфазные электрические двигатели переменного тока, синхронные и асинхронные, в электроприводе насосов, компрессоров, вентиляторов, тепловых насосов [6];

-заряд и разряд аккумуляторов в цепях накопителей энергии ВЭС и СЭС [7].

При всем разнообразии управления и регулирования УПП в перечисленных устройствах, общей задачей является повышение качества электрической энергии, в частности, снижение величины и состава гармонических составляющих тока и напряжения, наличие которых приводит к ухудшению характеристик электрических машин, сетей электроснабжения, повышению потерь энергии и снижению КПД.

Возможность снижения величины и состава гармонических составляющих тока и напряжения при использовании УПП состоит в применении фильтров в цепях постоянного и переменного тока, а также в выборе оптимального способа регулирования управляемого выпрямителя (УВ) и инвертора (И), входящих в УПП [1, 2].

Рассмотрение вариантов применения фильтров и алгоритмов регулирования УВ и И при работе УПП удобно выполнить на математической модели [8, 9].

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ СХЕМЫ

Для модели выбрана схема УПП, состоящая из управляемого мостового трехфазного выпрямителя и трехфазного мостового инвертора в цепи трехфазного асинхронного генератора (ЭГ) с фазным ротором ВЭУ (рис. 1) [10].

На рисунке 1 изображена схема включения статорной и роторной обмоток ЭГ и ПП. В составе ПП применяются полностью управляемые полупроводниковые элементы - IGBT-модули.

В выбранном алгоритме управления используется схема УВ в цепи роторной обмотки ЭГ с переменным углом регулирования α для поддержания постоянной величины выпрямленного напряжения на входе И. При таком алгоритме И

работает на частоте сети с практически постоянным углом регулирования β . На выходе И применяется согласующий ТР2.

Для УВ в схеме (рис. 1) соотношение между средним значением выходного напряжения постоянного тока U_B и действующим значением входного фазного напряжения роторной обмотки $U_{2\phi Si}$, определяется выражениями (1, 2):

$$U_B = 2,34 U_{2\phi Si} \cos \alpha - \Delta U_\gamma(I_B) - \Delta U_{IGBT}, \quad (1)$$

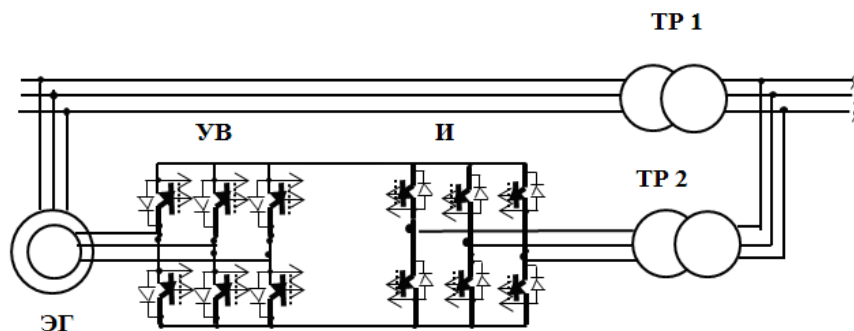


Рис. 1. Схема включения статорных и роторных обмоток трехфазного асинхронного генератора с фазным ротором и полупроводниковым преобразователем в цепи роторной обмотки ЭГ – трёхфазный асинхронный генератор с фазным ротором; УВ – управляемый выпрямитель; И – инвертор; ТР1 – трансформатор ВЭУ; ТР2 – согласующий трансформатор

Fig. 1. The scheme of inclusion of the stator and rotor windings of a three-phase asynchronous generator with a phase rotor and a semiconductor Converter in the rotor winding circuit EG-three-phase asynchronous generator with a phase rotor; UV-controlled rectifier; I-inverter; TP1 - transformer wind turbine; TP2-matching transformer

Для И соотношение между средним значением входного напряжения постоянного тока U_B и действующим значением выходного фазного напряжения $U_{I\phi}$ согласующего ТР равно:

$$U_B = 2,34 U_{2\phi Si} \cos \beta + \Delta U_\gamma(I_I) + \Delta U_{IGBT}, \quad (2)$$

где: α – угол включения IGBT-модулей УВ; β – угол включения IGBT-модулей И; γ – угол коммутации IGBT-модулей; I_B – среднее значение постоянного тока; ΔU_{IGBT} – падение напряжения на IGBT-модулях за счет процесса коммутации тока I_B .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО УСТРОЙСТВА

Методика анализа заключается в моделировании электрической цепи с УПП в пакете моделирования Matlab Simulink [8, 9].

На рисунке 2 изображена собранная модель электрической схемы УПП в цепи роторной обмотки трехфазного асинхронного ЭГ с фазным ротором.

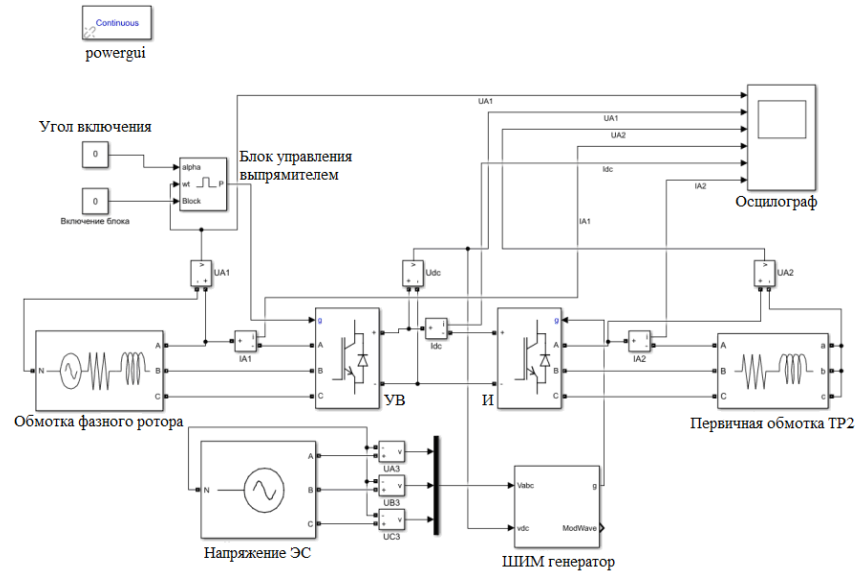


Рис. 2. Модель полупроводникового устройства в программной среде Matlab Simulink

Rice. 2. Model of semiconductor device in Matlab Simulink software environment

В данной модели блок Powergui необходим для работы компонентов Sim Power System, он задаёт начальные значения всех блоков и инициирует запуск моделирования. ШИМ – генератор управляет инвертором УПП, опираясь на напряжение сети ЭС.

Величина максимальных значений напряжения и частоты тока в цепи ротора ЭГ зависят от значения скольжения s_i и определяются выражениями (3, 4) [6]:

$$U_{2\phi i} = U_{2\phi 0} \cdot f_{2s_i}, \quad (3)$$

$$f_{2s_{\max}} = s_{\max} \cdot f_1. \quad (4)$$

где: $U_{2\phi 0}$ – фазное напряжение на обмотке неподвижного ротора ЭГ,

$U_{2\phi i}$ – фазное напряжение на обмотке ротора ЭГ при частоте f_{2s_i} ;

$s_{\max}$ – максимальное скольжение ЭГ;

f_1 – частота напряжения на обмотке статора ЭГ.

В модели принимаем несколько ступеней регулирования скольжения s_i – 0,2; 0,3 и 0,4 от максимальной частоты тока в обмотке неподвижного ротора – f_1 (принято $f_1 = 50$ Гц).

В табл. 1 представлены величины фазного напряжения $U_{2\phi i}$ на обмотке ротора ЭГ, частота тока роторной обмотки f_{2s_i} и углы включения выпрямителя α_i в зависимости от ступени регулирования скольжения s_i .

Таблица 1. Величины фазного напряжения $U_{2\phi i}$ на обмотке ротора ЭГ, частота тока роторной обмотки f_{2s_i} и углы включения выпрямителя α_i в зависимости от ступени регулирования скольжения s_i

Table 1. The values of the phase voltage $U_{2\phi i}$ on the rotor winding EG, the frequency of the rotor winding current f_{2s_i} and the angles of the rectifier AI depending on the stage of slip control s_i

Ступень	f_{2s_i} , Гц	$U_{2\phi i}$, В	$\cos \alpha_i$	α_i , град.
$0,2f_{2s_{\max}}$	10	897	0,846	32
$0,3f_{2s_{\max}}$	15	1345	0,564	55
$0,4f_{2s_{\max}}$	20	1794	0,423	65

На рис. 3, 4 и 5 представлены графики напряжения и силы тока на входе и выходе УВ и на выходе инвертора при углах α_i включения УВ 32, 55 и 65 градусов соответственно.

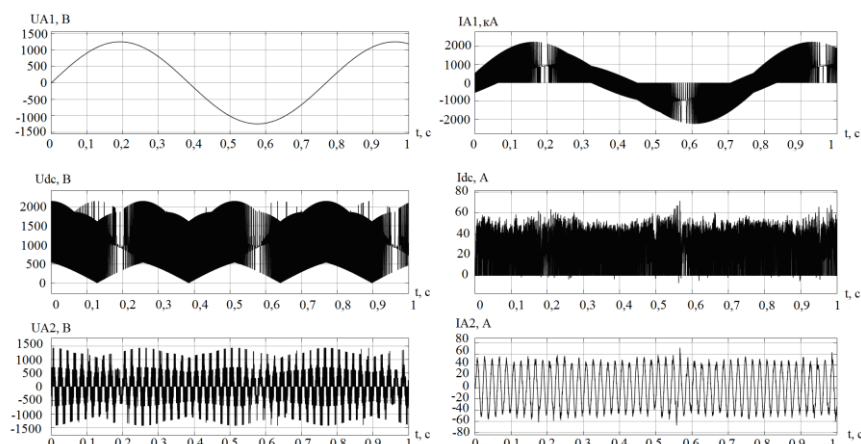


Рис. 3. Графики напряжения и тока при угле включения УВ $\alpha = 32^\circ$
Fig. 3. Graphs of voltage and current at the angle of inclusion of UV $\alpha = 32^\circ$

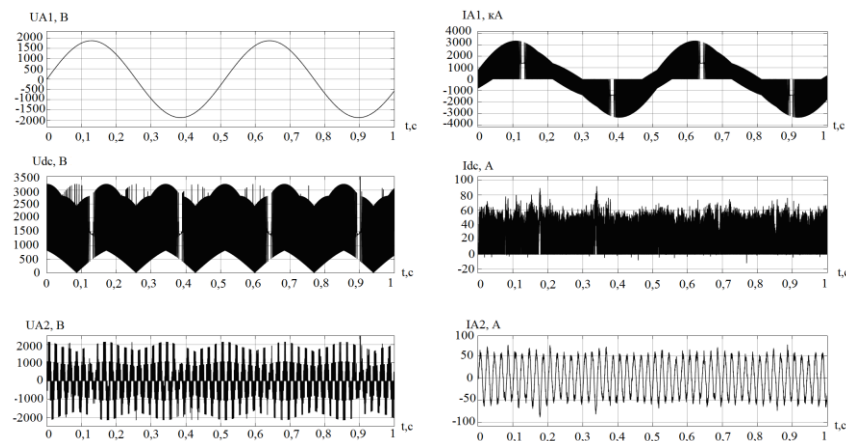


Рис. 4. Графики напряжения и тока при угле включения УВ $\alpha = 55^\circ$
Rice. 4. Graphs of voltage and current at the angle of inclusion of UV $\alpha = 55^\circ$

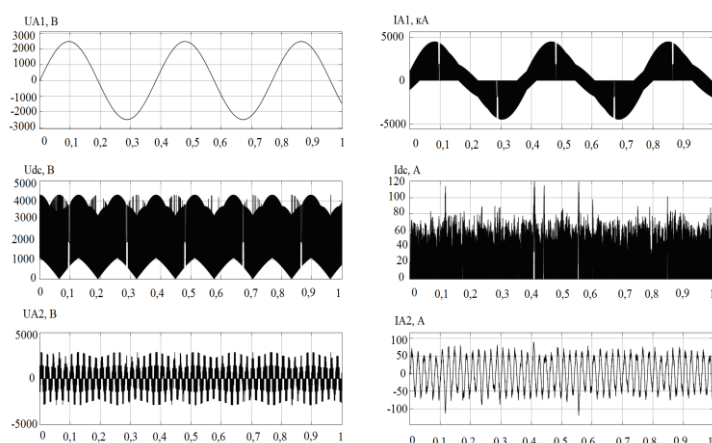


Рис. 5. Графики напряжения и тока при угле включения УВ $\alpha = 65^\circ$
Rice. 5. Graphs of voltage and current at the angle of inclusion of UV $\alpha = 65^\circ$

Расчёт гармонических составляющих произведён с помощью средств Matlab Simulink и блока Powergui. На рисунках 6, 7 и 8 представлены результаты расчёта для напряжений и токов на входе

и выходе УПП. Показаны номера гармонических составляющих до девятой включительно и их величина, в процентном соотношении, от основной частоты (50 Гц).

Samples per cycle = 1447				Samples per cycle = 1447			
DC component = 101.4				DC component = 8.348e+04			
Fundamental = 64.52 peak (45.62 rms)				Fundamental = 5.312e+04 peak (3.756e+04 rms)			
THD = 80.26%				THD = 928.91%			
0 Hz (DC):	157.21%	90.0°		0 Hz (DC):	157.15%	90.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	180.2°		50 Hz (Fnd):	100.00%	184.1°	
100 Hz (h2):	49.97%	180.3°		100 Hz (h2):	52.41%	185.4°	
150 Hz (h3):	33.31%	180.4°		150 Hz (h3):	30.67%	190.3°	
200 Hz (h4):	24.98%	180.5°		200 Hz (h4):	23.85%	197.1°	
250 Hz (h5):	19.99%	180.6°		250 Hz (h5):	22.16%	204.4°	
300 Hz (h6):	16.66%	180.8°		300 Hz (h6):	19.42%	198.3°	
350 Hz (h7):	14.28%	180.9°		350 Hz (h7):	17.08%	197.9°	
400 Hz (h8):	12.49%	181.0°		400 Hz (h8):	14.59%	212.6°	
450 Hz (h9):	11.10%	181.1°		450 Hz (h9):	16.63%	210.2°	
UA1				IA1			
Samples per cycle = 1447				Samples per cycle = 1447			
DC component = 2.184				DC component = 2.425			
Fundamental = 563 peak (398.1 rms)				Fundamental = 48.25 peak (34.12 rms)			
THD = 82.70%				THD = 18.48%			
0 Hz (DC):	0.39%	270.0°		0 Hz (DC):	5.03%	90.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	-9.5°		50 Hz (Fnd):	100.00%	-33.1°	
100 Hz (h2):	4.31%	-6.2°		100 Hz (h2):	8.41%	16.3°	
150 Hz (h3):	4.34%	123.1°		150 Hz (h3):	8.21%	41.5°	
200 Hz (h4):	6.88%	48.5°		200 Hz (h4):	7.40%	7.4°	
250 Hz (h5):	8.49%	-15.6°		250 Hz (h5):	4.47%	-26.3°	
300 Hz (h6):	3.95%	42.9°		300 Hz (h6):	4.21%	3.4°	
350 Hz (h7):	7.51%	205.4°		350 Hz (h7):	2.98%	58.6°	
400 Hz (h8):	1.88%	218.6°		400 Hz (h8):	2.35%	25.7°	
450 Hz (h9):	7.09%	48.2°		450 Hz (h9):	3.45%	-5.9°	
UA2				IA2			

Рис. 6. Результаты определения гармоник при угле включения УВ $\alpha = 32^\circ$

Fig. 6. Results of determination of harmonics at the angle of inclusion of UV $\alpha = 32^\circ$

Samples per cycle = 2764				Samples per cycle = 2764			
DC component = 227.6				DC component = 1.864e+05			
Fundamental = 144.4 peak (102.1 rms)				Fundamental = 1.208e+05 peak (8.541e+04 rms)			
THD = 80.20%				THD = 652.30%			
0 Hz (DC):	157.57%	90.0°		0 Hz (DC):	154.29%	90.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	180.3°		50 Hz (Fnd):	100.00%	181.1°	
100 Hz (h2):	49.94%	180.3°		100 Hz (h2):	52.88%	181.8°	
150 Hz (h3):	33.29%	180.3°		150 Hz (h3):	33.56%	188.2°	
200 Hz (h4):	24.96%	180.3°		200 Hz (h4):	28.28%	180.9°	
250 Hz (h5):	19.97%	180.4°		250 Hz (h5):	21.24%	178.4°	
300 Hz (h6):	16.64%	180.4°		300 Hz (h6):	18.66%	187.0°	
350 Hz (h7):	14.26%	180.5°		350 Hz (h7):	17.79%	179.0°	
400 Hz (h8):	12.48%	180.6°		400 Hz (h8):	11.52%	171.2°	
450 Hz (h9):	11.09%	180.6°		450 Hz (h9):	12.40%	187.9°	
UA1				IA1			
Samples per cycle = 2764				Samples per cycle = 2764			
DC component = 14.63				DC component = 4.072			
Fundamental = 657.7 peak (465.1 rms)				Fundamental = 56.22 peak (39.75 rms)			
THD = 113.31%				THD = 20.41%			
0 Hz (DC):	2.22%	90.0°		0 Hz (DC):	7.24%	90.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	-10.7°		50 Hz (Fnd):	100.00%	-35.3°	
100 Hz (h2):	8.88%	65.4°		100 Hz (h2):	13.71%	31.2°	
150 Hz (h3):	4.40%	126.6°		150 Hz (h3):	7.83%	39.1°	
200 Hz (h4):	2.11%	-83.6°		200 Hz (h4):	2.94%	26.8°	
250 Hz (h5):	4.99%	40.4°		250 Hz (h5):	4.86%	2.6°	
300 Hz (h6):	11.61%	245.9°		300 Hz (h6):	1.66%	126.6°	
350 Hz (h7):	12.72%	171.6°		350 Hz (h7):	4.56%	64.4°	
400 Hz (h8):	7.53%	86.1°		400 Hz (h8):	4.05%	11.4°	
450 Hz (h9):	12.65%	-23.2°		450 Hz (h9):	2.75%	-61.3°	
UA2				IA2			

Рис. 7. Результаты определения гармоник при угле включения УВ $\alpha = 55^\circ$

Fig. 7. Results of determination of harmonics at the angle of inclusion of UV $\alpha = 55^\circ$

Samples per cycle = 4738			Samples per cycle = 4738		
DC component = 403.1			DC component = 3.375e+05		
Fundamental = 255.1 peak (180.4 rms)			Fundamental = 2.115e+05 peak (1.495e+05)		
THD = 80.12%			THD = 529.34%		
0 Hz (DC):	158.02%	90.0°	0 Hz (DC):	159.62%	90.0°
50 Hz (Fnd):	100.00%	180.5°	50 Hz (Fnd):	100.00%	181.0°
100 Hz (h2):	49.90%	180.3°	100 Hz (h2):	49.71%	181.1°
150 Hz (h3):	33.25%	180.3°	150 Hz (h3):	33.45%	181.5°
200 Hz (h4):	24.94%	180.3°	200 Hz (h4):	27.20%	179.0°
250 Hz (h5):	19.95%	180.3°	250 Hz (h5):	19.85%	180.0°
300 Hz (h6):	16.62%	180.3°	300 Hz (h6):	17.96%	180.2°
350 Hz (h7):	14.25%	180.3°	350 Hz (h7):	12.46%	181.4°
400 Hz (h8):	12.47%	180.4°	400 Hz (h8):	14.37%	184.3°
450 Hz (h9):	11.08%	180.4°	450 Hz (h9):	10.24%	172.5°
UA1			IA1		
Samples per cycle = 4738			Samples per cycle = 4738		
DC component = 20.82			DC component = 5.494		
Fundamental = 682.8 peak (482.8 rms)			Fundamental = 58.72 peak (41.52 rms)		
THD = 135.14%			THD = 20.02%		
0 Hz (DC):	3.05%	90.0°	0 Hz (DC):	9.36%	90.0°
50 Hz (Fnd):	100.00%	-11.8°	50 Hz (Fnd):	100.00%	-36.1°
100 Hz (h2):	5.44%	0.7°	100 Hz (h2):	8.10%	11.8°
150 Hz (h3):	4.67%	199.4°	150 Hz (h3):	5.05%	62.9°
200 Hz (h4):	11.85%	125.6°	200 Hz (h4):	9.23%	42.8°
250 Hz (h5):	8.77%	95.7°	250 Hz (h5):	6.95%	21.8°
300 Hz (h6):	12.99%	213.3°	300 Hz (h6):	3.60%	92.4°
350 Hz (h7):	6.00%	-42.3°	350 Hz (h7):	1.86%	-24.5°
400 Hz (h8):	3.29%	19.1°	400 Hz (h8):	2.58%	-2.5°
450 Hz (h9):	21.21%	165.7°	450 Hz (h9):	5.64%	66.3°
UA2			IA2		

Рис. 8. Результаты определения гармоник при угле включения УВ $\alpha = 65^\circ$

Fig. 8. Results of determination of harmonics at the angle of inclusion of UV $\alpha = 65^\circ$

ВЫВОДЫ

По результатам моделирования процессов можно сделать следующие выводы:

1. На выходе УПП присутствует широкий спектр гармонических составляющих, для подавления которых необходимо применять активные или пассивные фильтры. Гармонические составляющие тока и напряжения возникают как в питающей сети на входе УПП, так на его выходе. Вторая и третья гармонические составляющие оказывают наибольший негативный эффект на синусоидальную форму тока питающей сети.

2. Возможности регулирования УВ и качество выпрямленного напряжения напрямую зависят от блока управления. При выборе блока управления необходимо учитывать диапазон изменения напряжения на входе УВ и соответственно диапазон изменения углов регулирования α_i для поддержания постоянной величины выпрямленного напряжения.

3. Так как с увеличением углов регулирования α_i УВ возрастает объем гармонических составляющих на входе и выходе УПП, выбор фильтров следует производить при максимальных значениях углов α_i .

4. В дальнейшем необходимо проанализировать с помощью модели влияние углов

регулирования И в случае изменения величины выпрямленного напряжения УВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онищенко Г.Б., Соснин О.М. Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: учебное пособие/М. – Инфра, 2018. – 122 с.
2. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника. В 2 томах. Издательство: М.: УМЦ ЖДТ, 2015. – 480+307с.
3. Акулиничев Н.М., Сокут Л.Д. Типы электрических генераторов и схемные решения ветроэлектростанций // «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017»: материалы научно-практической конференции с международным участием, Севастополь 11–17 сентября 2017 г. / Севастополь: СевГУ, 2017 – С. 40 - 47.
4. Бекиров Э.А., Сокут Л.Д. Основные этапы расчета параметров солнечной электростанции. ISJAEЕ Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2013. – № 17(39) – С. 29-35.
5. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила: – утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 19.06.03: – М.: ЭНАС, 2003. – 628 с.
6. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.
7. Сокут Л.Д. Перспективы развития систем электроснабжения за счет подключения ветровых и солнечных электростанций с накопителями энергии

в общую энергосистему. /Л.Д. Сокут, А.С. Муровская // Строительство и техногенная безопасность. - 2017. - № 59. - С. 113-121.

8. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб: КОРОНА Принт, 2001. – 320 с.

9. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. Sim Power Systems & Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с, ил.

10. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.

REFERENCES

1. Onishchenko GB, Sosnin OM Power electronics. Power semiconductor converters for electric drive and power supply: a manual / M. - Infra, 2018. - 122 p.

2. Burkov A.T. Electronics and converter technology. In 2 volumes. Publisher: M.: UMTS ZhDT, 2015. - 480 + 307s.

3. Akulinichev NM, Sokut L.D. Types of electric generators and circuit solutions for wind power plants // "Environmental, industrial and energy security - 2017": materials of the scientific and practical conference with international participation, Sevastopol September 11-17,

2017 / Sevastopol: SevGU, 2017 - P. 40 - 47.

4. Bekirov EA, Sokut L.D. The main stages of calculating the parameters of a solar power plant. ISJAE International Scientific Journal "Alternative Energy and Ecology", 2013. - No. 17 (39) - P. 29-35.

5. Technical operation of power plants and networks. Rules: - ut. Ministry of Energy Ros. Federation of 19.06.03: - Moscow: ENAS, 2003. - 628 p.

6. Woldek A.I. Electric cars. Textbook for high school students. tech. training. institutions. - 3rd ed., Pererab. - L.: Energia, 1978. - 832 p., Ill.

7. Sokut L.D. Prospects for the development of power supply systems through the connection of wind and solar power stations with energy storage in the common energy system. /L.D. Sokut, A.S. Murovskaya // Building and technogenic security. - 2017. - No. 59. - P. 113-121.

8. Herman-Galkin SG Computer simulation of semiconductor systems in MATLAB 6.0: Study Guide. - St. Petersburg: CROWN Print, 2001. - 320 p.

9. Chernykh I.V. Modeling of electrical devices in MATLAB. Sim Power Systems & Simulink. - Moscow: DMK Press, 2007. - 288 s, ill.

10. Inexhaustible energy. Кн.1. Wind power generators / В.С. Krivtsov, А.М. Oleinikov, А.И. Yakovlev.- Textbook .- Kharkov: National. aerospace. University of Kharkov. aviats. in-t, Sevastopol: Sevast. National Technical University, 2003.- 400 p.

MODELING UNIVERSAL SEMICONDUCTOR CONVERTER CIRCUIT OF THE ELECTRICAL MACHINERY MEDIUM AND HIGH POWER

Sokut L.D., Murovskiy S.P., Akulinichev N.M.

Summary. The paper presents the results of mathematical modeling in Matlab Simulink universal semiconductor Converter on IGBT-modules, consisting of a three-phase bridge controlled rectifier, three phase bridge inverter and a filter circuit for AC and DC; on the model of analyzed harmonic components in the circuits convert the voltage and current and is reviewed using models of ways to improve the quality of electrical energy semiconductor Converter circuits-regulation characteristics of the electric machines.

Key words: modeling, semiconductor Converter, harmonic components of current and voltage, electric machines, power supply

УДК 662.612

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Аверкова О.А., Логачев К.И., Уваров В.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова»,
308012, г.Белгород, ул.Костюкова, 46, logachev.ki@bstu.ru

Аннотация. Целью работы является разработка технических предложений по повышению эффективности систем местной вытяжной вентиляции и энергосбережению при их эксплуатации. Излагаются способы снижения энергоёмкости систем местной вытяжной вентиляции, основанные на применении свойств вихревых, рециркулируемых и закрученных воздушных потоков. Для обоснования предложенных способов применялись методы компьютерного моделирования и натурного эксперимента. Рассмотрены способы снижения аэродинамического сопротивления входных проёмов местных вытяжных устройств, снижения вредных прососов воздуха через неплотности, увеличения эффективности захвата загрязняющих веществ за счет воздушно-струйного экранирования, уменьшения расхода эжектируемого воздуха в узлах аспирации при перегрузках сыпучих материалов за счет применения рециркуляции воздушных течений. Даны практические рекомендации, которые могут быть полезны при проектировании систем местной вытяжной вентиляции сниженной энергоёмкости.

Ключевые слова: системы местной вытяжной вентиляции, энергосбережение, профилирование, воздушно-струйное экранирование, рециркуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Применение местной вытяжной вентиляции является наиболее надёжным способом улавливания загрязняющих веществ в различных отраслях промышленности, жизни и деятельности человека: в горнорудной промышленности, металлургии, химической промышленности, для улавливания тепловых потоков сварочных дымов, пыли, паров, газов, аэрозолей, выбросов от трансурановых отходов и на кухне, для улавливания потенциально опасных загрязняющих веществ, таких как сибирская язва, на почтовых службах, и во многих других случаях. Правильный расчёт и проектирование местной вытяжной вентиляции имеет большое значение при проектировании систем вентиляции общественных и промышленных зданий в целом, а также существенно влияет на качество внутреннего воздуха и тепловой комфорт, что непосредственно влияет на здоровье находящихся там людей. Главным элементом системы местной вытяжной вентиляции является местный отсос. Расход воздуха, удаляемый местным отсосом, должен создавать в области образования загрязняющих веществ скорость, необходимую для их улавливания. Превышение величины этой

скорости приводит к перерасходу электроэнергии, необходимой для обслуживания местной вытяжной вентиляции. Поэтому необходимы, с одной стороны, наиболее точные сведения о поле скоростей воздушного потока в области действия местного отсоса, а с другой стороны, способы повышения величины скорости в области образования загрязняющих веществ без дополнительных затрат электроэнергии.

Целью настоящей работы является разработка технических предложений по повышению эффективности систем местной вытяжной вентиляции и энергосбережению при их эксплуатации.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для повышения эффективности улавливания загрязняющих веществ местными отсосами применяют различные способы.

В работе [1] предлагается использовать звуковые волны, генерируемые аэродинамическим звуковым генератором, для повышения скорости агрегации аэрозолей и эффективности их локализации.

Воздушно-струйное экранирование либо активирование, является одним из активно развиваемых способов повышения эффективности местных отсосов. В статье [2] исследуется активирование бортового отсоса от резервуара с открытой поверхностью приточной воздушной струей, организованной на противоположной стороне резервуара, определялась рациональная высота вытяжного отверстия. Воздушное экранирование использовалось для повышения эффективности местного отсоса полузакрытого типа [3]. С помощью организованного струйного горизонтального течения активировался местный отсос от мощных тепловых источников, наблюдаемых в литейных цехах, эффективность местного отсоса повышается с 40% до 60% [4]. Подобного повышения эффективности отсоса для сварочных работ удалось добиться в работе [5]. Исследование щелевого отсоса, экранированного воздушной струей из козырька (раструба) отсоса, осуществлено в статье [6], определено влияние угла наклона раструба на дальность захвата отсоса. Подобное экранирование круглых отсосов-раструбов над непроницаемой плоскостью рассмотрено в работе [7]. Ряд работ посвящены воздушно-струйному экранированию отсоса с фланцем, из которого подаётся приточная струя. Экранирование такого щелевидного отсоса позволяет повысить диапазон действия отсоса в 2-3 раза [8]. Применение экранирования круглого отсоса – раструба с фланцем (угол раскрытия раструба 180 градусов) турбулентной радиальной струей, истекающей из торца раструба, также повышает эффективность вытяжки [9]. Экранирование закрученной воздушной струей и использование искусственно созданного торнадо ещё более повышает диапазон захвата местного отсоса, что показано, как в трудах зарубежных [10], так и отечественных учёных [11]. В работе [12] торнадо создаётся четырьмя компактными струями. При всей эффективности воздушно-струйного экранирования или активирования, данный способ требует затраты энергии на создание струй, а также конструктивно усложняет систему вытяжной вентиляции.

Оптимизация геометрической формы [13] и механическое экранирование [14] не требует дополнительных энергозатрат. В работе [7] показано, что наибольшая осевая скорость воздуха наблюдается вблизи круглых всасывающих отверстий при равной скорости и

площади всасывания. В статье [15] делается вывод, что добавление фланцев (механических экранов) повышает эффективность захвата загрязняющих веществ на 88%. Скорость воздуха, захватывающего загрязняющие вещества при использовании фланца выше, чем без него [16]. В работе [17] для увеличения скорости местного отсоса-раструба предлагается газовый направляющий прибор. Часто механическое и воздушно-струйное экранирование применяется в совокупности [18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для расчёта течений в диапазоне действия местных отсосов применяют методы расчёта потенциальных течений [19], в том числе теории струй идеальной жидкости [20], а также вязких сред с использованием уравнений Навье-Стокса и современных программных комплексов численной аэродинамики (CFD) [21].

Из методов расчётов потенциальных течений наиболее продуктивным является метод конформных отображений и метод Н.Е. Жуковского [20], позволяющих определять очертания отрывных областей, но не в многосвязных областях и только в плоском приближении. В работе [19] отмечено, что в ряде случаев метод конформных отображений имеет возможность получить более точное решение, относительно CFD. Метод граничных интегральных уравнений [7] позволяет определить поле скоростей при любых сложных границах области в двух и трёхмерном пространстве, но не было возможности учесть отрыв потока. Метод дискретных вихрей, применяемый для расчета обтекания самолётов, вертолётных гребных винтов, зданий и сооружений [22] вихревых следов от самолётов с успехом был адаптирован к задачам аэродинамики вентиляции [7], где был, например, произведён расчёт отрыва потока на входе в отсосы-раструбы при использовании нестационарных дискретных вихрей. В стационарной постановке этот метод был применён в работе [23] для расчета отрыва потока на входе в круглый вытяжной зонтик. Для получения изложенных далее результатов применялись методы дискретных вихрей в стационарной постановке [25], CFD [30], методы решения дифференциальных уравнений [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Основными потребителями электроэнергии в системах аспирации являются тягодутьевые средства (вентиляторы, дымососы). Требуемая мощность, потребляемая электродвигателями этих тягодутьевых средств, определяется по формуле

$$N = \frac{Q_a \Delta P_c}{1000 \eta_v \eta_n}, \text{ кВт},$$

где Q_a - общий расход воздуха, удаляемого вентилятором (объёмы аспирации), $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP_c - сопротивление аспирационной сети главной магистрали (воздуховодов, пылеуловителей, выбросной трубы), Па; η_v, η_n - к.п.д. вентилятора и передачи.

Формула демонстрирует направления энергосбережения при эксплуатации систем местной вытяжной вентиляции: а) минимизация объёмов отсасываемого воздуха при сохранении

эффективности улавливания загрязняющих веществ; б) минимизация потерь давления в элементах аспирационной сети; в) повышение к.п.д. вентилятора.

Снижение расхода воздуха поступающего через неплотности

Эффект отрыва струи с тонких козырьков (рис.1) можно использовать для снижения расхода воздуха, поступающего через неплотности местных отсосов закрытого типа, а значит и для минимизации объёмов отсасываемого воздуха.

При фиксированном значении длины d_0 вертикального экрана и изменении расстояния r до горизонтального экрана наблюдается минимум величины толщины всасывающей струи δ_∞ . В частности, величина δ_∞ для плоской задачи при разных значениях d_0 имеет минимум в диапазоне $0.55 < r < 0.75$, а для осесимметричной — $0.3 < r < 0.35$.

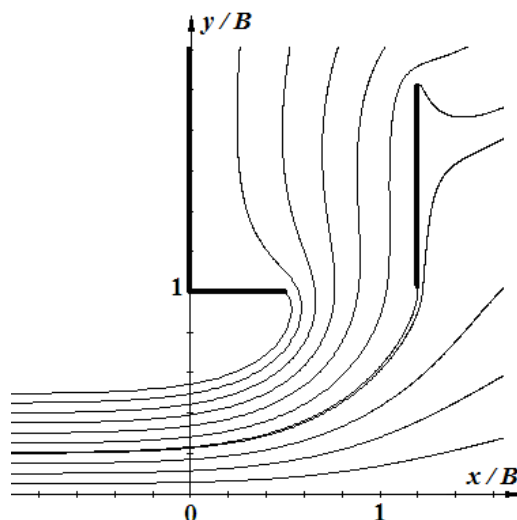


Рис.1. Использование механических экранов для снижения подсосов воздуха через неплотности

Fig.1. Use of mechanical shields to reduce air leakage through leaks

Влияние величины δ_∞ на коэффициент сопротивления входа среды ζ в отсасывающее отверстие определяется с помощью формулы Идельчика И.Е.:

$$\zeta = \left(1 / (\delta_\infty)^m - 1\right)^2,$$

где $m = 1$ для щелевидного всасывающего канала и $m = 2$ для круглой трубы.

Экспериментально подтверждена эффективность такого подхода в работе [24]. Исследовалось влияние горизонтальных, вертикальных, наклонных и двухгранных непроницаемых пластин (козырьков) на к.м.с.

входа в неплотность. Показано, что оборудование щелевой неплотности горизонтальным козырьком длиной 0,5-0,7 калибра (калибр - высота неплотности) и уголком высотой в 1 калибр и шириной 0,5 калибра на расстоянии до козырька в диапазоне 0,5-1 калибра позволяет снизить расход воздуха более 17%.

Профилирование по найденным границам отрывных зон

Для определения границ вихревых областей при входе во всасывающие каналы использовались методы дискретных вихрей [7], вихревых колец [25] и вихревых многоугольников [26]. Определив границы вихревой зоны (рис.2) и спрофилировав вытяжное устройство по ним можно снизить коэффициент местного сопротивления, а значит и потери давления в системе вытяжной вентиляции.

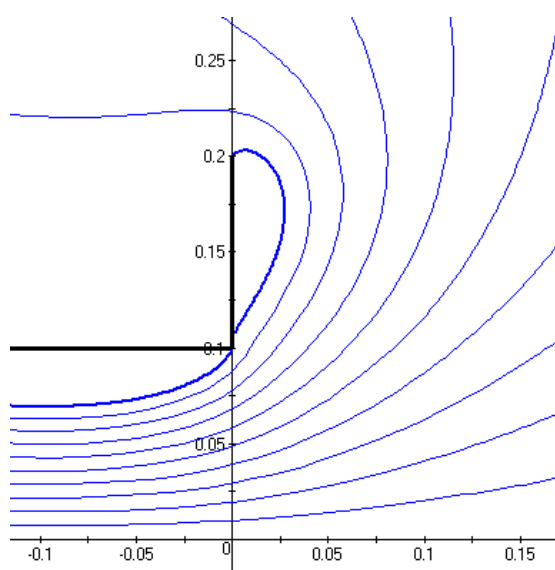


Рис.2. Линии тока при входе в щелевидный всасывающий зонт

Fig.2. Current lines at the entrance to the slit-shaped suction umbrella

Профилировать для снижения потерь давления необходимо и другие фасонные элементы систем вытяжной вентиляции. В работе [27] исследовались отрывные течения в остром отводе с нишей в двумерной постановке. Рассматривались различные глубины ниши, определялись границы вихревых зон, и осуществлялось профилирование по этим найденным границам. Сопротивление спрофилированного отвода оказалось на 30-50% ниже, чем острого. В работе [28] произведено численное моделирование течения в вентиляционном тройнике на слияние. По найденным очертаниям вихревых зон, образующихся при срыве потока с внутренней

кромки тройника на слияние, произведено профилирование. Показано, что сопротивление профилированного тройника в три раза меньше, чем стандартного.

Воздушно-струйное экранирование

Снижение расхода отсасываемого воздуха не должно привести к уменьшению скорости воздуха вблизи вытяжного отверстия. Иначе понизится эффективность улавливания загрязняющих веществ. Поэтому энергосбережение основывается на поддержании необходимой скорости воздуха вблизи вытяжного отверстия при минимальном расходе отсасываемого воздуха. Для этого можно использовать

аэродинамическое или механическое экранирование, совершенствование геометрической формы вытяжных устройств. Аэродинамическое экранирование или активирование – это использование воздушно-струйных течений. Воздушная струя,

направленная к местному отсосу, существенно повышает его эффективность. Использование приточной воздушной струи, истекающей из торцов раструбов также существенно повышает скорость подтекающего воздуха (рис.3).

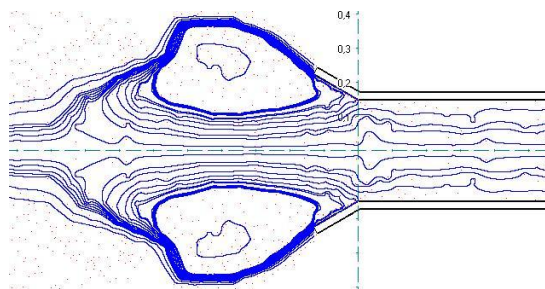


Рис.3. Вытяжной зонт, экранированный прямооточной воздушной струей

Fig.3. Exhaust umbrella shielded by direct-flow air jet

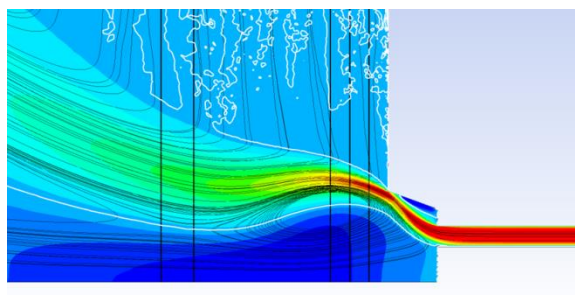


Рис.4. Вытяжное отверстие, экранированное закрученной кольцевой струей

Fig.4. Exhaust hole, shielded by swirling ring jet

Снижение расхода эжектируемого воздуха

Закрученные воздушные струи ещё более повышают эффективность захвата местных отсосов (рис.4) за счет интенсификации из закрутки потока циркуляции потока при входе во всасывающий канал.

Расход воздуха, увлекаемого сыпучим материалом, вносит основной вклад в производительность систем местной вытяжной вентиляции от мест перегрузок сыпучих материалов. Одним из перспективных направлений снижения расхода эжектируемого воздуха является использование свойств рециркуляционных течений.

Для обеспечения рециркуляции воздуха используется байпасная камера [7], соединённая аэродинамически с полостью загрузочного желоба (рис.5). Вокруг пористой круглой трубы, предусмотрена цилиндрическая байпасная камера с транзитным обменом воздуха между укрытиями перегрузочного узла при аспирации нижнего укрытия.

При помощи решения полученных дифференциальных уравнений динамики эжектируемого воздуха и динамики рециркулируемого воздуха доказано существенное снижение расхода эжектируемого воздуха. Экспериментальные исследования подтвердили данные теоретических исследований. Снизить расход воздуха,

увлекаемого сыпучим материалом, можно на величину до 80%.

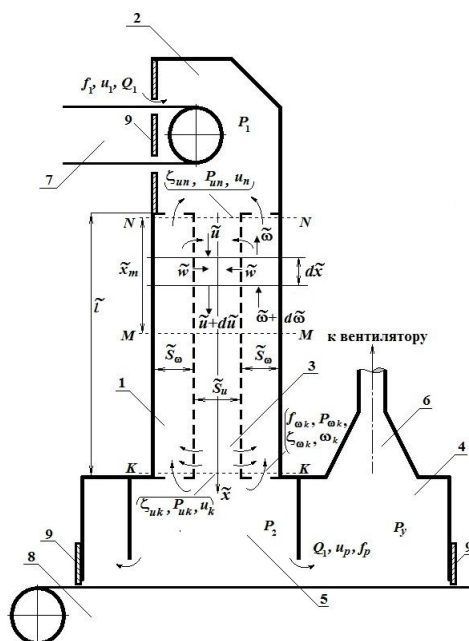


Рис.5. Схема эжектируемого и рециркулируемого воздуха в желобе с комбинированной байпасной камерой: 1 - байпасная камера с транзитным проходом рециркулируемого воздуха; 2 - верхнее укрытие; 3 - желоб с перфорированными стенками; 4 - нижнее укрытие с внутренней камерой 5 для приёма перегружаемого материала; 6 - аспирационный патрубок; 7 и 8 - верхний и нижний конвейера; 9 - уплотнительные фартуки

Fig.5. Scheme of ejected and recirculated air in the chute with a combined bypass chamber: 1 - bypass chamber with a transit passage of recirculated air; 2 - upper shelter; 3 - groove with perforated walls; 4 - lower cover with an inner chamber 5 for receiving overloaded material; 6 - suction nozzle; 7 and 8 - upper and lower conveyor; 9 - sealing aprons

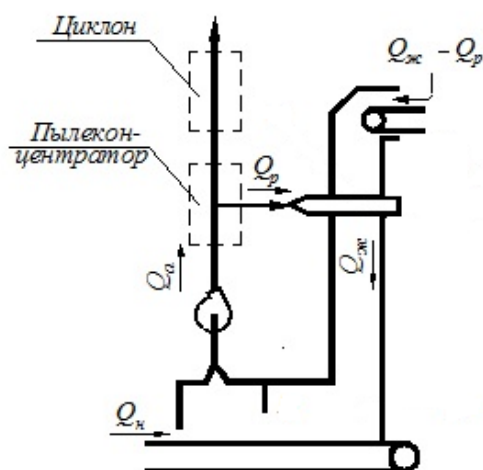


Рис.6. Принципиальная схема аспирационной системы с принудительной рециркуляцией; Q_a , $Q_ж$, Q_p и Q_n - объёмы аспирируемого, эжектируемого, рециркуляционного и просасываемого воздуха

Fig.6. Schematic diagram of the aspiration system with forced recirculation; Q_a , $Q_ж$, Q_p and Q_n - volumes of aspirated, ejected, recirculated and drawn air

Возможно применение и принудительной рециркуляции [29] (рис.6). При помощи компьютерного моделирования показано, что подачу рециркуляционной струи в загрузочный жёлоб следует осуществлять под углом к потоку сыпучего материала, не превышающим 60°. В этом случае расход эжектируемого воздуха снижается более чем на 70% при отношении расходов рециркулируемого и эжектируемого воздуха более 0,8.

ВЫВОДЫ.

Полученные результаты могут быть полезны для проектирования эффективных систем местной обеспыливающей вентиляции сниженной энергоёмкости.

Дальнейшим направлением исследования является:

- исследование отрывных течений при входе в щелевидные и прямоугольные отсосы-раструбы, определение влияния набегающего и сносящего потока воздуха, наличия в воздушном потоке пылевых частиц, а также влияние технологического оборудования в диапазоне действия местного отсоса;
- определение эффективности захвата пылевых частиц вытяжными зонтами разных форм, в том числе спрофилированных по найденным границам отрывных зон;
- создание многопараметрической модели экранированного местного вытяжного устройства и определение его оптимальных режимно-технических характеристик;
- опытно-промышленная апробация загрузочных устройств и аспирационных укрытий с рециркуляцией воздушных потоков.

Результаты, изложенных исследований, получены при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МД-95.2017.8) и РФФИ (проект № 16-08-00074а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vekteris V., Tetsman I., Mokshin V. Investigation of the efficiency of the lateral exhaust hood enhanced by aeroacoustic air flow. *Process Saf. Environ. Prot.* 2017. Vol. 109, pp. 224–232. DOI: 10.1016/j.psep.2017.04.004
2. Gonzalez E., Marzal F., Minana A., Doval M. Influence of exhaust hood geometry on the capture efficiency of lateral exhaust and push-pull ventilation systems in surface treatment tanks. *Environ. Prog.*

2008. Vol.27, No. 3, pp. 405-411. DOI: 10.1002/ep.10287

3. Chern M.J., Cheng W.Y. Numerical investigation push-pull and exhaust of turbulent diffusion in fume cupboards. *Ann. Occup. Hyg.* 2007. Vol. 51, No. 6, pp. 517–531. DOI: 10.1093/annhyg/mem031

4. Kulmala I., Hynynen P., Welling I. at al. Local ventilation solution for large, warm emission sources. *Ann. Occup. Hyg.* 2007. Vol.51, No.1, pp. 35-43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049

5. Iwasaki T., Fujishiro Y., Kubota Y. at al. Some Engineering Countermeasures to Reduce Exposure to Welding Fumes and Gases Avoiding Occurrence of Blow Holes in Welded Material. *Industrial Health.* 2005. Vol. 43, pp. 351–357. DOI: 10.2486/indhealth.43.351

6. Wen X., Ingham D.B., Fletcher B. The numerical modelling of a two-dimensional local exhaust system associated with an inclined jet flow. *J. Eng. Math.* 2002. Vol. 43, pp. 367–384. DOI: 10.1023/A:1020328305459

7. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 564 p.

8. Kulmala I. Experimental validation of potential and turbulent flow models for a two-dimensional jet enhanced exhaust hood. *AIHAJ.* 2000. Vol. 61, pp. 183–191. DOI: 10.1080/15298660008984527

9. Hunt G. R., Ingham D. B. Long range exhaustion - A mathematical model for the axisymmetric air flow of a local exhaust ventilation hood assisted by a turbulent radial jet. *Ann. occq. Hyg.* 1996. Vol. 40. No. 2, pp. 171-196. DOI: 10.1016/0003-4878(95)00065

10. Penot F., Pavlović M. D. Experimental Study of Non-Isothermal Diverging Swirling and Non-Swirling Annular Jets with Central Aspiration. *International Journal of Ventilation.* 2010. Vol. 8. No.4, pp.347-357. DOI: 10.1080/14733315.2010.11683858

11. Зайцев О. Н. Аэродинамика закрученных газовых потоков с прецессирующим вихревым ядром в теплоэнергетике. Симферополь: СОНАТ. 2009. 204 с.

12. Cao Z., Wang Y., Zhu H., Duan M. Study of the vortex principle for improving the efficiency of an exhaust ventilation system. *Energy and Buildings.* 2017. Vol. 142, pp. 39-48. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.007

13. Cascetta F., Bellia L. Velocity fields in proximity of local exhaust hood openings: an intercomparison between current recommended formulas and experimental studies. *Building and Environment.* 1996. Vol. 31, No.5, pp. 451-459. DOI: 10.1016/0360-1323(96)00010-8

14. Cascetta F., Rosano F.M. Assessment of velocity fields in the vicinity of rectangular exhaust hood openings. *Building and Environment.* 2001.

Vol. 36, pp.1137–1141. DOI: 10.1016/S0360-1323(00)00087-1

15. Reif R.H., Houck R.S. Poor design of local exhaust hood leads to radioactive release in the work area. *Health Phys.* 200. Vol. 78, No.2, pp. 222-225. DOI: 10.1097/00004032-200002000-00011

16. Huang R.F., Liu G.S., Chen Y.K. at al., Effects of Flange Size on Dividing Streamlines of Exterior Hoods in Cross Drafts. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2004. Vol. 1, pp. 283–288. DOI: 10.1080/15459620490439045

17. Oh Y. K., Kim Y. S., Yoon H. S. A study on improvement capture velocity for increasing inhalation efficiency of hood in local ventilation system. *Advanced Materials Research.* 2008. Vol. 47-50, pp. 1039-1042. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.1039

18. Wang Y., Yang Y., Wei Y. at al. Experimental Investigation on the Flow Characteristics of an Exhaust Hood Assisted by a Jet. *International Journal of Ventilation.* 2014. Vol.13, No.1, pp. 89-100. DOI: 10.1080/14733315.2014.11684039

19. Conroy L.M., Trevelyan P.M.J., Ingham D.B. An analytical, numerical, and experimental comparison of the fluid velocity in the vicinity of an open tank with one and two lateral exhaust slot hoods and a uniform crossdraft. *Ann. occup. Hyg.* 2000. Vol.44, No.6, pp. 407-419. DOI: 10.1016/S0003-4878(99)00111-8

20. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. 209 с.

21. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Варсегова Е.В. К расчёту потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщение 1// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 4. С. 66-73.

22. Лифанов И. К. Метод сингулярных интегральных уравнений и численный эксперимент. Москва: Янус. 1995. 520 с.

23. Логачев А. К. Моделирование пылевоздушного течения в зоне действия местного отсоса – раструба// Строительство и техногенная безопасность. 2017. №7. С.129-134.

24. Ходаков И.В. Численное и экспериментальное исследование отрыва потока на входе во всасывающие каналы с механическими экранами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №3. С. 6-12.

25. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Logachev A.K. A Survey of Separated Airflow Patterns at Inlet of Circular Exhaust Hoods. *Energ. and Buildings.* 2018. Vol.173, pp. 58–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.036>.

26. Ходаков И.В. Моделирование отрывного течения на входе в многоугольное всасывающее отверстие / И.В. Ходаков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №2. С. 11-15.

27. Зиганшин А.М., Беляева Е.Э., Соколов В.А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей

// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. №1. С. 108-116.

28. Зиганшин А.М., Бадыкова Л.Н. Численное моделирование течения в профилированном вентиляционном тройнике на слияние // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. №6. С. 41-48.

29. Ovsyannikov Yu. G., Gol'tsov A. B., Seminenko A. S. at al. Reducing the Power Consumption of Ventilation Systems Through Forced Recirculation/ Yu. G. Ovsyanniko ,A. B. Gol'tsov, A. S. Seminenko, K. I. Logachev, V. A. Uvarov. *Refractories and Industrial Ceramics.* 2017. Vol. 57, No. 5, pp 557–561. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11148-017-0022-2>

30. Menter F.R., Kuntz M., Langtry R. Ten years of experience with the SST turbulence model. *Proceedings of 4th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer.* 2003. P. 625–632.

REFERENCES

1. Vekteris V., Tetsman I., Mokshin V. Investigation of the efficiency of the lateral exhaust hood enhanced by aeroacoustic air flow. *Process Saf. Environ. Prot.* 2017. Vol. 109, pp. 224–232. DOI: 10.1016/j.psep.2017.04.004

2. Gonzalez E., Marzal F., Minana A., Doval M. Influence of exhaust hood geometry on the capture efficiency of lateral exhaust and push-pull ventilation systems in surface treatment tanks. *Environ. Prog.* 2008. Vol.27, No. 3, pp. 405-411. DOI: 10.1002/ep.10287

3. Chern M.J., Cheng W.Y. Numerical investigation push-pull and exhaust of turbulent diffusion in fume cupboards. *Ann. Occup. Hyg.* 2007. Vol. 51, No. 6, pp. 517–531. DOI: 10.1093/annhyg/mem031

4. Kulmala I., Hynynen P., Welling I. at al. Local ventilation solution for large, warm emission sources. *Ann. Occup. Hyg.* 2007. Vol.51, No.1, pp. 35-43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049

5. Iwasaki T., Fujishiro Y., Kubota Y. at al. Some Engineering Countermeasures to Reduce Exposure to Welding Fumes and Gases Avoiding Occurrence of Blow Holes in Welded Material. *Industrial Health.* 2005. Vol. 43, pp. 351–357. DOI: 10.2486/indhealth.43.351

6. Wen X., Ingham D.B., Fletcher B. The numerical modelling of a two-dimensional local exhaust system associated with an inclined jet flow. *J. Eng. Math.* 2002. Vol. 43, pp. 367–384. DOI: 10.1023/A:1020328305459

7. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 564 p.

8. Kulmala I. Experimental validation of potential and turbulent flow models for a two-dimensional jet enhanced exhaust hood. *AIHAJ.*

2000. Vol. 61, pp. 183–191. DOI: 10.1080/15298660008984527

9. Hunt G. R., Ingham D. B. Long range exhaust - A mathematical model for the axisymmetric air flow of a local exhaust ventilation hood assisted by a turbulent radial jet. *Ann. occup. Hyg.* 1996. Vol. 40. No. 2, pp. 171-196. DOI: 10.1016/0003-4878(95)00065

10. Penot F., Pavlović M. D. Experimental Study of Non-Isothermal Diverging Swirling and Non-Swirling Annular Jets with Central Aspiration. *International Journal of Ventilation.* 2010. Vol. 8. No.4, pp.347-357. DOI: 10.1080/14733315.2010.11683858

11. Zaitsev O.N. Aerodynamics of swirling gas flows with a precessing vortex core in heat power engineering. *Simferopol: SONAT.* 2009. 204 p.

12. Cao Z., Wang Y., Zhu H., Duan M. Study of the vortex principle for improving the efficiency of an exhaust ventilation system. *Energy and Buildings.* 2017. Vol. 142, pp. 39-48. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.007

13. Cascetta F., Bellia L. Velocity fields in proximity of local exhaust hood openings: an intercomparison between current recommended formulas and experimental studies. *Building and Environment.* 1996. Vol. 31, No.5, pp. 451-459. DOI: 10.1016/0360-1323(96)00010-8

14. Cascetta F., Rosano F.M. Assessment of velocity fields in the vicinity of rectangular exhaust hood openings. *Building and Environment.* 2001. Vol. 36, pp.1137–1141. DOI: 10.1016/S0360-1323(00)00087-1

15. Reif R.H., Houck R.S. Poor design of local exhaust hood leads to radioactive release in the work area. *Health Phys.* 200. Vol. 78, No.2, pp. 222-225. DOI: 10.1097/00004032-200002000-00011

16. Huang R.F., Liu G.S., Chen Y.K. at al., Effects of Flange Size on Dividing Streamlines of Exterior Hoods in Cross Drafts. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2004. Vol. 1, pp. 283–288. DOI: 10.1080/15459620490439045

17. Oh Y. K., Kim Y. S., Yoon H. S. A study on improvement capture velocity for increasing inhalation efficiency of hood in local ventilation system. *Advanced Materials Research.* 2008. Vol. 47-50, pp. 1039-1042. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.1039

18. Wang Y., Yang Y., Wei Y. at al. Experimental Investigation on the Flow Characteristics of an Exhaust Hood Assisted by a Jet. *International Journal of Ventilation.* 2014. Vol.13, No.1, pp. 89-100. DOI: 10.1080/14733315.2014.11684039

19. Conroy L.M., Trevelyan P.M.J., Ingham D.B. An analytical, numerical, and experimental comparison of the fluid velocity in the vicinity of an open tank with one and two lateral exhaust slot hoods and a uniform crossdraft. *Ann. occup. Hyg.* 2000. Vol.44, No.6, pp. 407-419. DOI: 10.1016/S0003-4878(99)00111-8

20. Posohin V.N. Aerodynamics of ventilation. Moscow: ABOK-PRESS. 2008. 209 p.

21. Posohin V.N., Ziganshin A.M., Varsegova E.V. Calculation of minor losses. Report 1. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2016. No 4. pp. 66-73.

22. Lifanov I.K. Singular Integral Equations and Discrete Vortices. De Gruyter. 1996. 475 p.

23. Logachev A.K. Simulation of dust-air current in the zone of local pump activity – poster. *Construction and industrial safety.* 2017. No.7. pp.129-134.

24. Khodakov I.V. Numerical and experimental research of detached flow at the inlet in the suction duct with the mechanical screens. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2016. No.3. pp. 6-12.

25. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A., Logachev A.K. A Survey of Separated Airflow Patterns at Inlet of Circular Exhaust Hoods. *Energ. and Buildings.* 2018. Vol.173, pp. 58–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.036>.

26. Khodakov I.V. Modeling of detached flow at the entry polygonal suction hole. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2016. No.2. pp. 11-15.

27. Ziganshin A.M., Belyaeva E.E., Sokolov V.A. Pressure losses reduction with profiling of sharp elbow with dead-end. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* 2017. No.1. pp. 108-116.

28. Ziganshin A.M., Badykova L.N. Numerical investigation of flow in profiled ventilation tee at junction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2017. No.6. pp. 41-48.

29. Ovsyannikov Yu. G., Gol'tsov A. B., Seminenko A. S. at al. Reducing the Power Consumption of Ventilation Systems Through Forced Recirculation/ Yu. G. Ovsyanniko ,A. B. Gol'tsov, A. S. Seminenko, K. I. Logachev, V. A. Uvarov. *Refractories and Industrial Ceramics.* 2017. Vol. 57, No. 5, pp 557–561. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11148-017-0022-2>

30. Menter F.R., Kuntz M., Langtry R. Ten years of experience with the SST turbulence model. *Proceedings of 4th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer.* 2003. P. 625–632.

ENERGY-SAVING IN EXHAUST VENTILATION SYSTEMS

Averkova O.A., Logachev K.I., Uvarov V.A.

Summary The subject of the study is local exhaust ventilation systems. The purpose of the research is development of technical proposals for increasing the efficiency of local exhaust ventilation systems and energy saving during their maintenance. Methods for reducing the energy intensity of local exhaust ventilation systems based on the application of the properties of vortex, recirculated and swirling air flows are described. Computer modeling and full-scale experiment were applied to prove the proposed methods. The ways of reducing the aerodynamic resistance of the entrance openings of local exhaust devices, the reduction of harmful air leaks through looseness, the increase in the efficiency of the capture of pollutants through air-jet screening, the reduction of the consumption of ejected air in the aspiration units during the overloads with bulk materials due to recirculation of air flows are considered. Practical recommendations that can be useful for designing local exhaust ventilation systems with reduced energy intensity are given.

Keywords: systems of local exhaust ventilation, energy saving, profiling, air-jet screening, recirculation.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Николенко И.В., Котовская Е.Е., Фетляев Э.Э.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181
e: mail: energia-09@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены технологические схемы подготовки питьевой воды из поверхностных источников на территории Республики Крым. Описаны проблемы, связанные с обработкой и сбросом в водные объекты промывных вод. Представлена схема системы точечной промывки скорых фильтров, получившая распространение в Израиле в технологических процессах опреснения морской воды. Определена возможность применения на существующих водопроводных очистных сооружениях Республики Крым технологии точечной очистки скорых фильтров. Выполнена оценка экономии электроэнергии при замене стандартной промывки фильтров на промывку при помощи точечной очистки.

Ключевые слова: водопроводные очистные сооружения, промывка двухслойных фильтров, точечная очистка, система подачи сжатого воздуха, промывные насосы, трубопроводы, воздухопроводы.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из заключительных операций при очистке питьевой воды является ее обработка на двухслойных или однослойных скорых фильтрах [1]. В процессе фильтрования обрабатываемой воды для систем централизованного питьевого водоснабжения через зернистую загрузку происходит окончательное удаление взвешенных веществ, при этом мутность очищенной воды в фильтрате не должна превышать 1,5 мг/л СанПиН 2.1.4.10704-01. Для регенерации фильтрующей загрузки применяется обратная промывка, требующая большого количества воды и сжатого воздуха, и как следствие производственное предприятие несет повышенные эксплуатационные затраты водных и энергетических ресурсов, которые по сути относятся к технологическим потерям. Одним из путей повышения эффективности работы централизованных систем водоснабжения является совершенствование технологий промывки фильтрующей загрузки скорых фильтров или контактных осветлителей, направленных на снижение технологических потерь питьевой воды и энергетических затрат.

В системах централизованного водоснабжения городов Республики Крым (РК), питающихся водой поверхностных источников, действуют водопроводные очистные станции (ВОС), в состав которых включены скорые фильтры. Двухступенчатая схема очистки принята на Симферопольских ВОС «Петровские скалы»

(производительностью $Q=80\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$); Партизанских ВОС «Приютное свидание» ($Q=80\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$); Межгорных ВОС «Жаворонки» ($Q=225\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$) (в данный момент объект законсервирован). Все перечисленные объекты предназначены для водоснабжения г. Симферополя и включают горизонтальные отстойники и скорые фильтры [2].

Для водоснабжения г. Севастополя эксплуатируются Севастопольские ВОС, в составе которых работают два блока: 1-й блок состоит из 2 очередей, 1954 и 1968 годов строительства соответственно, суммарная производительность первого блока составляет $Q=63\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$; производительность 2-го блока - $Q=63\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$, построенного в 1980 году. На рис. 1 и 2 представлены фотографии фильтров, размещенных в зале скорых фильтров первого блока первой очереди строительства, а на рис. 3 представлена фотография зала нового фильтра 80-х годов постройки. В составе сооружений 1-го блока 1-й очереди – 6 отстойников и 8 фильтров, 2-й очереди – 4 отстойника и 6 фильтров; 2-го блока 1-й очереди - 8 горизонтальных отстойников с габаритами: $6\times 40\times 3,8\ (h)$, 9-ти скорых фильтров с габаритами: $7,5\times 5\text{м}$.

В г. Ялта очистные сооружения построены по двухступенчатой схеме и состоят из 2-х спиральных открытых отстойников и скорых фильтров однослойных и двухслойных ($Q=102\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$).

Для водоснабжения г. Феодосии и г. Судак предназначены феодосийские очистные сооружения,

построенные по одноступенчатой схеме, в составе которых предусмотрены 16 контактных осветлителей с ($Q=100\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$), план главного корпуса которых представлен на рис. 14.

В г. Алуште ВОС также представлены двухступенчатой схемой очистки: горизонтальные отстойники - скорые фильтры ($Q=43\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$). Водопроводные очистные сооружения г. Алушты построены по принципу деблокирования: горизонтальные отстойники отделены от зала скорых фильтров и размещены на расстоянии 10 м от здания главного корпуса, что соответствует п. 16.7 СП 31.13330.2012. Алуштинские ВОС состоят из 5 горизонтальных отстойников с габаритами $6 \times 57,6 \times 3,7\ (h)$ и 8 скорых фильтров с габаритами $6 \times 6\ \text{м}$.



Рис. 1. Зал скорых фильтров первой очереди строительства Севастопольских ВОС [3]

Fig. 1. Hall of fast filters of the first stage of construction of Sevastopol VOS



Рис. 2. Зал скорых фильтров первой очереди строительства Севастопольских ВОС [3]

Fig. 2. Hall of fast filters of the first stage of construction of Sevastopol VOS [3]



Рис. 3. Зал скорых фильтров второй очереди строительства Севастопольских ВОС [3]

Fig. 3. Hall of fast filters of the second stage of construction of Sevastopol VOS [3]

Для водоснабжения пгт. Ленино и окрестных сел предусмотрены Ленинские очистные сооружения в составе, которых, осветлители со слоем взвешенного осадка и скорые фильтры ($Q=20\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$).

Керченские ВОС ($Q=100\ \text{тысяч}\ \text{м}^3/\text{сут}$) имеют одноступенчатую схему очистки, и основными сооружениями являются 10 контактных осветлителей.

К недостаткам конструкции и работы скорых фильтров можно отнести завышенный строительный объем, т.к. во избежание образования вакуума в загрузке и закупорки ее пузырьками воздуха, высота столба воды над загрузкой принимается не менее 2 м п. 9.84 СП 31.13330.2012.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В практике водоподготовки существуют несколько видов промывки: водяная, воздушная, водо-воздушная, при этом существует необходимость в достаточно энергоемком дополнительном технологическом оборудовании,

таким как: резервуары чистой воды (РЧВ), размещенные на площадке ВОС, или баки водонапорной башни для промывки под гидростатическим напором, трубопроводы подачи воды на промывку и трубопроводы отвода промывной воды. Необходимо дополнительное энергоемкое насосное оборудование с системами управления, предназначенное для забора воды из РЧВ и подачи на промывку фильтрующей загрузки, или же для закачки воды в водонапорную башню. Для водо-воздушной промывки существует потребность в дополнительных воздухоподводах и магистральных воздуховодах, ось которых размещается на расстоянии 3...4 м выше зеркала воды в фильтровальном сооружении во время промывки в соответствии с п. 7.19 пособия по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды к СНиП 2.04.02-84.

Процесс промывки скорого фильтра, также связан с перерывом в его работе, то есть прекращение подачи фильтрата. При применении промывных насосов необходима в машинном зале насосной станции ВОС дополнительная площадь для установки двух рабочих и одного резервного насоса. С учетом расстояния между фундаментами агрегатов не менее 1,2 м в соответствии с п. 13.219 СП 31.13330.2012. Например, занимаемая площадь для установки промывных насосов, размещенной на площадке ВОС «Петровские скалы», составляет 12×12 м.

Одной из важных задач, решаемых при использовании непрерывной точечной промывки фильтров, является экономия чистой питьевой воды, которая на большинстве станций Республики Крым используется безвозвратно. В соответствии с п. 9.6 СП 31.13330.2012: «ориентировочно среднесуточные (за год) расходы исходной воды на собственные нужды станции осветления, обезжелезивания и др. следует принимать: при повторном использовании промывной воды в размере 3...4 % количества воды, подаваемой потребителям, без повторного использования – 10...14 %». На объектах водоснабжения городов Крыма на всех станциях повторное использование промывных вод не осуществляется, а выполняется сброс промывных вод в водные объекты, например, вода, после промывки фильтров на ВОС «Петровские скалы» сбрасывается в р. Салгир. Сооружения повторного использования промывных вод запроектированы по ТП 901-3-88 и состоят из двух резервуаров объемом 290 м³, сблокированных с заглубленным зданием насосного отделения. В насосном отделении расположены два насоса 8К-18, предназначенных

для подачи промывной воды в смесители ВОС. На подводящем трубопроводе перед резервуаром повторного использования промывных вод предусмотрена камера, оборудованная щитовыми затворами для распределения промывной воды по резервуарам. Осадок из резервуаров должен откачиваться гидроэлеваторами на песковые площадки размером 6 × 12 м [5]. В проекте водоочистной станции не включены сооружения для уплотнения и обезвоживания грязных промывных вод. Состав усредненных промывных вод характеризуется показателями: взвешенные вещества – 89...268 мг/л; железо – 0...0,3 мг/л; солесодержание – 476...980 мг/л; перманганатная окисляемость 2,5...8,8 мгО₂/л; остаточный алюминий – 0,4...5,7 мг/л [4, 5]. Вода после промывки фильтров содержит большие количества загрязнений, которые недопустимо возвращать в смеситель ВОС [4]. Возврат необработанных промывных вод фильтров в смесители очистных сооружений увеличивает содержание не только взвешенных веществ и алюминия, но также ухудшаются следующие показатели смешенной воды: концентрация железа увеличивается на 40 %; аммиака – на 20...35 %; нитритов – на 27...30 %; пестицидов – на 16 % [4].

На ВОС «Приютное свидание» вода после промывки поступает в пруд-накопитель, расположенной, возле площадки ВОС (рис. 4). Использование подобных схем также сопряжено с рядом недостатков: отсутствие участков земли, пригодных для строительства прудов-накопителей; повышение уровня грунтовых вод, подтопление сельскохозяйственных территорий и населенных пунктов из-за проникновения воды из накопителей в земные породы; отказ в согласовании проектов санитарно-эпидемиологическими службами [5].

Вода после промывки фильтров непригодна для повторного использования в технологии получения питьевой воды, без дополнительной обработки [4]. Перед сбросом в водные объекты, определяются концентрации загрязнений, за превышение которых предприятия несет дополнительные затраты. В современных условиях дефицита водных ресурсов в Крыму, вопрос рационального использования водных ресурсов, включая воды после промывки фильтров, является актуальной научно-технической задачей, требующей оперативного решения. На рисунках 5 и 6 представлены фотографии недостроенных сооружений обработки осадков ВОС и фотография пруда-накопителя для сброса промывных вод и вод после продувки отстойников ВОС «Жаворонки» Межгорного гидроузла (объект законсервирован).



Рис. 4. Пруд-накопитель для воды после промывки фильтров и продувки отстойников БОС «Приятное свидание»

Fig. 4. Pond-storage for water after washing filters and blowing sump VOS " Pleasant date»



Рис. 5. Недостроенные сооружения обработки осадков БОС «Жаворонки»

Fig. 5. Unfinished construction of a sludge treatment VOS "Larks»



Рис. 6. Пруд-накопитель для сброса промывных вод и вод после продувки отстойников БОС «Жаворонки»

Fig. 6. Pond-storage for discharge of wash water and water after purging of sedimentation tanks VOS " Larks»

Далее в работе будет показана методика расчета безвозвратных потерь воды на нужды промывки фильтров относительно суточной производительности БОС Республики Крым, работающих на воде из поверхностных источников и представлены сводные данные по 12-ти водопроводным очистным станциям (табл. 2). Суммарный объем воды, используемый на промывку фильтров, составляет порядка 17,8 млн. м³/год. С учетом вышеизложенного, поиск путей сокращения потерь чистой питьевой воды на фильтрование является важным резервом в общем балансе систем водоснабжения Республики Крым.

В представленной работе выполнен анализ современной технологии непрерывной промывки скорых фильтров методом точечной очистки (ТО), применяемой на станции опреснения обратным осмосом фирмой *IDE Technologies Ltd* (Израиль) [6]. Фильтрация морской воды перед подачей на опреснение, является предварительной стадией очистки, предназначенной для увеличения сроков службы блоков обратного осмоса. Технология промывки ТО является альтернативой традиционным схемам промывки скорых фильтров.

Фильтр с непрерывной промывкой состоит из сборных железобетонных элементов (рис. 7), в том числе поддерживающего слоя, фильтрующего слоя, трубопроводов подвода и отвода воды, канала для сбора очищенной воды. Промывка фильтров методом точечной очистки (ТО), включает в себя отсек, установленный на платформе, способной двигаться по координатам X и Y, охватывая все пространство фильтрующей загрузки. Система ТО оснащена воздуходувкой и воздушной трубой с форсункой для распределения воздуха. Проникновение и перемещения в многослойных фильтрах (МСФ) выполняется специальным приводом, оснащенным позиционером.

Поддерживающий слой состоит из пористой пластины, которая обеспечивает свободный пропуск фильтруемого потока воды в водосборный канал. Фильтрующая загрузка лежит на пористой пластине, что предотвращает вынос песка в сборный канал.

Особенностями технологического процесса непрерывной промывки являются:

- обеспечение очистки каждой точки пространства фильтра один раз в 24 часа;

- каждый цикл очистки очищает площадь около 1 м²;

- источник воды для обратной промывки (ОП) фильтруемая вода;

- ОП осуществляется с помощью продувки и прокачки воды через секции МСФ;

- пластина поддерживающего слоя также промывается вместе с МСФ.

Система ТО движется по X и Y горизонтальным координатам через всю площадь фильтрации, и спускается по Z вертикальной координате, проходящей через МСФ. Во время промывки порядок подачи фильтруемой воды вспенивается МСФ, в результате чего высота слоя загрузки увеличится на 40%. Высота пространства МСФ позволяет слою загрузки расширяться и включает в себя свободное место, чтобы избежать выноса фильтрующей среды за пределы фильтра.

Система ТО берет воду для обратной промывки напрямую из фильтруемой среды. Это устраняет необходимость строительства резервуаров или водонапорных башен для хранения промывной воды, исключает промывные насосы или насосы, подающие воды в водонапорную башню для промывки под гидростатическим напором, а также экономит трубопроводы для подвода воды на промывку. Требуемая мощность воздухоудвки, также относительно невелика. Поток ОП малый и непрерывный. При использовании данной конструкции системы ТО в фильтре исключается биообрастание на стенах фильтровальной емкости, исключается необходимость в оборудовании контроля потока, так как фильтр выводится на промывку, а процесс осуществляется непрерывно с процессом фильтрации. Необходимый поток

очищенной воды насосы подают для предприятия обратного осмоса в любое время, таким образом, избегая необходимости установки приборов для измерения и контроля расхода фильтруемой воды.

Последовательность промывки включает в себя следующие этапы:

- позиционирование ТО перемещением по направлениям X и Y в горизонтальной плоскости (рис. 8);

- прохождение в вертикальном направлении до уровня пористой опорной плиты (рис. 9);

- подача обратного потока воздуха путем его продувки через фильтрующую среду (рис. 10);

- откачка промывной воды из фильтрующей среды в промывной сборный канал (рис. 11);

- подъем и перемещение ТО на место к следующей позиции промывки (рис. 12).

К основным преимуществам непрерывной промывки фильтра следует отнести:

- рабочая высота фильтра, при использовании ТО, составляет не более 3 м;

- насос фильтруемой воды может быть подключен непосредственно к общему фильтруемому пространству, сохраняя напор до двух метров от уровня воды над фильтрующей средой;

- упрощенную систему промывки;

- малая нагрузка на фильтрующий слой, при котором не обходимо несложное основание;

- небольшие каналы для сбора воды при обратной промывки.

- отсутствует необходимость в строительстве резервуаров ОП для воды, включая насосы и трубопроводы, до и после промывки;

- нет необходимости в установке приборов для измерения и контроля фильтруемой воды;

- максимальная производительность одного блока составляет 42 000 м³/час;

- отсутствует потребность в установке переливных (байпасных) клапанов, для компенсации работы фильтров при обратной промывке.

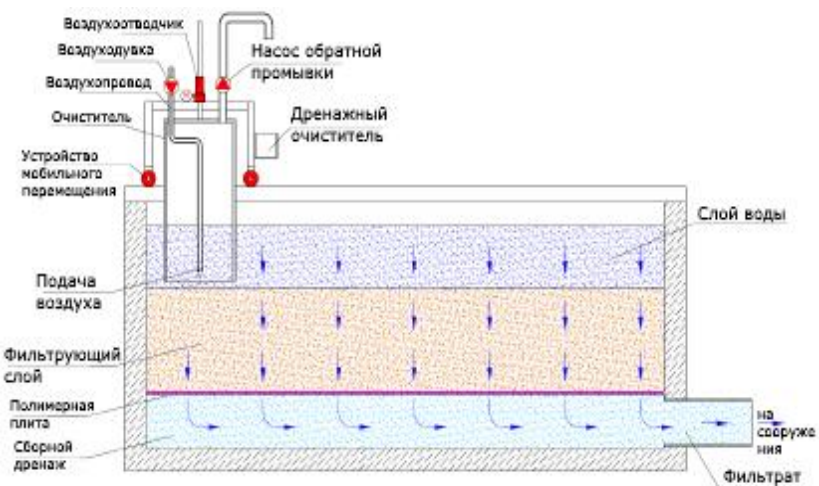


Рис. 7: Схема МСФ с точечной очисткой

Fig. 7: MSF scheme with spot cleaning

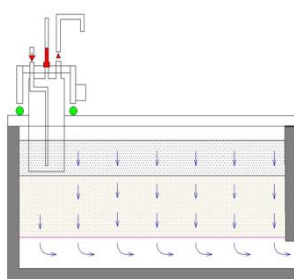


Рис. 8: позиционирование
ТО

Fig. 8: positioning TO

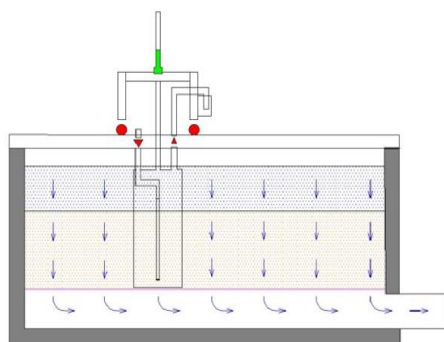


Рис. 9: прохождение в вертикальном направлении

Fig. 9: the passage in the vertical direction

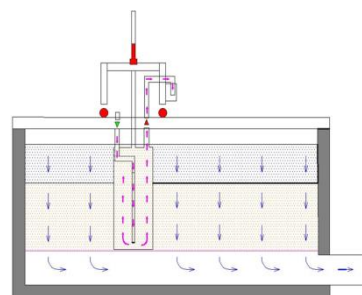


Рис. 10: подача воздуха на
промывку

Fig. 10: air supply for washing

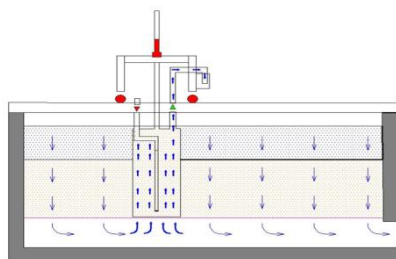


Рис. 11: Откачка воды на промывку

Fig. 11: Pumping water for washing

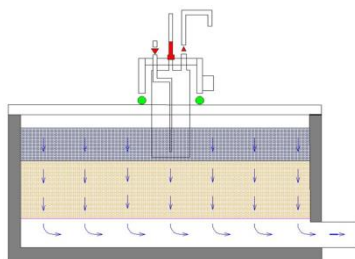


Рис. 12: Перемещение на
следующую позицию

Fig. 12: Move to the next position

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы является анализ системы непрерывной промывки фильтров, применяемой при подготовке воды в технологии опреснения морских вод. Выполнить оценку возможности внедрения технологии точечной промывки на водопроводных очистных сооружениях РК. Оценить экономическую выгоду от внедрения данной системы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве методики выполнения данной работы является сбор и систематизация материалов, по технологическим схемам и составу водопроводных очистных сооружений городов Республики Крым, их эксплуатационных показателей. Выполнение расчетов по экономии электроэнергии при исключении из расчетного напора на промывку геометрической составляющей и потерь напора на движение жидкости по трубопроводам на промывку.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В таблице 1 представлены сведения о ВОС в Республике Крым, источниками водоснабжения которых являются поверхностные воды: в первой колонке перечислены населенные пункты, водоснабжение которых осуществляется от рассматриваемых станций; вторая колонка – наименование ВОС; третья колонка – указана проектная мощность каждой станции. В четвертой колонке представлено количество фильтров на каждой станции, в пятой колонке приведена площадь одного фильтра или контактного осветлителя; в шестой колонке дана интенсивность промывки, а в седьмой колонке – продолжительность промывки; в восьмой – интенсивность подачи сжатого воздуха, в девятой – продолжительность подачи сжатого воздуха, на тех станциях, где применяется водо-воздушная промывка. В двенадцатой колонке указана марка, количество рабочих и резервных агрегатов. Марка насоса приведена фактическая в соответствии с паспортными данными ВОС. В тринадцатой колонке записана мощность электродвигателя промывных насосов. В десятой колонке рассчитано суточное потребление мощности на промывку всех фильтров каждой станции с учетом 2-х разовой промывки в сутки. Например, расчет потребляемой мощности для ВОС «Петровские скалы» определим по следующему выражению:

$$\sum N_{\text{сум}} = \frac{N \cdot t}{60} \cdot 2 \cdot n \cdot m =$$
$$= \frac{160 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 6}{60} = 384 \text{ кВт} \quad (1)$$

где N – потребляемая мощность промывного насоса при промывке фильтра, кВт;

t – продолжительность промывки одного фильтра, мин;

n – количество одновременно работающих насосов при промывке;

m – количество фильтров на станции.

В четырнадцатой колонке рассчитана часовая подача воды на промывку, определенная с целью проверки фактических насосов, установленных на ВОС и определение марок насосов для тех станций, по которым не предоставлена информация о марке промывных насосов:

$$Q = F \cdot \omega \cdot 3,6 = 57 \cdot 14 \cdot 3,6 = 2872,8 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где F – площадь фильтрующей поверхности фильтра, м²;

ω – интенсивность промывки, л/с·м²;

3,6 – переводной коэффициент;

В пятнадцатой колонке представлен рабочий напор промывного насоса, а в шестнадцатой колонке статическая составляющая расчетного напора. Если исключить из требуемой мощности промывного насоса статическую составляющую, и потерь напора в трубопроводах при заборе воды из РЧВ и транспортировке ее при промывке к фильтру, тогда рассчитанную мощность необходимую при промывке поместили в одиннадцатой колонке.

На рис. 13 и 14 представлены планы главного корпуса Севастопольских и Феодосийских ВОС соответственно.

В таблице 2 представлены данные по результатам определения расходов воды на одну промывку скорого фильтра, всех фильтров станции и определения процента расхода воды на промывку от суточной производительности станции.

Расход воды на одну промывку определяется по выражению:

$$Q = \frac{F \cdot \omega \cdot t \cdot 60}{1000} = \frac{57 \cdot 14 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 287,3 \text{ м}^3, \quad (3)$$

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

При водовоздушной промывке величина q_{np} определяется как сумма соответствующих величин на отдельных этапах промывки.

Режим водовоздушной промывки следует определять принимать по п. 9.95 СП 31.13330.2012 и принимается по следующим этапам:

1 этап: взрыхление загрузки воздухом, интенсивностью $15...20 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, в течение $1...2 \text{ мин}$;

2 этап: совместная водовоздушная промывка при подаче воздуха $15...20 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$ и воды $3...4 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, при продолжительности $4...5 \text{ мин}$,

3 этап: дополнительная промывка водой с интенсивностью $6...8 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, в течении $4...5 \text{ мин}$.

По воздуху: $q_{np} = 18 \cdot 2 \cdot 60 + 18 \cdot 5 \cdot 60 = 2160 + 5400 = 7560 \text{ л/м}^2 = 7,56 \text{ м}^3 / \text{м}^2$.

По воде: $q_{np} = 3 \cdot 5 \cdot 60 + 6 \cdot 5 \cdot 60 = 900 + 1800 = 2700 \text{ л/м}^2 = 2,7 \text{ м}^3 / \text{м}^2$.

Тогда расход воды на одну промывку $Q_{вод}$ при водовоздушной промывке можно определить как:

$$Q_{вод} = F \cdot q_{np} = 2,7 \cdot 57 = 153,9 \text{ м}^3, \quad (4)$$

При этом суммарный расход при двух разовой промывки в сутки фильтров составит:

$$\sum Q_{вод} = 2 \cdot n \cdot F \cdot q_{np} = 2 \cdot 6 \cdot 2,7 \cdot 57 = 1846,8 \text{ м}^3 \quad (5)$$

В системах очистки питьевой воды применением ТО обеспечивается непрерывный процесс фильтрования, без переходных режимов, которые связаны с включением и выключением насосного оборудования, изменением направлений движения потоков. Установочная мощность

насосных и воздуходувных агрегатов, а также их электродвигателей для ТО будет в $10...12$ раз меньше, чем при традиционном способе циклической промывки. А водовоздушная промывка при ТО сокращает расход промывной воды в $1,98$ раза

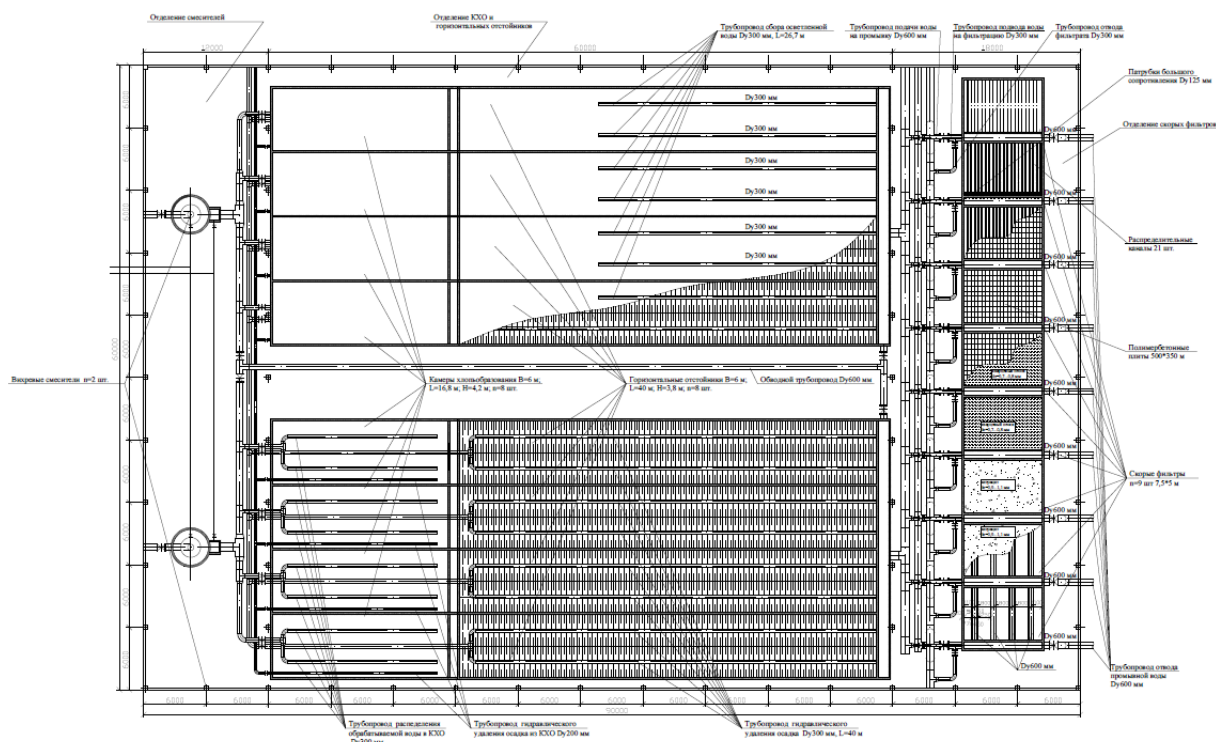


Рис. 13. План главного корпуса Севастопольских ВОС 2-го бока

Fig. 13. Plan of the main building of Sevastopol VOS 2nd side

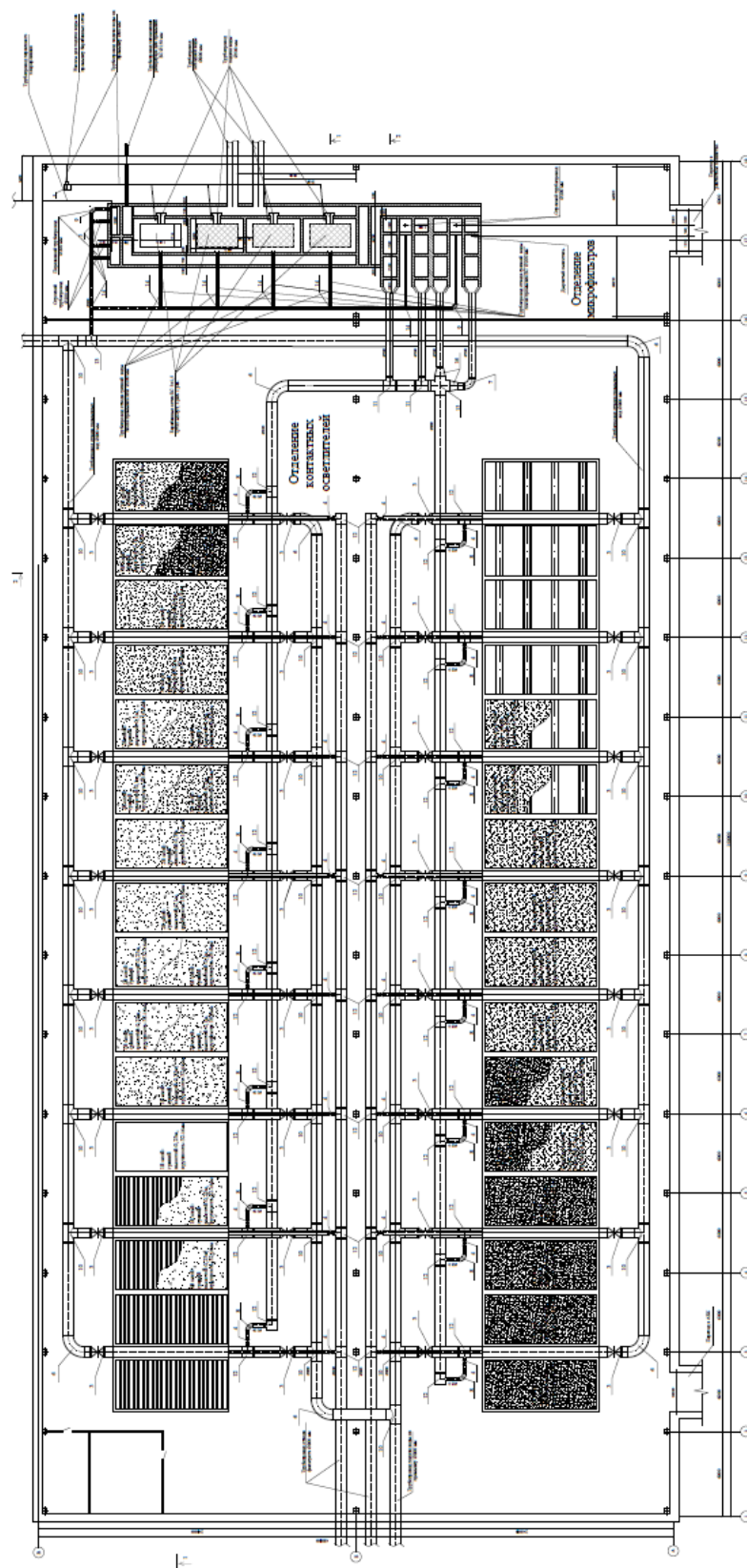


Рис. 14. План главного корпуса Феодосийских ВОС

Fig. 14. Plan of the main building of Feodosiya water treatment facilities

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА
ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

Таблица 1 – Сводные данные по возможности применения ТО фильтров на ВОС РК
Table 1-Summary of the possible application of filters TO the water treatment facilities RC

Объект водоснабжения	Наименование ВОС	Проектная мощность, тыс. м³/сут	Количество фильтров, шт.	Площадь, м²	Интенсивность подачи воды л/с·м²	Продолжительность промывки, мин	Интенсивность подачи воздуха л/с·м²	Продолжительность промывки, мин	Фактическая потребляемая мощность на промывку всех фильтров станции 2 раза	Потребляемая мощность на промывку, кВт	Марка насоса	Мощность насоса, кВт	Подача воды на промывку, м³/ч	Полный расчетный напор промывного насоса, м	Геометрическая составляющая в расчетном напоре промывного насоса,
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Симферополь	«Петровские скалы»	80	6	57	14	6	-	-	384	70	550 Д 22 2 рабочих 1 резервный	160	2872,8	22	18
	«Приютное свидание»	80	10	43,2	16	6	-	-	640	146,3	2 насоса 20НДН,	160	2500	17,5	13,5
Севастополь	«Жаворонки»	225	15	118	12	6	-	-	1920	256	Д 3200-33 2 рабочих 1 резервный	320	6220,8	30	26
	1 блок	63	8	24	-	-	18	1	415,8		Д 630-90 2 рабочих 1 резервный	81	518,4		
					3,5	5	18	5							
			6	24	6	6	-	-							
					-	18	1	-							
	2 очередь				5	18	5	3,5							
					6	-	-	6							
	2 блок	63	9	37,5	14	7	-	-	462	213,7	1Д1250-636 2 рабочих 1 резервный	110	1890	13,6	7,31
Ялта, Большая Ялта	Ялтинские ВОС	106	12	48	14	6	-	-	355,2	84,6	2Д2000-21 2 рабочих 1 резервный	148	2420	21	16
Феодосия, Судак, Коктебель, Новый Свет	Феодосийские ВОС	100	16	62,2	14	6	-	-	598,4	132,98	1Д2000-21 1 рабочий 1 резервный	313,5	3134,88	18	14
Алушта, Малый Маяк	Алуштинские ВОС	43	8	36	14	7	-	-	186,7	62,2	400Д-190 1 рабочий 1 резервный	100	1814,4	12	8
пгт Ленино, окрестные села	Ленинские ВОС	40 10	8	28	14	6	-	-	224	62,22	1Д2000-21а 2 рабочих 1 резервный	206	4198,32	18	13
г. Керчь	Керченские ВОС	100 40	10	83,3	14	6	-	-	412	82,4	1Д1600-90 2 рабочих 1 резервный	155	2099,2	25	20

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА
ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

Продолжение таблицы 1

Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Промывка от водонапорной башни													Расход воды на одну промывку , м ³		
г. Щелкино, с. Калиновка, с. Мысовое, с. Азовское, с. Заводское, с. Семеновка (280)	Самарлинские ВОС	20	4	28	14	6	-	-	160	45	IK160/30, I рабочий I резервный	20	141,12	18	13
с. Горноостовка, с. Новониколаевка, с. Чистополье	Станционные ВОС	20 4	4	28	14	6	-	-	160	45	IK160/30, I рабочий I резервный	20	141,12	18	13
с. Марьевка, с. Пташкино, с. Заветное	Сокольские ВОС	3 0,4	3	6	14	6	-	-	39	11	IK45/30, I рабочий I резервный	6,5	30,24	18	13
г. Старый Крым, с. Тутовское с. Первомайское с. Жемчужина Крыма, с. Изобильное с. Изюмовка и орошение	Старокрымские ВОС	20 9	5	36	14	6	-	-	128	36	IK100-80-160, I рабочий I резервный	12, 8	181,44	18	13

Таблица 2 – Данные по расходам воды на промывку фильтров на ВОС РК

Table 2 - data on water consumption for flushing filters on water treatment facilities RC

Наименование ВОС	«Петровские скалы»	«Приютное свидание»	«Жаворонки» ¹	1 блок		2 блок	Ялтинские ВОС	Феодосийские ВОС	Алуштинские ВОС	Ленинские ВОС	Керченские ВОС	Самарлинские ВОС	Станционные ВОС	Сокольские ВОС	Старокрымские ВОС
				1 очередь	2 очередь										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Расход воды на одну промывку, м ³	287,3	248,8	509,8	77,1	77,1	220,5	241,9	313,5	211,7	151,2	419,8	141,12	141,12	30,24	181,44
Расход воды на промывку в сутки·м ³	3447,4	4976,7	15292,8	1232,6	924,5	3969	6687,8	10031,6	3386,9	1512	8396,6	1128,96	1128,96	181,44	1814,2
Потребления от суточной производительности ВОС, %	4,3	6,2	6,8	1,9	1,5	6,3	5,5	10,03	7,9	7,6	8,4	5,6	5,6	6,03	9,07

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОМЫВКИ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 2
Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Расход воды на одну промывку, м ³	153,9	116,64	318,6	.	.	101,25	129,6	167,94	97,2	75,6	224,91	75,6	75,6	16,2	97,2
Расход воды на промывку в сутки·м ³ при условии применения водовоздушной	1846,8	2332,8	9558	.	.	2430	3110,4	5374,08	1555,2	1209,6	4498,2	604,8	604,8	97,2	972

Примечание 1. Объект в данный момент законсервирован и в суммарный суточный расход в расчеты не включен.

Проанализировав данные приведенные в таблице 1 можно сделать вывод о том, что внедрение технологии ТО позволит ежесуточно сэкономить от 77 до 82% электроэнергии потребляемой станцией на промывку скорых фильтров в зависимости от технологической и высотной схемы ВОС.

Проанализировав данные приведенные в табл. 2 можно сделать вывод о том, что потребление воды на промывку фильтров составляет от 1,5....10,03 % от суточной производительности ВОС. Суммарные безвозвратные потери по всем 12 станциям составляют 48818,66 м³/сут, что представляет общее водопотребление для такого города как Алушта. При внедрении водовоздушной промывки суммарный расход промывной воды составит 24635,88 м³/сут. что существенно позволит экономить водные ресурсы.

ВЫВОДЫ

Технология промывки фильтров методом ТО является инновационным методом, который получил широкое распространение за рубежом в системах опреснения морских вод.

Решение вопроса о сокращении безвозвратных потерь воды на ВОС РК является важной научно-технической задачей, требующей комплексного решения.

Применение метода точечной очистки при регенерации скорых фильтров позволит сэкономить дефицитные водные ресурсы и существенно снизить потребление электроэнергии производственными предприятиями, за счет снижения расчетного напора на промывку скорых фильтров, что, в свою очередь, даст возможность снизить эксплуатационные затраты в структуре себестоимости очистки питьевой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. – Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод/Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г. Вологда - Москва: ВоГТУ, 2001. – 324 с.
2. Котовская, Е.Е. Оценка качественных показателей источников централизованного питьевого водоснабжения г. Симферополя и их влияния на технологию очистки [Текст] / Е.Е. Котовская // Строительство и техногенная безопасность. — Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского – 2017. – №7(59). – С. 73-81.
3. Крымова Юлия. «Как очищают воду в Крыму». Электронный ресурс: режим доступа <https://crimea.vgorode.ua/news/kommunalnka/172132-kak-ochyschaut-vodu-dlia-sevastopolia-reportazh-iz-sevastopolskoho-vodokanala>
4. Гироль, Н.Н. Выбор оптимального режима реагентной очистки промывных вод водоочистных станций. / Н.Н Гироль, С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев, А.А. Копачевский, П.Л. Богущий // Строительство и техногенная безопасность — 2005. — Вып. 10. — С. 193—197.
5. Гироль, Н.Н. Экономичные технологии обезвреживания производственных отходов городских водоочистных станций. / Н.Н, Гироль, С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев, А.А. Копачевский, Е.Е.Котовская // Строительство и техногенная безопасность — 2005. — Вып. 11. — С. 187—192.
6. Innovative Multi-Media Filter – Continuous Backwash Filter/ В. Liberman, V. Levitin, G. Greenberg// Электронный ресурс: режим доступа: http://www.ide-tech.com/wp-content/uploads/2013/09/Innovative-Multi-Media-Filter-%E2%80%93-Continuous-Backwash-Filter_February-2014.pdf (время обращения 15.01.2018 г.)

REFERENCES

1. Water supply. Design of systems and structures: In 3 tons - T.2. Purification and conditioning of natural waters / Scientific and methodical guidance and the general version of the Doct. tech. Sciences, prof. Zhurbin M.G. Vologda - Moscow: VOGT, 2001. - 324 p.
2. Kotovskaya, E.E. Assessment of qualitative indicators of the sources of centralized drinking water supply in Simferopol and their impact on purification technology [Text] / E.E. Kotovskaya // Building and technogenic security. - Simferopol: Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky - 2017. - № 7 (59). - P. 73-81.
3. Krymova Julia. "How to clean the water in the Crimea." Electronic resource: access mode <https://crimea.vgorode.ua/news/kommunalka/172132-kak-ochyschaut-vodu-dlia-sevastopolia-reportazh-iz-sevastopolskoho-vodokanala>
4. Gyrol, N.N. The choice of the optimum regime for reagent cleaning of wash water from wastewater treatment plants. / N.N. Gyrol, S.D. Boychuk, V.A. Myakishev, A.A. Kopachevsky, P.L. Bogutskiy // Building and Technogenic Security - 2005. - Issue. 10. - P. 193-197.
5. The Gyro. N.N. Economical technologies for neutralizing industrial wastes from urban wastewater treatment plants. / NN, Gyrol, S.D. Boychuk, V.A. Myakishev, A.A. Kopachevsky, E.E. Kotovskaya // Building and Technogenic Security - 2005. - Issue. 11. - P. 187-192.
6. Innovative Multi-Media Filter - Continuous Backwash Filter / B. Liberman, V. Levitin, G. Greenberg // Electronic resource: access mode: http://www.ide-tech.com/wp-content/uploads/2013/09/Innovative-Multi-Media-Filter-%E2%80%93-Continuous-Backwash-Filter_February-2014.pdf (time of circulation 01/15/2018)

THE ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF INTRODUCTION OF SYSTEM OF CONTINUOUS WASHING AT WATER TREATMENT FACILITIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Fetlyaev E.E.

Summary. The paper discusses the technological scheme of preparation of drinking water from surface sources on the territory of the Republic of Crimea, describes the problems associated with treatment and discharge into water bodies of wash water. The scheme targeted washing of rapid filters, which became popular in Israel in the technology of seawater desalination. The possibility of applying the existing water treatment facilities of the Republic of Crimea technology spot cleaning of rapid filters. The calculated energy savings when replacing standard washing of filters to rinse with spot-cleaning.

Key words: water treatment plants, flushing the double-layer filters, spot cleaning, feeding system, compressed air, flushing pumps, piping, air ducts.

ЗАВИСИМОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ, МОЩНОСТИ И ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ МАШИН ОТ ЧАСТОТЫ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Абибуллаев А.Н.

Физико-технический институт
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Аннотация. Проведен анализ изменения скольжения и вращающего момента асинхронных двигателей при изменении частоты питающей сети. Для асинхронных машин приведены выражения для расчета активной и реактивной мощностей. Уменьшение частоты ведет к уменьшению рабочего скольжения и к росту суммарной реактивной мощности и вращающего электромагнитного момента. Показаны расчетные и экспериментальные данные колебания и биения напряжения в сети при изменении частоты. Также рассмотрено влияние величины скольжения на электромагнитный вращающий момент.

Ключевые слова: асинхронная машина, скольжение, вращающий момент, частота, мощность.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных условий обеспечения нормальной работы электродвигателей является питание их электроэнергией, параметры которой соответствуют определенным требованиям к ее качеству.

Основные показатели качества электроэнергии (ПКЭ) связаны с такими параметрами, как отклонения частоты и напряжения, колебания напряжения, несинусоидальность и несимметрия напряжения [1]. Напряжение сети, в свою очередь, зависит от реактивной мощности [2, 3] и при ее нехватке возникает необходимость в дополнительном регулировании. Изменение ПКЭ сети приводит к протеканию переходных процессов в асинхронных машинах, которые используются как для генерации электроэнергии, так и в качестве потребителей [4 – 6].

Во избежание длительного нарушения нормальной работы электродвигателей основные ПКЭ не должны выходить за пределы своих нормальных значений, а в послеаварийных режимах – за пределы определенных максимальных значений.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

При протекании переходных процессов в энергосети существенно могут меняться ПКЭ.

Жесткие требования стандарта к отклонениям частоты питающего напряжения обусловлены ее значительным влиянием на режимы работы электрооборудования, ход технологических процессов производства и, как следствие, технико-экономические показатели работы промышленных предприятий. То есть, предприятия терпят убытки, которые могут быть выражены в виде двух составляющих:

- Электромагнитная составляющая ущерба (уменьшение электромагнитной индукции и выработки двигателей) обусловлена увеличением потерь активной мощности в электрических сетях и ростом потребления активной и реактивной мощностей. Известно, что снижение частоты на 1% увеличивает потери в электрических сетях на 2% [7].

- Технологическая составляющая ущерба вызвана в основном недопуском промышленными предприятиями своей продукции и стоимостью дополнительного времени работы предприятия для выполнения задания.

Согласно экспертным оценкам значение технологического ущерба на порядок выше электромагнитного. Оборудование любого предприятия должно работать в режиме, способствующем энергосбережению [8 – 10].

Отклонения частоты отрицательно влияют на работу электронной техники: изменение на величину более +0,1 Гц приводит к яркостным геометрическим фоновым искажениям телевизионного изображения; если ее значение лежит в диапазоне от 49,9 до 49,5 Гц, это влечет за собой почти четырехкратное увеличение допустимого размаха телевизионного сигнала по сравнению со значением новой помехи [11].

Пониженная частота электрической сети влияет на срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью (электродвигатели, трансформаторы, реакторы со стальным магнитопроводом), за счет увеличения тока намагничивания в таких аппаратах и дополнительного нагрева стальных сердечников. Например, отклонение частоты влияет на надежность и долговечность работы электродвигателей, а также на их тепловой режим. Кроме того, для асинхронных и синхронных двигателей тепловой режим зависит не только от величины напряжения, но и от степени загрузки.

Анализ работы предприятий с непрерывным циклом производства показал, что большинство основных технологических линий оборудовано механизмами с постоянными и вентиляторными моментами сопротивлений, а их приводами служат асинхронные двигатели. Частота вращения роторов двигателей пропорциональна изменению частоты сети, а производительность технологических линий зависит от частоты вращения двигателя. В связи с этим целесообразно выявить ее влияние на момент и мощность.

Наиболее чувствительны к понижению частоты двигатели собственных нужд электростанций. Результатом такого изменения параметров сети является уменьшение их производительности, что сопровождается снижением располагаемой мощности генераторов и частоты (имеет место лавина частоты) из-за дальнейшего дефицита активной мощности.

Такие электропотребители, как лампы накаливания, печи сопротивления, дуговые электрические печи на колебание частоты практически не реагируют.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является анализ параметров асинхронных машин при отклонении частоты сети от номинального значения. Задачи

включают: получение зависимостей скорости изменения скольжения и вращающего момента двигателя от частоты; анализ изменения мощности; рассмотрение случаев возникновения колебаний и биений напряжения в энергосистемах при отклонении частоты.

Используемые методы исследований: математический анализ, составление дифференциальных уравнений, экспериментальные измерения параметров и графические построения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Изменение частоты электроэнергии при неизменном напряжении $U_1 = U_{ном} = const$ для питания асинхронного электродвигателя приводит к изменению потока Φ_m и соответствующему изменению тока ротора I_2 и нагрузочной составляющей тока статора.

Если принять $U_1 \approx E_1$, то э.д.с. обмотки статора определяется по формуле [11]

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot K_{06.1} \cdot \Phi_m, \quad (1)$$

где f_1 – частота питания электродвигателя;

w_1 – число витков обмотки статора;

$K_{06.1}$ – обмоточный коэффициент для обмотки статора;

Φ_m – магнитный поток.

Из выражения (1) получим

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot K_{06.1}}. \quad (2)$$

Из формулы электромагнитного момента двигателя очевидна связь между значением момента и физическими явлениями, происходящими в двигателе [11]:

$$M = C_M \cdot \Phi_m \cdot I_2 \cdot \cos \Psi_2, \quad (3)$$

где Ψ_2 – сдвиг по фазе между э.д.с. и током ротора;

$C_M = \frac{pm_2 K_{06.2}}{\sqrt{2}}$ – магнитная постоянная;

p – число пар полюсов;

m_2 – число фаз в обмотке ротора;

$K_{06.2}$ – обмоточный коэффициент для обмотки ротора;

I_2 – ток ротора.

Из формулы (3) имеем

$$I_2 = \frac{M}{C_M \cdot \Phi_m \cdot \cos \Psi_2}. \quad (4)$$

При уменьшении частоты магнитный поток и ток холостого хода I_0 увеличиваются, причем ток I_0 из-за насыщения стали магнитопровода возрастает быстрее, чем магнитный поток. Уменьшение частоты f_1 на 10% вызывает увеличение тока I_0 на 20-30%. Ток I_0 является практически реактивным, это приводит к снижению коэффициента мощности двигателя. С увеличением частоты f_1 пропорционально возрастает частота вращения. Магнитный поток Φ_M уменьшается обратно пропорционально частоте. Согласно формуле (4) это приводит к резкому увеличению тока I_2 . При неизменном нагрузочном моменте увеличение частоты повышает опасность нарушения устойчивости двигателя, так как снижается максимальный момент двигателя пропорционально квадрату частоты f_1^2 .

Характеристики асинхронного двигателя при частотах питающего напряжения, отличающихся от номинального значения, зависят от соотношения между напряжением сети U_1 и частотой f_1 .

Зависимость максимального момента от напряжения и частоты выражается формулой

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 \cdot U_1^2}{\left\{ 2 \cdot \omega_1 \cdot C_1 \cdot \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 \cdot x_2')^2} \right] \right\}}, \quad (5)$$

где m_1 – число фаз в обмотке статора;

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p$$

– угловая частота вращения магнитного поля

статора;

C_1 – коэффициент, равный U_1/E_1 ;

r_1 – активное сопротивление обмотки статора;

x_1 – реактивное сопротивление обмотки статора;

x_2' – реактивное сопротивление обмотки ротора в схеме замещения асинхронного двигателя.

При $C_1=1$ (для упрощенной схемы замещения с вынесенным намагничивающим контуром), получаем

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 \cdot U_1^2}{\frac{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}{p}}, \quad (6)$$

а пренебрегая величиной r_1 ввиду его малого значения, имеем

$$M_{max} \approx \pm \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot p}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (x_1 + x_2')} = \pm \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot p}{8 \cdot \pi \cdot f_1^2 \cdot (L_1 + L_2')} = \pm \frac{C \cdot U_1^2}{f_1^2}, \quad (7)$$

где C – постоянная величина.

При изменении частоты f_1 изменяется максимальный момент, то есть отношение максимального момента M_{max} к нагрузочному моменту $M_{ном}$. Для устойчивой работы двигателя необходимо обеспечить перегрузочную способность $M_{max}/M_{ном} \geq (1,7 \div 2)$.

Характеристики зависимости величины электромагнитного момента в относительных единицах $M_i/M_{ном}$ от частоты ротора f_2 при различных значениях частоты питающего напряжения f_1 и законе регулирования $U_1/f_1 = const$ приводятся в литературе [12].

Схемы замещения асинхронного двигателя представлены на рисунке 1.

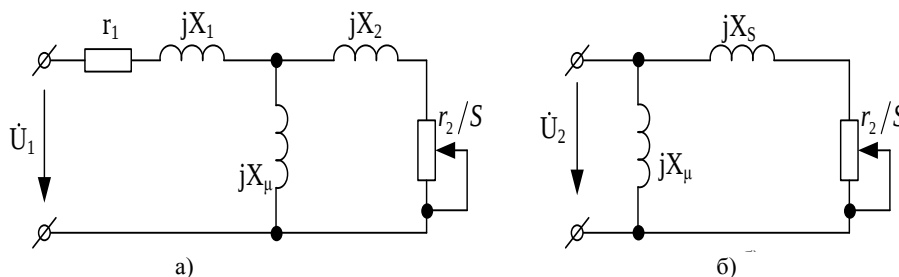


Рис.1. Полная (а) и упрощенная (б) схемы замещения асинхронного двигателя
Fig.1. Complete (a) and simplified (б) charts of substituting for an asynchronous engine

Переходные процессы в асинхронном двигателе описываются дифференциальными уравнениями движения ротора [1]

$$\frac{T_l}{\omega_0} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \omega_0 \cdot (M_{эл} - M_{мех}), \quad (8)$$

$$T_l \cdot \frac{ds}{dt} = \omega_0 \cdot (M_{мех} - M_{эл}), \quad (9)$$

где $M_{эл}$ – электромагнитный вращающий момент двигателя;

$M_{мех}$ – механический момент вращения;

$$M_{эл} = \frac{U_1^2}{\omega_0} \cdot \frac{r_2 \cdot s}{\left[(x_1 + x_2 \cdot c_1) \cdot s - \frac{r_1 \cdot r_2}{x_\mu} \right]^2 + [r_2 \cdot c_1 + r_1 \cdot c_2 \cdot s]^2}, \quad (10)$$

где $c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_\mu}$ и $c_2 = 1 + \frac{x_2}{x_\mu}$ – коэффициенты;

$U_1 = \sqrt{U_d^2 + U_q^2}$ – напряжение на зажимах статора двигателя;

r_2 – активное сопротивление обмотки ротора;

x_2 – реактивное сопротивление обмотки ротора;

x_μ – сопротивление рассеивания.

При наличии электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе электромагнитными переходными процессами в обмотках двигателя пренебрегаем. В этом случае переходные процессы в асинхронном двигателе определяются только изменением его скорости вращения, и дифференциальное уравнение имеет вид

$$\dot{E}_1 \cdot [1 + j(\omega_0 - \omega_2)T_l] + jI_c \cdot x = 0, \quad (11)$$

где $x = \frac{x_\mu^2}{x_2 + x_\mu}$.

Так как

$$\dot{E}_1 = \dot{I}_c(r_1 + jx) = \dot{U}_1, \quad (12)$$

то при подстановке (11) в (12) получаем после преобразований

$$\dot{U}_1 = -\dot{I}_c \left[(r_1 + jx_1) + \frac{jx_\mu(r_2/s + jx_2)}{r_2/s + j(x_2 + x_\mu)} \right], \quad (13)$$

где $s = \frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0}$ – скольжение ротора асинхронного двигателя относительно поля статора, вращающегося с угловой скоростью ω_0 .

Выражение (10) можно получить из схемы замещения (рис. 1, а), пользуясь соотношением

$$\omega_0 \cdot M_{эл} = I_p^2 \frac{r_2}{s}. \quad (14)$$

ω_0 – синхронная частота вращения;

s – скольжение;

T_l – постоянная инерции агрегата.

С учётом установившегося режима работы асинхронного двигателя, когда для уравнений (8) и (9) $\frac{d}{dt} = 0$, электромагнитный вращающий момент двигателя $M_{эл}$

Пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора (r_1) вследствие его малого значения, выражение электромагнитного момента приобретает вид

$$M_{эл} = \frac{U_1^2}{\omega_0} \cdot \frac{r_2 s}{(x_1 + x_2 c_1)^2 s^2 + c_1^2 r_2^2}. \quad (15)$$

Максимум характеристики $M_{эл} = f(s)$ наступает при скольжении, равном критическому

$$s_{кр} = \frac{c_1 r_2}{x_1 + x_2 c_1} \quad (16)$$

и определяется выражением

$$M_{эл.мах} = \frac{U_1^2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{2c_1(x_1 + x_2 c_1)}. \quad (17)$$

Для рисунка 1, б

$$x_s = x_1 + x_2, \quad (18)$$

$$s_{кр} = \frac{r_2}{x_s}, \quad (19)$$

$$M_{эл.мах} = \frac{U_1^2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{2x_s}. \quad (20)$$

При $\omega_0 = 2\pi f_1$; $x_s = 2\pi fL$

$$M_{эл.мах} = \frac{U_1^2}{8\pi^2 f_1^2 L}. \quad (21)$$

Уменьшение частоты ведет к увеличению $M_{эл.мах}$, к уменьшению рабочего скольжения и к росту суммарной реактивной мощности.

ЗАВИСИМОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ, МОЩНОСТИ И ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ МАШИН ОТ ЧАСТОТЫ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Частота вращающегося магнитного поля в статоре зависит от частоты питающего напряжения

сети. На рисунке 2 показана зависимость частоты вращения поля статора от частоты напряжения сети.

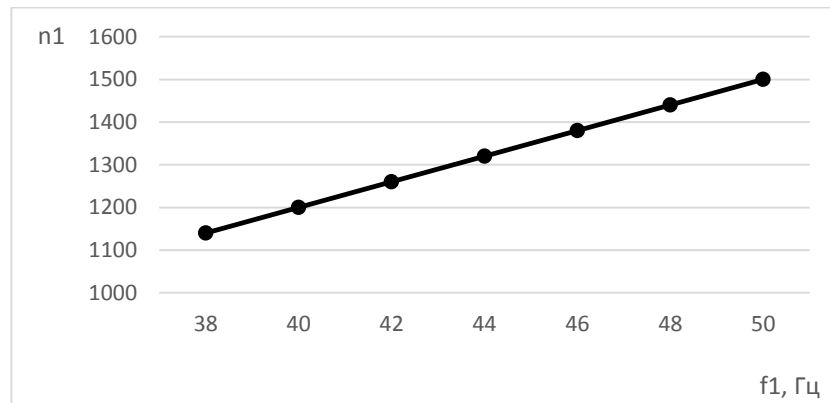


Рис. 2. Зависимость частоты вращающегося магнитного поля статора n_1 от частоты f_1 напряжения сети

Fig. 2. Dependence of the frequency of rotating magnetic field of the stator n_1 on the frequency f_1 of the network voltage

Скольжение асинхронной машины, работающей в режиме двигателя, изменяется от нуля до единицы.

Частота тока в роторной обмотке

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60n_1} \cdot n_1 = s \cdot f_1. \quad (22)$$

Следовательно

$$s = \frac{f_2}{f_1} = \frac{(f_1 - \Delta f)}{f_1} = 1 - \frac{\Delta f}{f_1}. \quad (23)$$

Найдем производную скольжения s по частоте f_1

$$\frac{ds}{df} = \frac{d\left(1 - \frac{\Delta f}{f_1}\right)}{df} = \frac{1}{f_1^2}. \quad (24)$$

Из уравнения (24) видно, что скорость изменения скольжения при изменении частоты имеет обратно пропорциональную квадратичную зависимость. Построим график данной зависимости (рисунок 3).

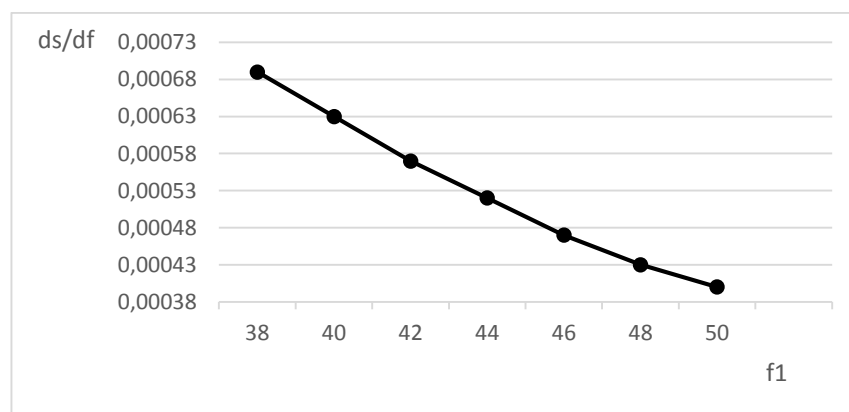


Рис. 3. Скорость изменения скольжения при изменении частоты сети $ds/df = F(f)$

Fig 3. Speed of change of sliding at the change of frequency of network $ds/df = F(f)$

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60f_1}{p}(1 - s). \quad (25)$$

Скольжение s влияет на вращающий момент асинхронного двигателя

$$M_{эл} = C_M \cdot U_1^2 \frac{\frac{r_2}{s}}{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_{2K}^2}, \quad (26)$$

где x_{2K} – индуктивное сопротивление заторможенного ротора.

Реактивное сопротивление обмотки ротора

$$x_2 = \omega_2 \cdot L_2 = 2\pi s f_1 L_2 = s \cdot x_{2K} \quad (27)$$

и при $s = 0$, $M_{эл} = 0$; при $s = 1$, $M_{эл} = M_{пуск}$; при $s = s_{кр}$, $M_{эл} = M_{max}$.

Чтобы определить максимальный момент, продифференцируем вращающий момент $M_{эм}$, описываемый выражением (26), по скольжению s и приравняем результат к нулю

$$\frac{dM_{эл}}{ds} = C_M U_1^2 \frac{\frac{r_2^3}{s^4} - \frac{r_2 \cdot x_{2K}^2}{s^2}}{\left(\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_{2K}^2\right)^2}. \quad (28)$$

Так как скольжение $s_k = \frac{r_2}{x_{2K}}$, то

$$M_{max} = C_M U_1^2 \frac{1}{2x_{2K}}. \quad (29)$$

Величина максимального вращающего момента не зависит от активного сопротивления цепи ротора, при этом при увеличении активного

сопротивления максимальный вращающий момент будет смещаться в область больших скольжений. С уменьшением частоты сети f_1 будет увеличиваться критическое скольжение, максимальный вращающий момент также будет смещаться в область больших скольжений.

Из формулы (25) видно, что для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя можно изменять частоту питающего напряжения (использование частотных преобразователей).

Мощность асинхронного двигателя напрямую зависит от вращающего момента, следовательно, с увеличением вращающего момента будет расти и мощность. В двигательном режиме максимальный момент существенно снижается при уменьшении частоты ввиду возрастающего влияния падения напряжения на активное сопротивление статора, что приводит к уменьшению э.д.с. E_1 и магнитного потока двигателя. В генераторном режиме максимальный момент с понижением частоты возрастает, при этом магнитный поток машины увеличивается. Такие явления в генераторном режиме нежелательны, так как при малых частотах резко возрастает электромагнитный момент, что может привести к поломке вала машины.

Рассмотрим активные и реактивные мощности асинхронной машины. На рисунке 4 приведена эквивалентная схема замещения.

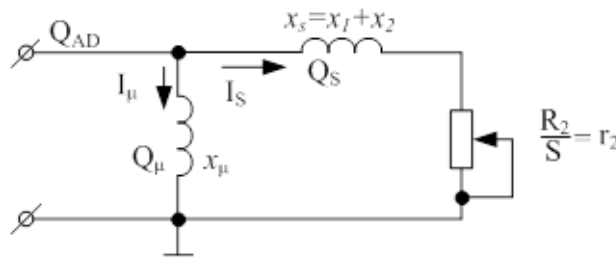


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения при расчете мощностей

Fig 4. Equivalent chart of substitution at the calculation of powers

Реактивная мощность определяется выражениями:

$$\begin{cases} Q_{AD} = Q_{\mu} + Q_s; \\ Q_{\mu} = \frac{U_1^2}{x_{\mu}} = \sqrt{3} I_{\mu} U_1^2; \\ Q_s = 3 \cdot I_s^2 \cdot x_s, \end{cases} \quad (30)$$

где Q_{AD} – суммарная реактивная мощность;

Q_{μ} – мощность, связанная с намагничивающим током;

Q_s – мощность от полей рассеяния в статоре и роторе;

I_{μ} – ток холостого хода.

Активная мощность асинхронной машины

ЗАВИСИМОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ, МОЩНОСТИ И ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ МАШИН ОТ ЧАСТОТЫ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

$$P_{AD} = \frac{U_1^2 \cdot R_2 \cdot s}{R_2^2 + (x_s \cdot s)^2} \quad (31)$$

Реактивная мощность, рассеиваемая на сопротивлении x_s ,

$$Q_s = 3 \cdot I_s^2 \cdot x_s = \frac{U_1^2 \cdot x_s \cdot s^2}{R_2^2 + x_s^2 \cdot s^2}, \quad (32)$$

следовательно,

$$Q_s = P_{AD} \cdot \frac{s}{s_{кр}}. \quad (33)$$

Активная и реактивная мощности асинхронной машины зависят от изменения частоты питающего напряжения. Снижение частоты уменьшает рабочее

скольжение, увеличивается суммарная реактивная мощность.

При генерации электрической энергии в общую энергосистему необходимо обеспечивать требования качества электрической энергии по напряжению $U_{ген} \geq U_{энергосети}$; $f_{ген} = f_{сети}$; $\varphi_{ген} = \varphi_{сети}$. При несоблюдении этих условий в электроэнергетической системе могут возникать модулированные колебания (рис. 5) и даже биения (рис. 6). Графики приведены для функции $f = U_1 \sin \omega_1 t + U_1 \sin \omega_2 t$. Причем на рис. 5 синусоида с напряжением $U_1 = 380$ В и частотами 50 Гц и 49 Гц, а на рис. 6 синусоида с аналогичным напряжением, но частотами 50 Гц и 45 Гц.

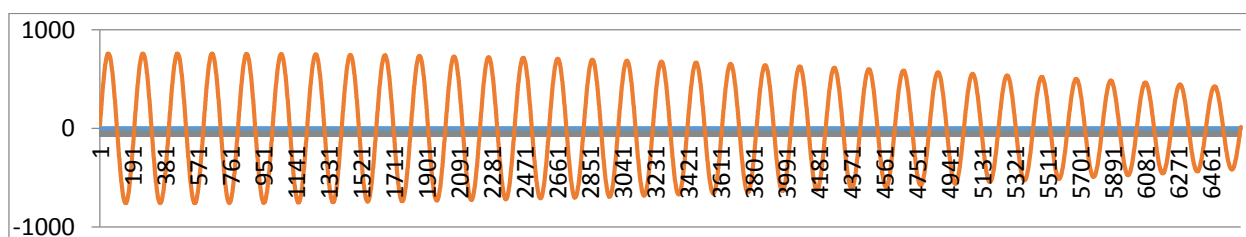


Рис. 5. Возникновение модулированных колебаний при изменении частоты

Fig. 5. Origin of the modulated vibrations at the change of frequency

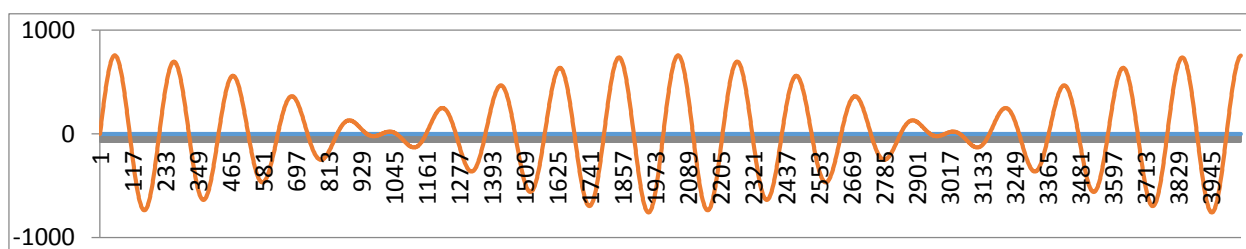


Рис. 6. Возникновение биений при изменении частоты

Fig. 6. Origin of beatings at the change of frequency

Электроэнергетические службы, обеспечивающие работу энергосистем с соблюдением требуемых нормативных данных по качеству электрической энергии, внимательно следят за изменением характеристик при подключении электрогенерирующих устройств и станций к общей системе, так как они могут генерировать напряжение с отличающимися частотами и фазами. При отключениях в общей энергосистеме частота напряжений малых генерирующих станций уменьшается и может падать до 38 Гц и ниже, при этом энергоагрегаты либо переводятся на электропитание собственных нужд, либо в худшем случае выходят из строя.

На рисунке 7 показаны биения напряжений и токов на энергоагрегатах генерирующей станции в Крыму. При аварийных режимах необходимо их

отключение либо автоматическое частотное регулирование

Частота в первый момент времени составила 46,97 Гц, а затем продолжила снижаться и в течение 1,6 секунды достигла критического значения 38,07 Гц. При этом напряжение так же снизилось. Так как при подобных условиях невозможно было провести регулировку, то это привело к отключению энергоблока.

Для обеспечения лучшего качества электрической энергии необходима энергонезависимость Крыма, так как любые аварии на достаточно протяженном маршруте передачи электроэнергии приведут к возникновению модуляций. Крым почти на 80% обеспечивается за счет внешних мощностей. Это приводит к тому, что на настоящий момент нет собственных

ЗАВИСИМОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ, МОЩНОСТИ И ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ МАШИН ОТ ЧАСТОТЫ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

электростанций, способных обеспечить потребителей от энергосистемы для стабилизации балансирование по частоте. Таким образом, в аварийных ситуациях потребуется отключение

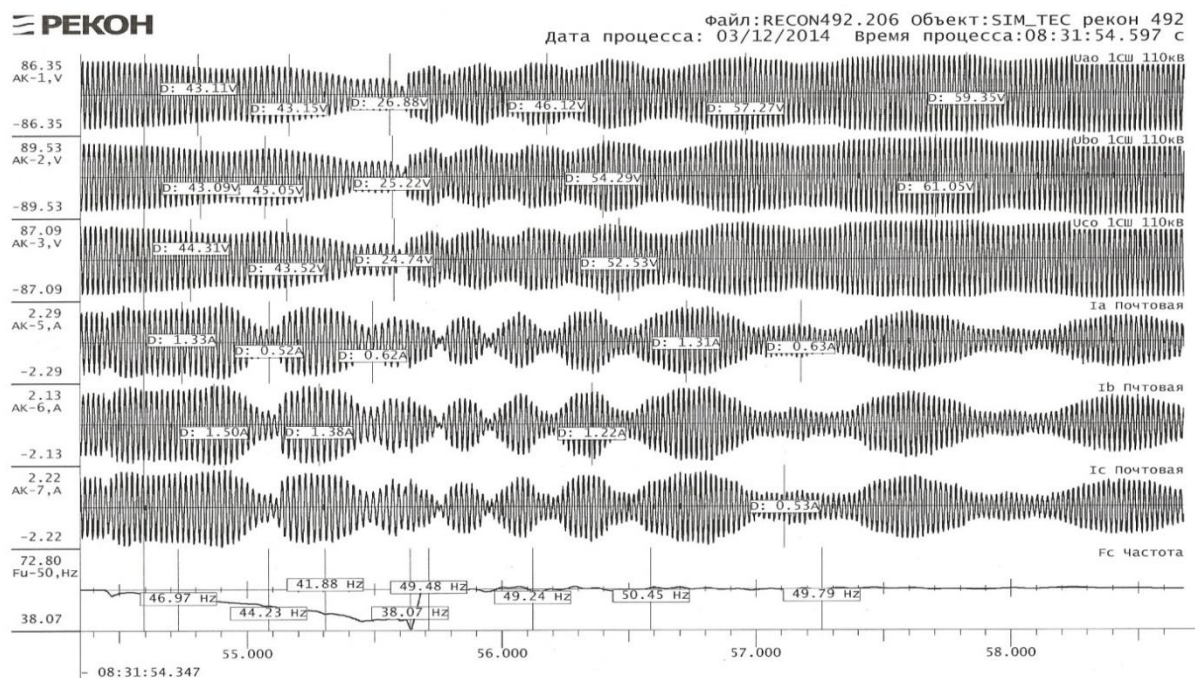


Рис. 7. Биения напряжений и токов на энергоагрегатах генерирующей станции

Fig. 7. Beats of voltages and currents on the power unit of the generating station

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе получены зависимости скорости изменения скольжения и вращающего момента асинхронного двигателя при изменении частоты питающей сети, приведены выражения для расчета мощности асинхронных машин. Активная и реактивная мощности зависят от частоты питающего напряжения по следующему алгоритму: снижение приводит к уменьшению рабочего скольжения, увеличению суммарной реактивной мощности и момента вращения. При переходных процессах колебания и биения напряжения могут привести к необходимости отключения энергоагрегатов от сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника

питания // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-6. С. 1210 – 1215.

2. Филюшов Ю.П., Филюшов В.Ю. Управление асинхронной машиной в условиях минимума реактивной мощности // Электротехника. 2014. № 2. С. 15 – 20.

3. Симаков Г.М., Филюшов Ю.П. Управление асинхронной машиной тягового электропривода в условиях минимизации реактивной мощности // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 2 (50). С. 39 – 46.

4. Лустенберг Г.Е. Расчет электромеханических переходных процессов в трехфазной асинхронной машине с применением свободного программного обеспечения // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2013. Т. 1. С. 259 – 263.

5. Ким К.И., Ким К.К. Переходные процессы в асинхронной машине. Санкт-Петербург: Издательство ОМ-Пресс, 2013. 90 с.

6. Христосенков С.А., Чуйко А.Д. Исследование переходных процессов протекающих в асинхронной машине // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т. 2. С. 421 – 425.

7. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Ежков В.В. Электроэнергетические системы в примерах и

иллюстрациях. Учебное пособие для вузов / под ред. В.А. Веникова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 504 с.

8. Дейнего В., Дуюнов Д., Иванов В. Повышение энергоэффективности асинхронных двигателей вторичного рынка как способ энергосбережения // *Электрик*. 2015. № 5. С. 30 – 35.

9. Цопа Н.В., Малахова В.В., Ковальская Л.С. О необходимости нормативного регулирования современной энергосберегающей политики в строительном комплексе // *Строительство и техногенная безопасность*. 2017. № 6 (58). С. 91 – 98.

10. Цопа Н. Особенности управления энергосбережением в инвестиционно-строительном комплексе // *Строительство и техногенная безопасность*. 2016. № 2 (54). С. 54 – 59.

11. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов ВТУЗ. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

12. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981. 432 с.

REFERENCES

1. Semyonov A.S., Matul G.A., Haziev R.R., Shevchuk V.A., Cherenkov N.S. Analysis of the quality of electrical energy during the operation of an induction motor from a three-phase power source. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 9-6, pp. 1210 – 1215. (In Russian).

2. Filyushov Yu.P., Filyushov V.Yu. Control of an asynchronous machine in conditions of minimum reactive power. *Ehlektrotehnika*. 2014. No. 2, pp. 15 – 20. (In Russian).

3. Simakov G.M., Filyushov Yu.P. Control of an asynchronous machine of traction electric drive in conditions of minimizing reactive power. *Vestnik transporta Povolzh'ya*. 2015. No. 2 (50), pp. 39 – 46. (In Russian).

4. Lustenberg G.E. Calculation of electromechanical transients in a three-phase asynchronous machine using free software. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2013. No. 1, pp. 259 – 263. (In Russian).

5. Kim K.I., Kim K.K. *Perekhodnye processy v asinhronnoj mashine* [Transients in an asynchronous machine]. St. Petersburg: Izdatel'stvo OM-Press. 2013. 90 p.

6. Hristosenkov S.A., Chujko A.D. Investigation of transients in an asynchronous machine. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2015. No. 2, pp. 421 – 425. (In Russian).

7. Astahov YU.N., Venikov V.A., Ezhkov V.V. *Ehlektronergeticheskie sistemy v primerah i illyustraciayah. Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Electric power systems in examples and illustrations. Textbook for high schools] / red. V.A. Venikov. Moscow: EHnergoatomizdat. 1983. 504 p.

8. Dejnego V., Dujunov D., Ivanov V. Increase of the energoefficiency of asynchronous engines of the second market as method of energy-savings. *Jelektrik*. 2015, No. 5, pp. 30 – 35. (in Russian).

9. Copa N.V., Malahova V.V., Koval'skaya L.S. On the need for regulatory regulation of modern energy-saving policies in the construction sector. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2017. No. 6 (58), pp. 91 – 98. (in Russian).

10. Copa N. Features of energy saving management in the investment and construction complex. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2016. No. 2 (54), pp. 54 – 59. (in Russian).

11. Vol'dek A.I. *Ehlektricheskie mashiny. Uchebnik dlya studentov VTUZ* [Electric machine. A textbook for students of technical colleges]. – EHnergiya. 1974. 840 p.

12. Bruskin D.Eh., Zorohovich A.E., Hvostov V.S. *Ehlektricheskie mashiny i mikromashiny. Uchebnik dlya vuzov* [Electric machines and micromachines. Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 1981. 432 p.

DEPENDENCE OF SLIDING, POWER, AND ROTATING MOMENT OF ASYNCHRONOUS MACHINES FROM THE NETWORK FREQUENCY IN TRANSITION MODE OF OPERATION

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

Summary The analysis of the sliding and rotating moment changes of asynchronous motors at the change of the supply network frequency is carried out. For asynchronous machines, expressions for the calculation of active and reactive power are given. The decrease in frequency leads to a decrease in the working sliding and to an increase in the total reactive power and rotating moment. The calculated and experimental data of the voltage fluctuation and beating in the network at the frequency change are shown. The effect of the sliding magnitude on the electromagnetic rotating moment is also considered.

Key words: asynchronous machine, sliding, rotating moment, frequency, power.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Федюшко Ю. М.

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

Аннотация. В данной статье описаны принцип работы и преимущество георадара, а так же показана методика диагностирования и оценка технического состояния гидротехнических сооружений георадиолокационными методами.

Ключевые слова георадар, радарограмм, гидротехнические сооружения

ВВЕДЕНИЕ

Успешность решения широкого круга задач георадаром заложена в принципе его действия. Геофизические измерения позволяют определить физические характеристики слоев грунта и сделать выводы об их строении и структуре материала с поверхности земли или воды. Принцип же работы георадара основан на использовании классических принципов радиолокации [1].

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. Скорость распространения волн записывается через равные промежутки вдоль одной линии. На основании таких радарограмм рассчитывается отображение подземных слоев, которое показывает картину расположения границ слоев и положение изолированных объектов. Исследуемой средой для георадара может быть любой материал: грунт, железобетон, бетон, кирпичная стена и др.

Исследования георадара активно и успешно проводит и в сфере обследования гидротехнических сооружений (ГТС). Достоинством метода является высокая производительность и высокая

разрешающая способность, как в плане, так и по глубине. Глубинность исследования - от первых десятков сантиметров до первых десятков метров [2].

Техническое состояние гидротехнических сооружений при проведении эксплуатационного мониторинга определяется с применением приборов неразрушающего контроля на основе выявления таких факторов, как:

- геометрические размеры конструкций и их сечений;
- наличие трещин, а также отколов и разрушений;
- количественные параметры прогибов и деформаций конструкций;
- фактические значения сцепления арматуры с бетоном после длительной эксплуатации элементов сооружения;
- наличие разрыва арматуры;
- степень коррозии бетона и арматуры.

Основными параметрами, подвергаемыми неразрушающему контролю в железобетонах, являются прочность, величина защитного слоя, влажность, морозоустойчивость, влагонепроницаемость и ряд других. Так же на долговечность железобетонной конструкции существенное влияние оказывают величина защитного слоя бетона и наличие на нем дефектов - трещин, раковин, пор. и т.д. Защитный слой предохраняет арматуру от доступа влаги, кислорода, агрессивных веществ и газов. Арматурные стержни, имеющие небольшой

защитный слой или значительные дефекты в нем, подвергаются коррозии в первую очередь.

Для точной пространственной привязки профилей наблюдения используются датчики перемещения [4].

При выполнении георадарного профилирования на магистральном канале были проведены 8 продольных профилей по 200-250 метров в длину по гребню и верхнему бьефу, глубиной зондирования свыше 10 метров (Рис. 1).

В результате обработки и интерпретации георадарного профиля № 0003 была обнаружена зона разуплотнения и зоны повышенной влажности

в теле. На георадарном профиле четко проявляются геологические слои и границы разуплотнения в точках от 160 до 215 метров на глубине до 6 метров от уровня гребня. Зафиксирована граница зоны распределения, при которой в грунтах происходит перераспределение напряженного состояния, приводящее к развитию трещин разрыва в поперечном направлении, относительно продольной оси. Понятие «зона разуплотнения» в данной терминологии означает, что грунт в этой зоне менее плотен, чем в окружающих слоях. Полости (пустоты) в основании отсутствуют, так как они имеют характерный «радиообраз» - неоднократно повторяющийся сигнал из-за переотражения волн в полости.

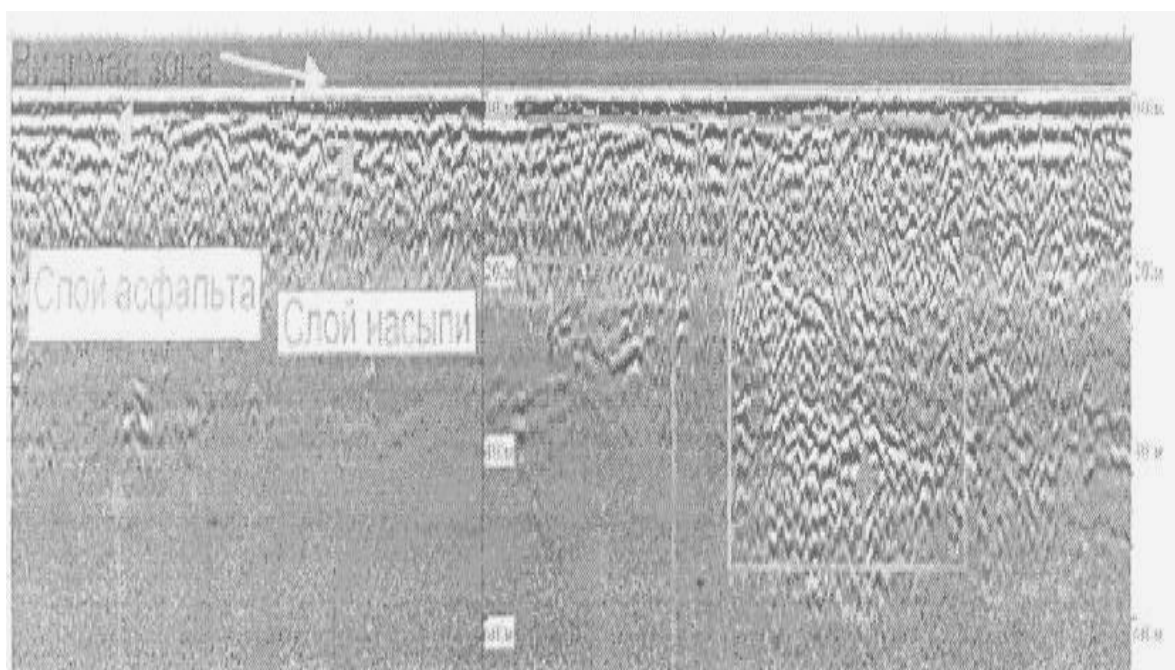


Рисунок 1 - Продольный профиль по геофизическому исследованию геологического слоя почвы на магистральном канале

Figure 1 - Longitudinal profile on geophysical investigation of the geological soil layer on the main channel

Исследование состояния грунтов, залегающие в основании гидротехнических сооружений, в том числе динамические изменения свойств грунтов, в процессе многолетней эксплуатации, представляет собой актуальную и весьма важную задачу.

ВЫВОД

Использование георадарного (GPR) метода и в сочетании с имеющимися данными о структуре грунтов позволит неразрушающими методами контроля с поверхности получить специализированную информацию по изолированным структурам и границам слоев, а так

же установить распределение различных материалов в сооружении. При этом усовершенствована технология наземно-космического мониторинга ГТС и ИС, позволяющая оперативно обнаружить, отследить и измерить потенциально опасные проявления в бетонных и земляных конструкциях сооружений, а также провести необходимые мероприятия по ликвидации возможных аварий и чрезвычайных ситуаций.

Используя георадарные технологии в оценке современного состояния ГТС и ИС, мы можем получить максимально точные и достоверно характеризующие данные обследованных

сооружений, в соответствии с современными мировыми требованиями к исследованию водохозяйственных объектов.

Грачев, В. М. Низовцев, С. Ю. Пирогов и др. - СПб.: АНО НПО «Мир и семья», 2001. - 154 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосов М. А. Использование георадарных методов исследования грунтов и оснований камеры шлюза / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, Г. В. Коган. – М.: Журнал университета водных коммуникаций, 2009. - № 4. - С. 29 - 33.
2. Саламов А. М. Изучение оползневых процессов методом вертикального электрического зондирования / А. М. Саламов, Ф. Г. Габиров. – Баку: Инженерные изыскания, 2010. - № 11. - С. 36 - 41.
3. Белозеров А. А. Применение георадаров для обследования оползневых участков автомобильных дорог. Георадары – дороги // Материалы международной научно – практической конференции / А. А. Белозеров, А. М. Кулижников. - Архангельск: АГТУ, 2002. - С. 67 - 73.
4. Snezhko V. L. Automation of pressure water discharge in hydraulic structures in the absence of level sensors and mobile elements // Russkiy Inzhener / V. L. Snezhko. - 2011. - N 1 (28). - P. 22 - 24.
5. Грачев И. Г. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / И. Г.

REFERENCES

1. Kolosov MA Use of georadar methods for studying soils and the basement of the lock chamber / MA Kolosov, KP Morgunov, GV Kogan. - M.: Journal of the University of Water Communications, 2009. - № 4. - P. 29 - 33.
2. Salamov A. M. Study of landslide processes by the method of vertical electrical sounding / A. M. Salamov, F. G. Gabibov. - Baku: Engineering Survey, 2010. - No. 11. - P. 36 - 41.
3. Belozero AA Application of georadars for inspection of landslide sections of highways. Georadars - roads / / Materials of international scientific and practical expertise / AA Belozero, A. M. Kulizhnikov. - Arkhangelsk: ASTU, 2002. - P. 67 - 73.
4. Snezhko V. L. Automation of pressure water in the structures in the absence of level sensors and mobile elements // Russkiy Inzhener / V. L. Snezhko. - 2011. - N 1 (28). - P. 22 - 24.
5. Grachev IG Handbook on the calculation of hydraulic and ventilation systems / IG Grachev, VM Nizovtsev, S. Yu. Pirogov and others - SPb.: ANO NPO "Peace and Family", 2001. - 154 sec.

METHODS OF DIAGNOSTICS AND ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES BY GEORADIOLOGICAL METHODS

Fedyushko Yu. M.

Summary. This article describes the principle of operation and the advantage of a georadar, as well as a methodology for diagnosing and assessing the technical state of hydraulic structures using georadar locating methods.

Keywords: georadar, radarogram, hydraulic structures

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ БОЛЬШИХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Сопов И. В., Муровская А. С.,

Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
i.v.s0102@mail.ru, murovskaya@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются возможности автоматизации расчета некоторых параметров ветротурбины мощных ветроэлектростанций входящих в состав ветроэлектрических станций, подключенных в общую энергосистему.

Ключевые слова: ветровая электростанция, общая электросеть, ветроэлектростанция, ветротурбина, параметры ветротурбины, лопасть, угол установки лопасти.

ВВЕДЕНИЕ

Ветроэлектростанции (ВЭС), наряду с солнечными (СЭС), сооружаются в более чем в 100 странах мира, а их мощность ежегодно возрастает значительными темпами. Мощность ВЭС с 2007 по 2016 гг. увеличилась в пять раз – до 466 ГВт. [1, 2].

В составе ВЭС используются ветроэлектростанции (ВЭУ), представляющие собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в электрическую энергию с помощью электрогенераторов (ЭГ) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии [3].

Большинство ВЭУ представляют собой горизонтально-осевые ветровые установки, содержащие ветротурбину (ВТ) с лопастями аэродинамического профиля, создающими вращающий момент [3].

ВЭУ содержат две системы регулирования ВТ – систему ориентации по направлению ветра и систему регулирования мощности. Система регулирования мощности ВТ – комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах мощности, частоты вращения и момента ВТ при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне [3].

Для регулирования мощности ВТ используются два способа регулирования: «pitch – регулирование» и «stall – регулирование». Для «pitch

– регулирования» применяются механизмы поворота лопастей ВТ. Основной частью этого устройства является система изменения угла положения лопастей ВТ. При «stall – регулировании» используется неподвижно закрепленная лопасть, аэродинамические свойства которой обеспечивают стабилизацию мощности при скоростях ветра выше номинальных [4, 5].

Система «pitch – регулирование» находит наибольшее применение в мощных ВЭУ. В данной работе рассматриваются возможности автоматизации расчета некоторых параметров ВТ ВЭУ в системе «pitch – регулирование».

ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК

ВТ мощных ВЭУ содержит обычно три лопасти и характеризуется рядом важнейших параметров, определяющих мощностные и регулировочные характеристики ВЭУ [4-6].

К ним относятся: диаметр окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВТ лопастями длиной L и ометаемой площадью A с диаметром D , равным $2L$.

Важнейшими характеристиками ВТ являются аэродинамические характеристики – безразмерные зависимости момента вращения вала турбины $M_{ВТ}$, развиваемой мощности ВТ $P_{ВТ}$, коэффициента использования энергии ветра (коэффициента мощности) C_p , быстроходности Z и других от

частоты вращения вала ВТ Ω_{BT} и от скорости ветра V .

Быстроходность ВТ Z определяется отношением окружной скорости конца лопасти V_{Ω} к скорости ветра V [3-6].

$$Z = \frac{V_{\Omega}}{V} = \frac{L\Omega_{BT}}{V} \quad (1)$$

Коэффициент использования энергии ветра C_P равен отношению мощности ВТ P_{BT} к мощности набегающего ветрового потока P_0 [3 - 6].

$$C_P = \frac{P_{BT}}{P_0} \quad (2)$$

Значение коэффициента C_P зависит от скорости ветра V , скорости вращения Ω_{BT} , угла положения лопастей β и других параметров ВТ.

Для одной (каждой) лопасти рассматриваются углы положения лопастей (рис. 1) [4-6].

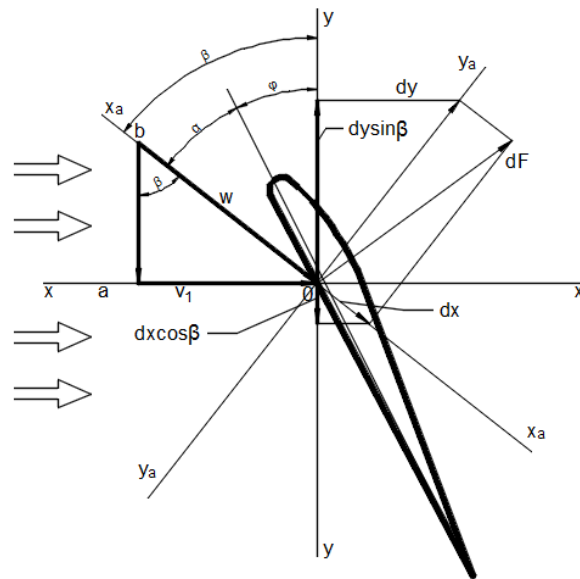


Рис. 1. Диаграмма сил и скоростей на профиле ветроколеса

Fig. 1. Diagram of forces and velocities on the wind wheel profile

ϕ – угол установки лопасти ВТ – угол между хордой профиля лопасти ВТ и плоскостью вращения ВТ; угол ϕ зависит от профиля лопасти по длине L ; обычно в средней части длины составляет $0...4^\circ$;

β – угол притекания – угол между относительной скоростью воздушного потока W и плоскостью вращения ВТ;

α – угол атаки – угол между относительной скоростью воздушного потока W и хордой профиля лопасти.

Угол $\beta = \alpha + \phi$, если $\phi = 0$, то $\beta = \alpha$ (рис. 1).

Величины Z , C_P , β связаны между собой существенно нелинейной зависимостью, для которой отсутствует единое аналитическое выражение, что затрудняет создание и функционирование системы регулирования мощности ВТ.

При разработке систем регулирования ВЭУ скорость ветра V представляет собой независимую переменную, а параметры Z , C_P , β , а также ряд других, являются регулируемыми параметрами.

Для характеристики изменения скорости ветра V используются стандартно принятые значения [3-6].

Основные тенденции в развитии ВЭУ определяется соотношениями (3) и (4) [3-6]:

$$P_{эл} = \frac{1}{2} C_P \rho A V^3 \eta_{BT} \eta_P \eta_{ЭГ} \quad (3)$$

$$A = \pi L^2 = \pi D^2/4 \quad (4)$$

где: $P_{эл}$ – электрическая мощность ВЭУ;

C_P – аэродинамический коэффициент;

ρ – плотность воздуха;

A – площадь круга, ометаемого лопастями ВТ при вращении;

V – скорость ветра;

$\eta_{\text{ВТ}}$ – КПД ВТ; $\eta_{\text{Р}}$ – КПД редуктора; $\eta_{\text{ЭГ}}$ – КПД ЭГ;

L – длина лопасти ВТ;

D – диаметр ротора ВТ.

Из приведенных формул (3, 4) следует, что для увеличения $P_{\text{ЭЛ}}$ имеется несколько возможностей:

1. Увеличения площади A . Реализация этой возможности привела к росту длины лопасти L за 30 лет от 3 м до 120 м [5].

2. Увеличение рабочей скорости ветра V , как в результате правильного выбора района сооружения ВЭС, так и за счет увеличения высоты H башни ВЭУ, поскольку величина V растет с высотой башни согласно (5):

$$V_H = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^k \quad (5)$$

где: V_H – скорость ветра на высоте H оси ротора ВТ;

V_0 – среднесуточная скорость ветра на высоте H_0 метеостанции;

k – коэффициент Хеллмана, зависящий от характеристики поверхности ВЭС.

Высота башни современных ВЭУ лежит в пределах 20 – 150 м [5, 6]. Значительно расширен диапазон рабочих скоростей ветра. Начальная скорость ВЭУ снизилась от 5 м/с до 2,5 – 3 м/с. Максимальная скорость возросла от 15 м/с до 25 м/с [5, 6].

Все ВЭУ имеют однотипную характеристику регулирования выходной электрической мощности $P_{\text{ВЭУ}}$ от скорости ветра V – рис. 2 [3-6].

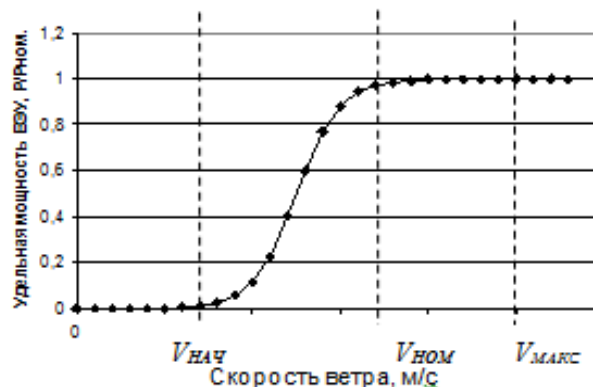


Рис. 2. Однотипная характеристика регулирования мощности ВЭУ при изменении скорости ветра в относительных единицах $P_{\text{ВЭУ}} / P_{\text{ВЭУ ном}} = f(V)$. $V_{\text{нач}}$ – начальная скорость ветра, при которой включается ЭГ ВЭУ; $V_{\text{ном}}$ – расчетная скорость ветра, при которой ЭГ ВЭУ вырабатывает номинальную мощность $P_{\text{ВЭУ ном}}$; $V_{\text{макс}}$ – максимально допустимая скорость ветра, при которой производится выработка электроэнергии

Fig. 2. The same type characteristic of power control of wind turbines when the wind speed in relative units of wind $P_{\text{ВЭУ}} / P_{\text{ВЭУ ном}} = f(V)$. $V_{\text{нач}}$ – starting wind speed at which wind turbines are included EG; $V_{\text{ном}}$ – estimated wind speed at which the EG wind turbine produces rated power, $P_{\text{ВЭУ ном}}$; $V_{\text{макс}}$ – maximum allowable wind speed at which power generation is made

Характеристика регулирования ВЭУ (рис. 2) состоит из двух различных участков. Первый участок переменной мощности ВЭУ от начальной $V_{\text{нач}}$ до номинальной $V_{\text{ном}}$ скоростей ветра, при постоянном угле β . При относительно небольшой величине $V_i < V_{\text{ном}}$ величина C_p на этом участке мало меняется, момент на валу ВТ растет практически пропорционально росту мощности, а частота вращения ВТ $\Omega_{\text{ВТ}}$ возрастает монотонно, значительно медленнее, чем растет момент ВТ. Участок представляет естественную характеристику ВТ без регулирования угла положения лопастей β .

Второй участок – участок регулирования мощности ВЭУ в диапазоне скоростей ветра от номинальной $V_{\text{ном}}$ до максимальной рабочей $V_{\text{макс}}$ – за счет системы регулирования мощности ВЭУ при использовании, как аэродинамических характеристик ВТ, так и характеристик ЭГ.

Изменение аэродинамических характеристик ВТ в случае системы «pitch-регулирования» производится за счет автоматического регулирования угла β с ростом скорости ветра и соответствующей величины $P_0(V)$ выше $V_{\text{ном}}$ (рис.

2) и сводится к изменению величины C_p согласно (2) за счет изменения угла β [4-9].

Объектом регулирования мощности ВТ при «pitch – регулировании» являются лопасти ВТ с постоянного времени объекта до 10 секунд. Регулируемым параметром служит угол положения β и соответственно угол атаки α , составляющий части угла β . В связи с нелинейным характером зависимости C_p от β , в системе применяется пропорционально - интегральный регулятор с небольшими коэффициентами усиления и значительными постоянными интегрирования, иногда переменными в процессе регулирования [7-9]. Исполнительным элементом служит весьма сложный механизм («Pitch – регулятор» с электро- или гидроприводом). Поворот всех трех лопастей производится синхронно.

Измеряемым параметром является скорость ветра. Датчиком регулируемого параметром служит функциональный преобразователь (ФП), формирующий заданные значения угла $\beta_{зад}$ при измеренной скорости ветра. В ФП вычисляется величина C_{pi} при измеренной скорости ветра V_i и соответствующее этой величине заданное значения угла $\beta_{зад}$ [7-9].

В системе «pitch – регулирования» максимальные значения угла β ограничены величиной примерно 20° , что соответствует снижению величины C_p до 0,13. При таком ограничении для значений $V_{макс} = 25$ м/с, величина $V_{ном}$ составляет, с учетом нелинейных зависимостей Z , C_p , β , от 14 до 16 м/с [5-6, 9].

Повторение скоростей ветра в диапазоне 14 – 16 м/с при среднегодовых скоростях ветра, характерных для большинства территорий, составляют небольшую долю от общего числа часов реализации скоростей ветра – табл. 1 [5-6, 9].

Выбор больших значений $V_{ном}$ (табл. 1) приводит к неэффективному использованию установленной мощности ЭГ практически в большинстве часов повторения скоростей ветра. Вместе с малой величиной коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВЭУ в целом из-за случайного характера параметров ветра, такой выбор снижает показатели регулирования мощности за счет характеристик ВТ.

Таблица 1. Значения среднегодовых скоростей ветра и соответствующие значения скорости ветра от 14 до 25 м/с

Table 1. Average annual wind speeds and corresponding wind speeds from 14 to 25 m / s

Скорость ветра, V, м/с	Среднегодовая скорость ветра, м/с						
	5	6	7	8	9	10	11
	Количество часов N_{Vi} и % в году для среднегодовых значений скоростей ветра из общего числа часов 8760 в диапазоне от 1 до 25 м/с						
14	25/0,28%	98/1,12%	205/2,34%	311/3,55%	392/4,47%	444/5,07%	470/5,36%
15	11/0,12%	57/0,65%	141/1,60%	237/2,70%	321/3,66%	386/4,40%	421/4,80%
16	5/0,06%	32/0,35%	93/1,06%	175/2,0%	257/2,93%	324/3,70%	371/4,23%
17-25	3/0,03%	33/0,37%	146/1,67%	375/4,28%	712/8,12%	1005/11,47%	1512/17,26%

роме того, имеющийся опыт эксплуатации ВЭС, показывает низкую надежность механизмов в системе «pitch – регулирование», на которую приходится до 70 % отказов оборудования ВЭУ [10].

Поэтому в современных мощных ВЭУ наряду с системой «pitch – регулирование» расширяется диапазон регулирования ЭГ.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ «PITCH – РЕГУЛИРОВАНИЕ» ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Совершенствование системы «pitch – регулирование» мощности ВЭУ связано с уточнением характеристик ФП.

Идеальное значение коэффициента использования энергии ветра $C_{Pид}$ определяется выражением [4]:

$$C_{Pид} = \frac{4e(1-e)}{1+e} \quad (6)$$

где: e – коэффициент торможения, $e = v_1/V$ – отношение потери скорости v_1 на ВТ к скорости ветра V ; обычно рассматривается в пределах (0,28...0,42) в зависимости от профиля лопасти ВТ [4].

С учетом (6) величину C_{pi} можно представить в виде:

$$C_{pi} = C_{Pид} \frac{(1-\mu Z_i)Z}{(Z_i + \mu)(1-e)} \quad (7)$$

где: μ – коэффициент обратного аэродинамического качества ВТ, равный отношению коэффициента силы лобового сопротивления C_x к коэффициенту подъемной силы лопасти C_y (рис. 1) [4].

Z – быстроходность ВТ по (1).

Согласно обозначениям на рис. 1:

$$dX = C_X \frac{\rho dV_2}{2} A_i, \quad dY = C_Y \frac{\rho dV^2}{2} A_i$$

где: A_i – площадь круга, ометаемого лопастями при $L = r_i$.

$$\mu = \frac{C_X}{C_Y} \quad (8)$$

Величина μ обычно составляет (0,018...0,26) в зависимости от типа профиля лопасти [4];

При рассмотрении зависимости β по длине лопасти учитывается диаметр втулки ВТ – r_{BT} , в этом

случае анализируемая длина лопасти R определяется выражением (9):

$$R = (L - r_{BT}) \quad (9)$$

С учетом (9) быстроходность будем представлять в виде (10):

$$Z = \frac{V\Omega}{V} = \frac{R\Omega_{BT}}{V} \quad (10)$$

Приняв число i относительных модулей по длине лопасти, величину Z_i , определим, как отношение величины r_i рассматриваемого сечения модуля лопасти к величине R (11):

$$Z_i = Z \frac{r_i}{R} \quad (11)$$

Для анализа зависимости угла β от скорости ветра V рассмотрим рисунок 1 и введем дополнительно обозначения:

$V_1 = (V - v_1)$ – скорость потока воздуха на ВТ;

U_1 – скорость потока, получаемая как реакция от крутящего момента развиваемого лопастями ВТ;

W – относительная скорость воздушного потока, определяемая согласно рис. 1 из треугольника $ab0$ (12):

$$W = \sqrt{V_1^2 + (-\Omega_{BT} R - U_1)^2} \quad (12)$$

При большом числе i относительных модулей можно считать по выражению (13):

$$\frac{Z}{(1-e)} \cong Z_i \quad (13)$$

Выразить величину Z_i согласно рис. 1 и учитывая, что величины U_1 и v_1 малы по сравнению с $(\Omega_{BT} r_i)$ и V (14):

$$Z_i = \frac{U_1 + \Omega_{BT} r_i}{V - v_1} \cong \frac{\Omega_{BT} r_i}{V_1} = ctg\beta_i \quad (14)$$

Приведенные соотношения (7-14) позволяют найти значения угла β в зависимости от скорости ветра V и от точки рассмотрения сечения лопасти (номера k модуля i), используя порядок расчета с применением стандартного математического аппарата «Microsoft Excel»:

1. Предварительный расчет по приведенным соотношениям выполнен для ВЭУ типа Т-600-48 с параметрами [5]: $C_{Pид} = 0,59$; $e = v_1/V = 0,3$; $\mu = 0,02$; $L = 24$ м; $r_{BT} = 4,8$ м; $\varphi = 2^\circ$.

2. Диапазон рассчитываемых значений скоростей ветра V_j (от $V_{\text{ном}}$ до $V_{\text{макс}}$) и количество модулей по длине лопасти i .

3. Вычисляем значения угла β_j (V_j) при изменении скорости ветра V_j для всей длины лопасти, при $r=R$. На рис. 3 представлена графическая зависимость полученных результатов $\beta_j = f(V_j)$.

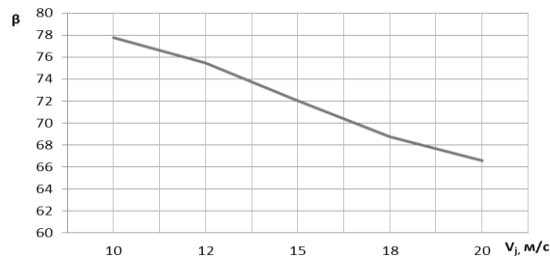


Рис. 3. Графическая зависимость полученных результатов $\beta_j = f(V_j)$ при $r=R$ для всей длины лопасти

Fig. 3. Graphic dependence of the obtained results $\beta_j = f(V_j)$ at $r=R$ for the entire length of the blade

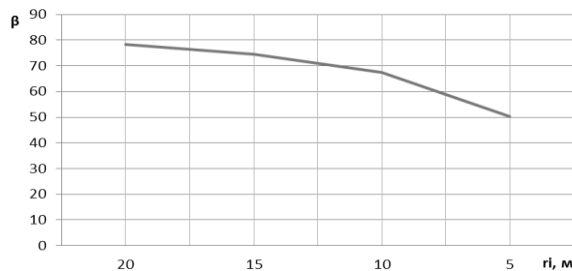


Рис. 4. Графическая зависимость полученных результатов $\beta_j = f(r_i)$ при $V_j = 10 \text{ м/с}$

Fig. 4. Graphical dependence of the obtained results $\beta_j = f(r_i)$ at $V_j = 10 \text{ м/с}$

4. Вычисляем значения угла β_i (r_i) при данной скорости ветра $V_j = 10 \text{ м/с}$ для принятого числа k модулей i .

На рис. 4 представлена графическая зависимость полученных результатов $\beta_i = f(r_i)$ при заданной скорости ветра $V_j = 10 \text{ м/с}$.

Произведенный предварительный результат расчета массивов значений углов $\beta_j(V_j)$, $\beta_i(r_i)$ от V_j и Z_i с применением стандартного математического аппарата «Microsoft Excel» дает возможность уточнить параметры работы функционального преобразователя для более эффективной работы ветротурбины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс: http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy_razvitiya_mirovoj_elektroenergetiki_1/ Перспективы развития мировой электроэнергетики до 2035 года.
2. Электронный ресурс. // [http://www.ewa.org/051215 Grid report.pdf](http://www.ewa.org/051215%20Grid%20report.pdf)./ Мировой опыт интеграции ветропарков значительной мощности в энергосистему.

3. ГОСТ Р 51237-98. Нетрадиционная энергетика – ветроэнергетика. Утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 декабря 1998 г. N 460 ст. – М.: Изд. стандартов, 1999. – 14 с.

4. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. – М.: Изд. сельскохозяйственной литературы, 1957. – 570 с.

5. Безруких П.П. Ветроэнергетика (справочное и методическое пособие). – М.: «Энергия», 2010. – 320 с.

6. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектростанции / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.

7. Ескендир Ж.Б. Управление поворотом лопастей ветрогенератора переменной скорости с целью ограничения мощности и уменьшения динамических нагрузок // Современные научные исследования и инновации. 2013.- № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23161>.

8. Дудников В.С. Поворот лопастей как элемент системы стабилизации частоты вращения ветроколес с горизонтальной осью вращения. / В.С.

Дудников // Материалы четвертой международной конференции "Наука и образование 2001". Том 13, Технические науки. – Днепропетровск: Наука и образование, 2001. – С. 26–27.

9. Анализ систем регулирования мощных ветроэлектростанций подключаемых в общую энергосистему / Э.А. Бекиров, Л.Д. Сокут, А.С. Муровская // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – №62. – С. 167-179.

10. Бекиров Э.А., Даниленко А.И. Оценка показателей надежности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой электростанции // Материалы Третьего международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности»/ – 17-19 ноября, Крым, г. Ялта, 2015. – С. 69-80.

REFERENCES

1. Electronic resource: http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy_razvitiya_mirovoj_elektroenergetiki_1/ Prospects for the development of the world electric power industry until 2035.

2. Electronic resource. // http://www.ewa.org/051215_Grid_report.pdf/ World experience of integration of wind parks of considerable power into the power system.

3. GOST R 51237-98. Non-traditional energy - wind power. Approved and put into effect by the decision of the State Standard of Russia of December 25, 1998 N 460 st. - Moscow: Izd. standards, 1999. - 14 pp.

4. Fateev E.M. Wind turbines and wind turbines. - Moscow: Agricultural Literature Publishing House, 1957.- 570 p.

5. Bezrukih P.P. Wind energy (reference and methodical manual). - Moscow: Energia, 2010. - 320 p.

6. Inexhaustible energy. Кн.1. Wind power generators / B.C. Krivtsov, A.M. Oleinikov, A.I. Yakovlev. - Textbook. - Kharkov: The national. aerospace. University of Kharkov. aviats. in-t, Sevastopol: Sevast. National Technical University, 2003.- 400 p.

7. Eskendir Zh.B. Controlling the rotation of the blades of a variable-speed wind turbine in order to limit power and reduce dynamic loads // Modern scientific research and innovations. 2013.- № 3 [Electronic resource]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23161>.

8. Dudnikov V.S. Rotation of the blades as an element of the system for stabilizing the rotational speed of windscreens with a horizontal axis of rotation. V.S. Dudnikov // Materials of the fourth international conference "Science and Education 2001". Volume 13, Engineering. - Dnepropetrovsk: Science and Education, 2001. - P. 26-27.

9. Analysis of control systems for powerful wind power plants connected to the common energy system / E.A. Bekirov, L.D. Sokut, A.S. Murovskaya // Building and technogenic security. - 2018. - №62. - P. 167-179.

10. Bekirov EA, Danilenko AI Evaluation of reliability indicators for the operation of wind power equipment of an industrial wind power plant // Proceedings of the Third International Forum "Renewable Energy: Ways to Increase Energy and Economic Efficiency" / - November 17-19, Crimea, Yalta, 2015. - P. 69-80.

AUTOMATION OF CALCULATION OF SOME PARAMETERS OF THE SYSTEM OF POWER CONTROL LARGE METROELEKTROTRANS

Sopov I.V. Murovskaya A.S.

Summary. The paper discusses the possibility of automating the calculation of some parameters of the wind turbine of powerful wind power plants included in the wind power plants connected to the General power system.

Key words: wind power plant, General power grid, wind power plant, wind turbine, wind turbine parameters, blade, blade installation angle.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКЦИОННЫХ ДОВОДЧИКОВ В ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Топорен С.С., Яценко А.Э.

Академия строительства и архитектуры,
 ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
 г. Симферополь, ул. Киевская 181,
 toporen1987@gmail.com

Аннотация Приведен зарубежный опыт применения энергосберегающих систем обеспечения микроклимата с помощью эжекционных доводчиков. Рассмотрено общее устройство эжекционных доводчиков и принцип их работы.

Ключевые слова: охлаждающая балка, приточный воздух, системы переменного расхода, конденсация, эжекция, микроклимат.

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве помещений коммерческих зданий США подаваемый приточный воздух охлаждается централизованно в вентиляционных камерах. В противоположность этому, системы охлаждающих балок используют трубопроводы с охлажденной теплоносителем циркулирующем через теплообменники, установленные под подвесным потолком. Они отличаются от панелей лучистого охлаждения в том, что в первую очередь передают тепло преимущественно за счет конвекции, но не излучения. Подобно системам потолочного охлаждения, на сегодняшний день, охлаждающие балки используются преимущественно в Европе и, в некоторой степени, в Австралии [1,2,3].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Охлаждающие балки производятся в двух исполнениях: пассивные и активные.

Пассивные охлаждающие балки состоят из теплообменника из ребристых труб заключенного в корпус, который, в свою очередь, подвешен к потолку (Рис.1). Охлажденный теплоноситель с параметрами 13-17°C (55-63°F) проходит через теплообменник, охлаждает прилегающий воздух, который, в свою очередь опускается к полу помещения. Пассивные охлаждающие балки обладают мощностью по явному теплу примерно 60-70 Вт/м² (5,6-6,5 Вт/кв. фут) от поверхности потолка, на котором они установлены [1].

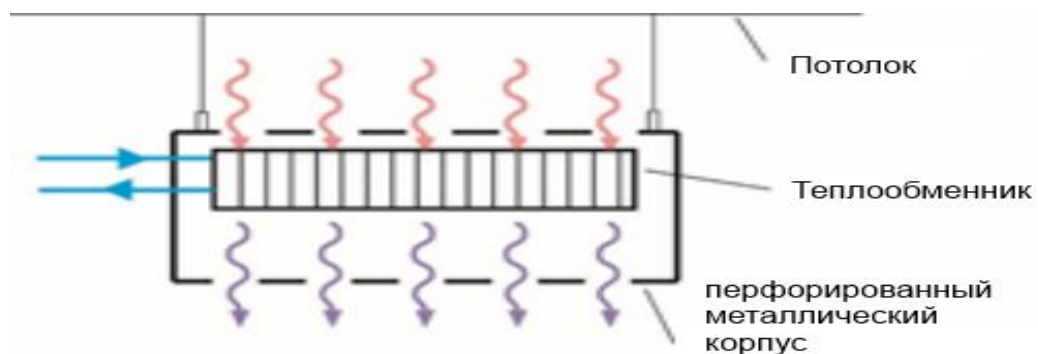


Рис.1. Пассивная охлаждающая балка

fig. 1. Passive cooling beam

Активные охлаждающие балки, также известные как эжекционные доводчики (англ. induction diffusers) [3], более сложны в устройстве чем пассивные охлаждающие балки (Рис.2). В дополнение к теплообменнику балка имеет устройство подачи минимального требуемого количества приточного воздуха (ANSI/ASHRAE Standard 62-2001, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*), что аналогично в нормативной документации стран СНГ минимальному воздухообмену по санитарно-гигиеническим требованиям. Таким образом охлаждающие балки отличаются от фанкойлов, располагающихся в охлаждаемых помещениях, тем, что отсутствует необходимость устраивать отдельные системы приточной вентиляции для обеспечения воздухообмена по санитарно-гигиеническим требованиям. Приточный воздух проходит через сопла, эжектируя воздух из помещения через теплообменник. Благодаря этому смесь рециркуляционного и приточного воздуха

охлаждается и поступает в помещение. Из-за вынужденной конвекции, активные охлаждающие балки могут развивать мощность по явному теплу 130-160 Вт/м² (12-14,8Вт/кв. фут) [1]. Низкая плотность теплового потока пассивных охлаждающих балок ограничивает сферу их применения. В связи с этим широкое применение нашли активные охлаждающие балки.

Хотя используется теплоноситель с большей температурой, чем традиционные системы охлаждения, при проектировании и монтаже следует уделить особое внимание на исключение возможности конденсации влаги на трубопроводах и поверхностях теплообменника. В большинстве административных зданий стратегия предотвращения конденсации влаги проста: управление влажностью в помещении таким образом, чтобы «точка росы» воздуха в помещении была ниже чем у теплоносителя [1,3,5,6].

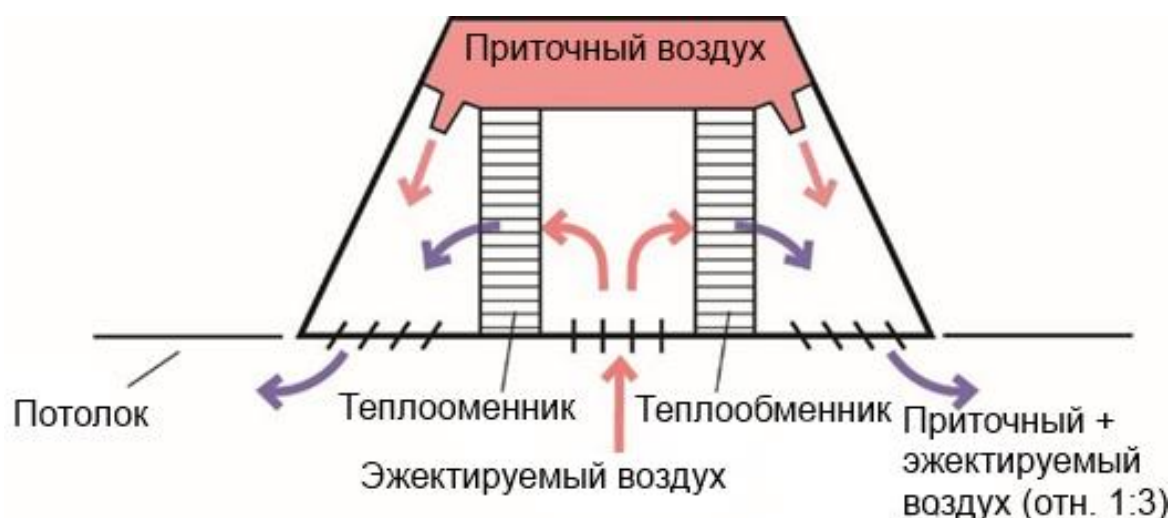


Рис. 2. Активная охлаждающая балка

Fig. 2. Active cooling beam

В большинстве зданий основными источниками повышения влажности в помещениях являются приточный воздух и инфильтрационный. Очевидно, что системы охлаждающих балок требуют отдельной обработки воздуха в центральном кондиционере и воздухопроницаемые ограждающие конструкции для управления уровнем относительной влажности в здании. Центральный кондиционер снижает относительную влажность приточного воздуха настолько, чтобы ассимилируемая воздухом влага из помещений от людей и оборудования не

конденсировалась на теплообменниках охлаждающих балок.

Охлаждающие балки хорошо подходят для помещений с избытками явного тепла. В таких случаях охлаждающие балки, ассимилируя избытки теплоты, позволяют снизить количество приточного воздуха. И наоборот, не рекомендуется использовать охлаждающие балки в помещениях с большими избытками скрытой теплоты, таких как предприятия общественного питания, театры, спортзалы [1,6].

Охлаждающие балки могут экономить энергетические ресурсы несколькими способами.

Во-первых, они обеспечивают индивидуальное регулируемое охлаждение непосредственно в помещениях, «разделяя» подачу приточного воздуха от регулирования тепловой нагрузки. При этом снижаются затраты на приводы вентиляторов (62-124Па против 746-1990Па для систем центрального охлаждения воздуха) [3]. Во-вторых, комбинация системы охлаждающих балок и системы приточной вентиляции (англ. dedicated outdoor air systems «DOAS») позволяет снизить расходы приточного воздуха при сохранении требуемых параметров микроклимата в каждом помещении [6]. В-третьих, охлаждающие балки используют теплоноситель для охлаждения с более высокой температурой чем традиционные системы кондиционирования (13-17°C против 4-7°C). Холодильная машина, вырабатывающая холод для охлаждающих балок имеет COP на 15-20% больший чем для обычной системы [3,6]. В-четвертых, т.к. доля рециркуляционного воздуха, проходящего через теплообменник балки составляет 75%, значительно снижаются затраты на повторное охлаждение воздуха [3,5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Потенциал возможной экономии энергетических ресурсов с применением систем охлаждающих балок до конца не выяснен. В Сиднее (Австралия) провели энергетическое сравнение для офисного здания с системой вентиляции с переменным расходом воздуха (англ. variable air-volume «VAV») и системы охлаждающих балок. В течение лета, система с охлаждающими балками потребляет меньше энергии чем система с переменным расходом воздуха. Однако, при среднесуточной температуре меньше 12°C, охлаждающие балки потребляют больше вследствие уменьшения количества приточного воздуха и невозможности применения рекуператоров. Моделирование систем других зданий показало, что потребление энергии зависит от специфики конкретного здания, но достичь экономии в 10-20% вполне реально [1].

ВЫВОДЫ

Несмотря на достаточное количество публикаций по данной тематике, до сих пор не создано единой методики для расчета эжекционных доводчиков для жилых и общественных зданий. Существуют попытки ее создания путем расчета параметров приточного свежего и рециркуляционного воздуха, а также соотношение их расходов [7]. Однако, данная методика расчета

параметров воздуха не учитывает конструкции эжекционного доводчика и место его расположения. Согласно статье [8] определяется температура приточного воздуха в эжекционном доводчике и температура смеси, однако не рассматривается изменение параметров обрабатываемого воздуха не диаграмме проф. Рамзина. Кроме того, для создания методики расчета эжекционных доводчиков необходимо учесть особенности распространения затопленных неизометрических и настилающихся струй и их влияние друг на друга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pickering, R. 2004. "Chilled beams & ceilings." *NDY Techniques*. Winter. <http://tinyurl.com/2kl6lx> (or www.ndy.com/corporate/press/techniques/Techniques_winter_2004.pdf).
2. Barista, D. 2005. "Chill the ceilings and achieve cool energy savings." *Building Design and Construction* 56(11). <http://tinyurl.com/38tp23> (or www.bdcnetwork.com/article/CA6285393.html).
3. Rumsey, P. and J. Weale. 2007. "Chilled beam in labs: eliminating reheat & saving energy on a budget." *ASHRAE Journal* 49(1):18– 25.
4. Farthing, T. 2006. "Why demand for the beam is gathering steam." *Building Services and Environmental Engineering*. 28(27). <http://tinyurl.com/334xk8> (or www.bsee.co.uk/news/fullstory.php/aid/3900/Why_demand_for_the_beam_is_gathering_steam.html).
5. Schultz, C.C. 2007. "Next-generation cooling is looking up." *Engineered Systems*. 24(5). <http://tinyurl.com/2syuw9> (or www.esmagazine.com/Articles/Feature_Article/BNP_GUID_9-52006_A_1000000000000099257).
6. TIAx. 2002. "Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems—Volume III: Energy Savings Potential." Final Report to U.S. Department of Energy, Office of Building Technologies. <http://tinyurl.com/2xln3l> (or www.tiax.biz/aboutus/pdfs/HVAC3-FinalReport.pdf).
7. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. - М. 2003. - 272 с
8. Проектирование охлаждающих балок для достижения теплового комфорта («АВОК», 2010, № 2)

REFERENCES

1. Pickering, R. 2004. "Chilled beams & ceilings." *NDY Techniques*. Winter. <http://tinyurl.com/2kl6lx> (or www.ndy.com/corporate/press/techniques/Techniques_winter_2004.pdf).
2. Barista, D. 2005. "Building Technologies and Construction 56 (11). Chill the ceilings and achieve cool energy savings." <http://tinyurl.com/38tp23> (or www.bdcnetwork.com/article/CA6285393.html).

3. Rumsey, P. and J. Weale. 2007. "Chilled beam in labs: eliminating reheat & saving energy on a budget." ASHRAE Journal 49 (1): 18-25.
4. Farthing, T. 2006. "Why demand for the beam is gathering steam." Building Services and Environmental Engineering. 28 (27). [http:// tinyurl.com/334xk8](http://tinyurl.com/334xk8) (or [www.bsee.co.uk/news/fullstory.php/ aid / 3900 / Why_demand_for_the_beam_is_gathering_steam.html](http://www.bsee.co.uk/news/fullstory.php/aid/3900/Why_demand_for_the_beam_is_gathering_steam.html))
5. Schultz, C.C. 2007. "Next-generation cooling is looking up." Engineered Systems. 24 (5). <http://tinyurl.com/2syuw9> (or www.esmagazine.com/Articles/Feature_Article/BNP_GUID_9-52006_A_10000000000000099257).
6. TIAx. 2002. "Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems-Volume III: Energy Savings Potential." Final Report to U.S. Department of Energy, Office of Building Technologies. <http://tinyurl.com/2xln3l> (or [www.tiax.biz/aboutus/ pdfs / HVAC3-FinalReport.pdf](http://www.tiax.biz/aboutus/pdfs/HVAC3-FinalReport.pdf)).
7. Kokorin O.Ya. Modern air conditioning systems. - M. 2003. - 272 s
8. Design of cooling beams to achieve thermal comfort ("ABOK", 2010, No. 2)

APPLICATION OF EQUEROUS PERFORMERS IN OFFICE SPACES

Toporen S.S., Yatsenko A.E.

Summary The foreign experience of applying energy-saving systems for providing microclimate with the help of ejector closers is given. The general arrangement of ejection closers and the principle of their operation are considered.

Key words: cooling beam, supply air, variable flow systems, condensation, ejection, microclimate.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА В СООРУЖЕНИЯХ ПОЛУОТКРЫТОГО ТИПА

Зайцев О.Н.¹, Дихтярь Т.В.¹, Циплина А.А.¹

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

Аннотация. В работе выполнены исследования тепло-массообменного аппарата испарительно-охлаждающего действия, была создана его математическая модель в программном комплексе SolidWorks с последующим расчетом физического процесса в аппарате в SolidWorks Flow Simulation. Впервые было исследовано распределение воздушных потоков и температурных полей в ТМО Майсоценко, что позволило выявить поле с повышенной температурой на поверхности теплообмена, в следствие движения воздуха в рабочем канале и выработать рекомендации по снижению данного температурного градиента путем изменения толщины пластины по конфигурации поля повышенного перепада температуры.

Ключевые слова: инерционность, теплопроводность, ограждающие конструкции, косвенное испарение.

ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования является обеспечение оптимальных параметров микроклимата в помещении [1-2]. В современной климатической технике большое внимание уделяется энергоэффективности оборудования [3-5]. Этим объясняется возросший в последнее время интерес к водоиспарительным системам охлаждения на основе косвенно-испарительных теплообменных аппаратов (косвенно-испарительные системы охлаждения) [2, 6]. Водоиспарительные системы охлаждения могут оказаться эффективным решением для многих регионов нашей страны, климат которых отличается относительно низкой влажностью воздуха.

Целью настоящей работы является: усовершенствование систем микроклимата контактно-испарительным методом по циклу Майсоценко [2], путем выравнивания изменения термодинамического потенциала по площади поверхности испарения в ТМО Майсоценко с применением математического моделирования [1, 7-9].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование выполнено с использованием программы SolidWork и ее приложения – Flow

Simulation, позволяющие получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса с заданными начальными и граничными условиями для данной задачи [1].

В получившейся сборке ячейки ТМО Майсоценко [2] были заданы три области течения.

- 1) Течение воздуха во влажном рабочем канале
- 2) Течение воды во влажном рабочем канале
- 3) Течение воздуха в сухом рабочем канале

Далее были заданы граничные условия для текущих сред в областях течения.

- 1) Температура воздуха на входе в ТМО Майсоценко задана 32°C
- 2) Температура воды на входе в ТМО Майсоценко задана 10°C
- 3) Скорость воздуха на входе в ТМО Майсоценко задана 3 м/с
- 4) Скорость воды на входе в ТМО Майсоценко задана 0,8 м/с

В ходе расчета была выявлена проблема, которая заключалась в отсутствии возможности расчета точной температуры воздуха на выходе из ТМО Майсоценко, т.к. Flow Simulation не может производить расчет количества энергии, затрачиваемой на испарение воды воздухом, который обдувает ее.

Из этой проблемы можно сделать вывод, что реальная температура воздуха на выходе из ТМО будет меньше, чем при результатах выведенных из расчета Flow Simulation.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате моделирования (рис. 1) получена картина изменения температуры текущих сред в сечении, показавшая, что температура воздуха на входе во влажный рабочий канал снизилась с 32°C до 22°C, что при заданной влажности в 60%, является ниже точки росы, которая составляет 23,2°C. Также выявлено, что далее по влажному каналу наблюдается снижение температуры с 22 до 16°C. А снижение температуры в сухом охлаждающем канале, составляет с 32 до 23°C.

Графическое отображение изменения доли конденсата в ТМО изображено на рис. 2.

Из данного графика видно, что относительная влажность на поверхности теплообмена

составляет 100% по всей своей длине. Из этого следует, что данная поверхность имеет температуру ниже точки росы. Относительная доля конденсата изменяется от 0.44 в начале теплообменной поверхности до 0 к ее концу. Это происходит из-за постепенного снижения температуры рабочего воздуха, а вместе с этим происходит и снижение температуры точки росы.

Плотность теплового потока отображена на рис. 3. Снижение теплового потока происходит из-за постепенного снижения показателя разности температур, в следствии постепенного снижения температуры рабочего воздуха. В пике показатель теплового потока составляет -3800 Вт/м²

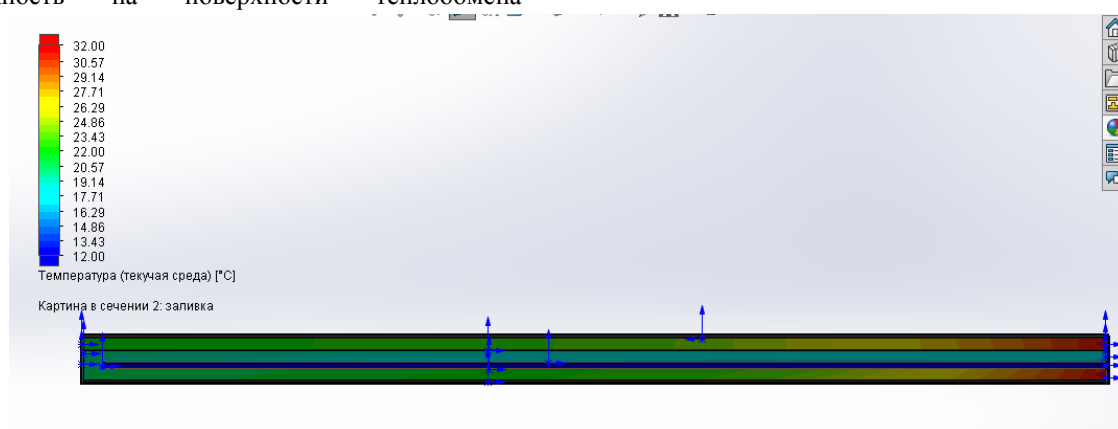


Рис. 1. Результаты расчета Flow Simulation

Fig. 1. The calculation results of the Flow Simulation

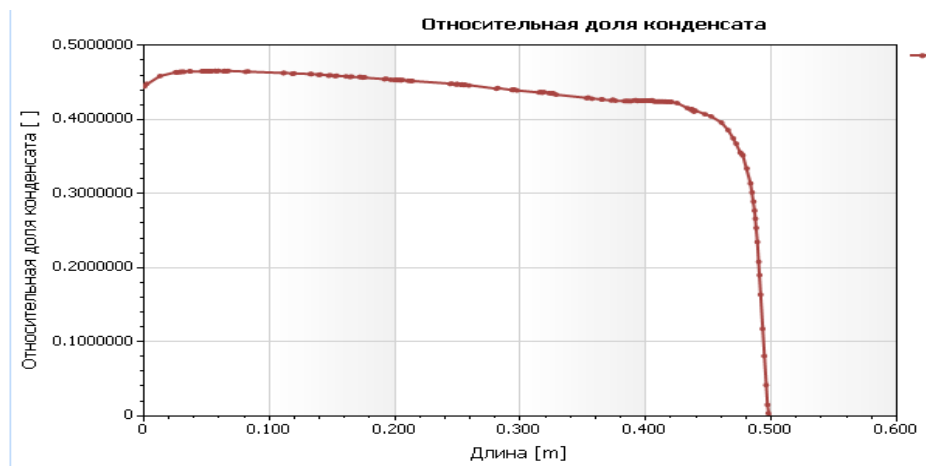


Рис. 2. Изменение доли конденсата в ТМО

Fig. 2. Changing the proportion of condensate in TMO

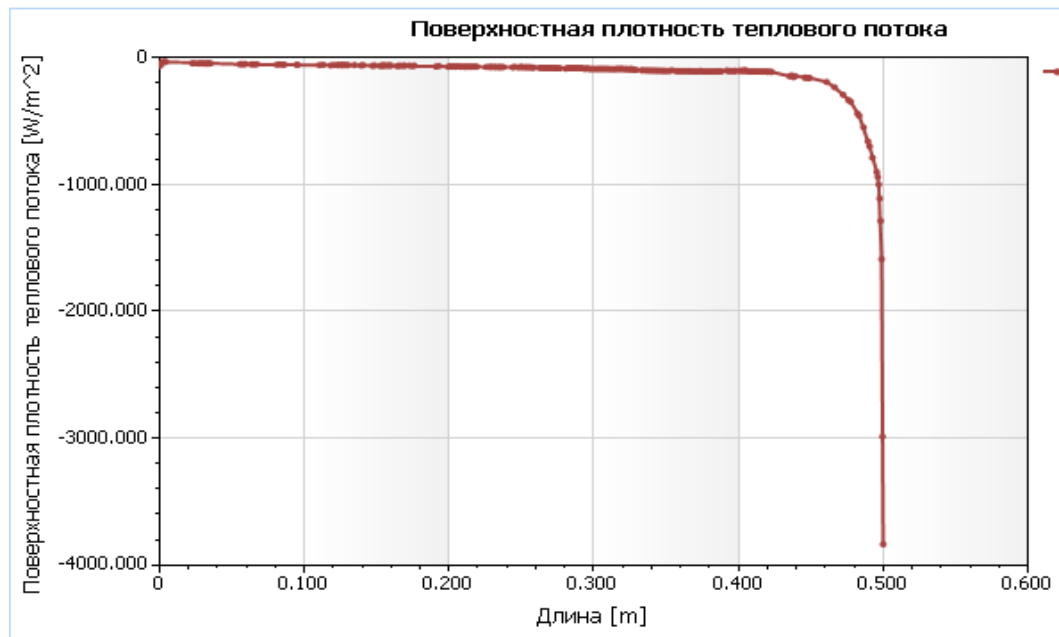


Рис. 3. Плотность теплового потока

Fig. 3. Heat flux density

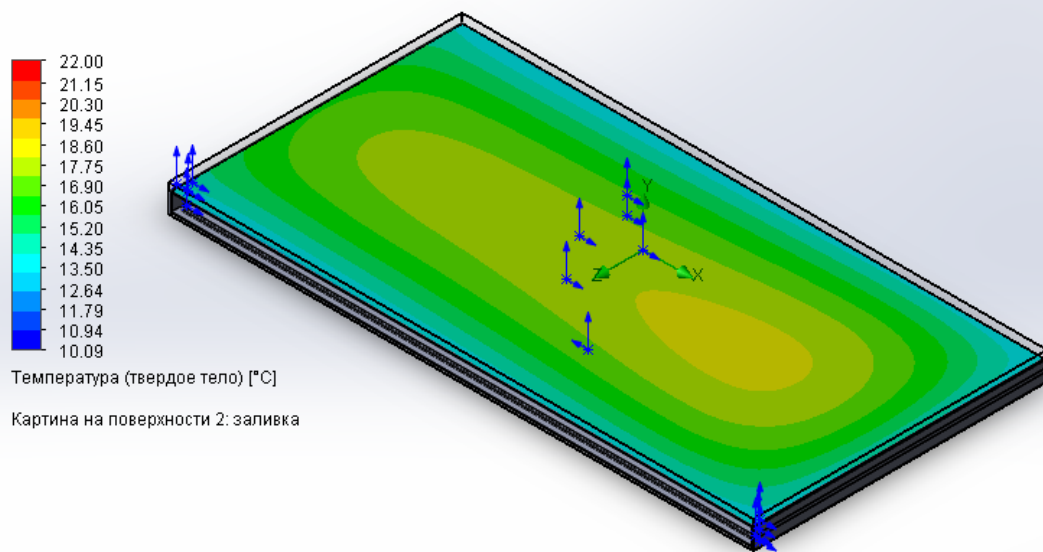


Рис. 4. Температурное поле теплообменной поверхности.

Fig. 4. The temperature field of the heat exchange surface.

В ходе расчета ТМО аппарата было построено температурное поле теплообменной поверхности сухого рабочего канала изображено на рис.4.

Выявлено, что температурное поле поверхности не однородно (рис.4). По краям данная поверхности имеет минимальную температуру, которая составляет 13.5°C, а в середине имеется

овал, с температурой 18,6°C. Разница между min и max температурой составляет 5,1°C.

Такая картина наблюдается на всех поверхностях теплообмена данного ТМО аппарата. Из-за возникновения такого градиента температурного поля на поверхности, процесс теплообмена проходит не равномерно.

Для увеличения эффективности использования теплообменной поверхности, было принято решения произвести расчет тепло- и массообменного аппарата, конструктивно изменив поверхность теплообмена. Измененная медная пластина сухого канала изображена на рис.5.

Конструктивное изменение заключается в том, что в зоне повышенного температурного поля был выделен овал и по нему произведен вырез на глубину 0,5 мм. За счет снижения толщины меди в зоне повышенной температуры на поверхности теплообмена, температурное поле предполагалось получить более равномерным. Сборка с измененной конструкцией теплообменных поверхностей изображена на рис.6. В данной сборке был произведен расчет с идентичными параметрами предыдущего расчета:

Были заданы три области течения.

- 1) Течение воздуха во влажном рабочем канале
- 2) Течение воды во влажном рабочем канале
- 3) Течение воздуха в сухом рабочем канале

Далее были заданы граничные условия для текучих сред в областях течения.

- 1) Температура воздуха на входе в ТМО Майсоценка задана 32°C
- 2) Температура воды на входе в ТМО Майсоценка задана 10°C
- 3) Скорость воздуха на входе в ТМО Майсоценка задана 3 м/с
- 4) Скорость воды на входе в ТМО Майсоценка задана 0,8 м/с

На рис.7 приведена картина изменения температуры текучих сред в сечении. Выявлено, что температура воздуха на входе во влажный рабочий канал снизилась с 32°C до 22°C, что при заданной влажности в 60%, является ниже точки росы, которая составляет 23,2°C, далее по влажному

каналу наблюдается снижение температуры с 22 до 16°C, при этом снижение температуры в сухом охлаждающем канале, составляет с 32 до 21°C. Из данного графика видно, что относительная влажность на поверхности теплообмена составляет 100% по всей своей длине. Из этого следует, что данная поверхность имеет температуру ниже точки росы. Относительная доля конденсата изменяется от 0,44 в начале теплообменной поверхности до 0 к ее концу. Это происходит из-за постепенного снижения температуры рабочего воздуха, а вместе с этим происходит и снижение температуры точки росы.

На приведенном на рис.8 температурном поле поверхности показана его неоднородность. По краям данная поверхность имеет минимальную температуру, которая составляет 13,5°C, а в середине имеется овал, с температурой 17,5°C. Разница между min и max температурой составляет 4°C, что меньше, чем до изменения конструкции, что позволяет сделать вывод о выравнивании поля температуры.

ВЫВОДЫ.

Таким образом, в ходе исследования тепло-массообменного аппарата испарительно-охлаждающего действия, была создана его математическая модель в программном комплексе SolidWorks с последующим расчетом физического процесса в аппарате в SolidWorks Flow Simulation [1].

Впервые было исследовано распределение воздушных потоков и температурных полей в ТМО Майсоценка [2], что позволило выявить поле с повышенной температурой на поверхности теплообмена, в следствие движения воздуха в рабочем канале и выработать рекомендации по снижению данного температурного градиента путем изменения толщины пластины по конфигурации поля повышенного перепада температуры.

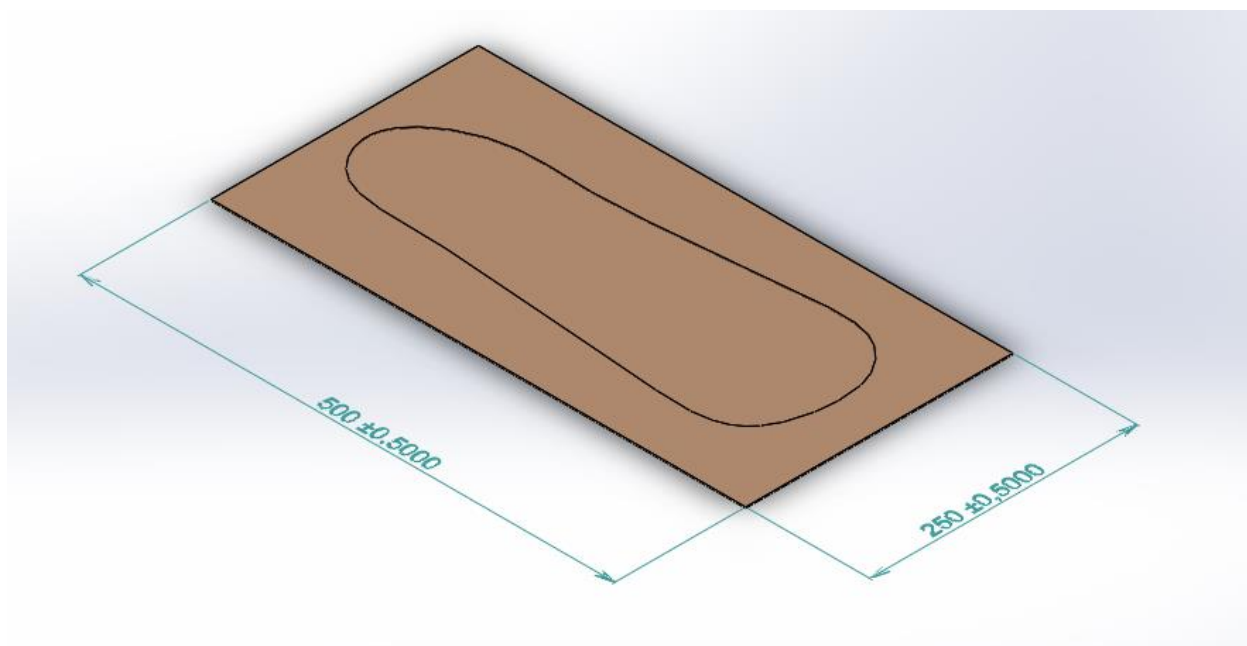


Рис.5. Измененная медная пластина сухого канала.

Fig.5. Modified copper plate of dry channel.

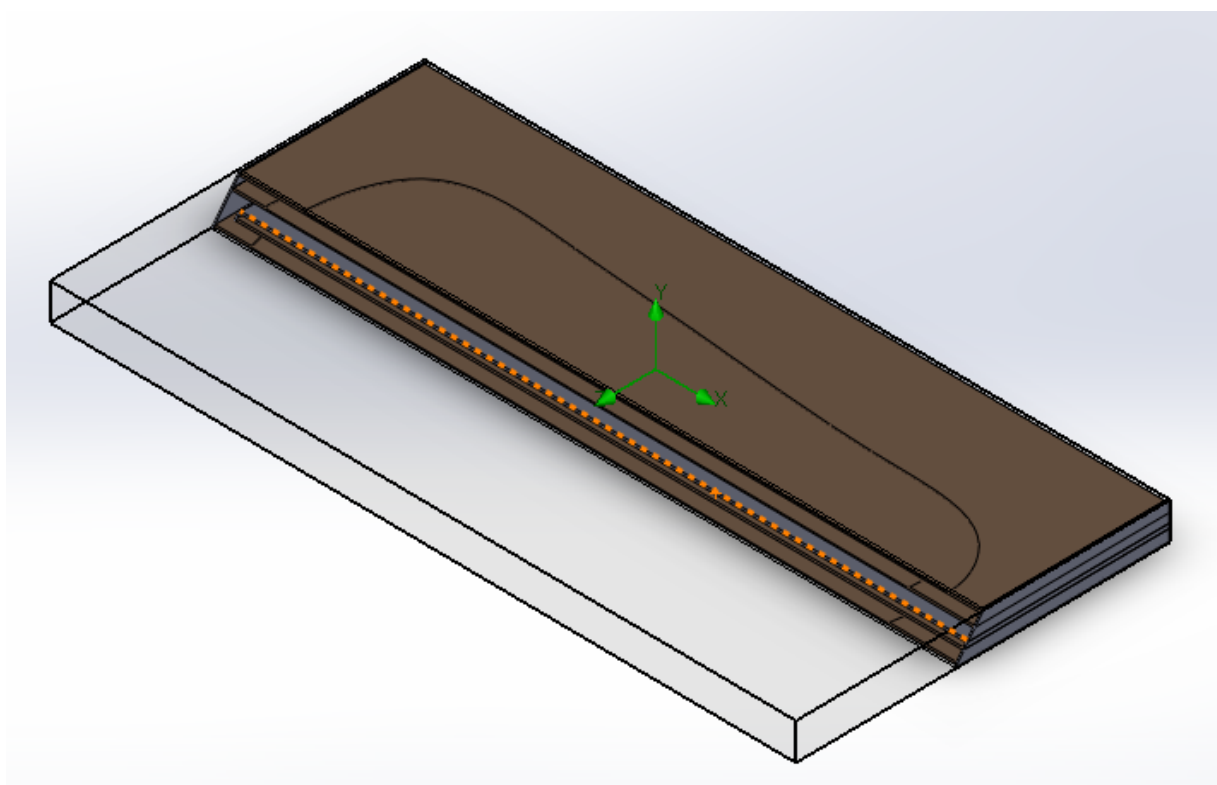


Рис.6. Ячейка тепло- массообменного аппарата Майсоценко с измененной конструкцией теплообменных поверхностей.

Fig. 6. Cell heat massalongo apparatus of Masienko with a modified design of heat exchange surfaces.

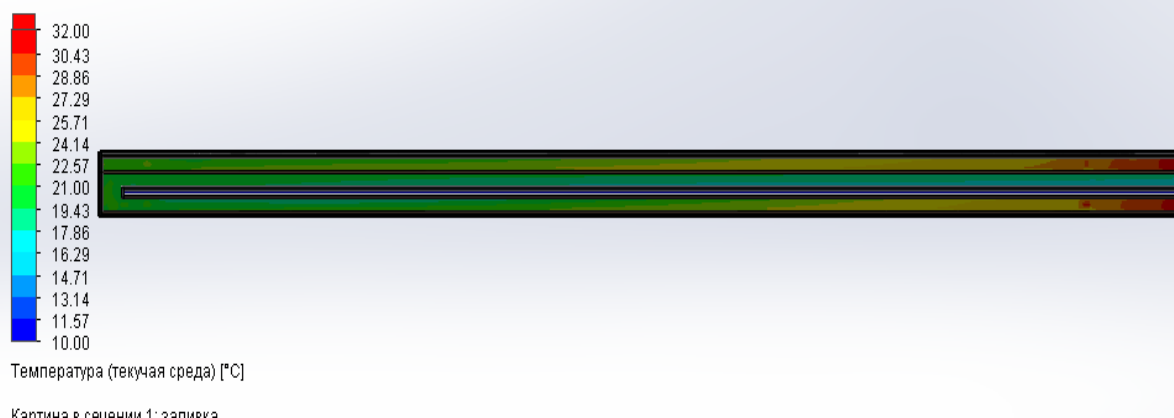


Рис. 7. Изменения температуры воздуха в ТМО в сечении при изменении конструкции пластины.

Fig. 7. Changes in the air temperature in the TMO section when changing the design of the plate.

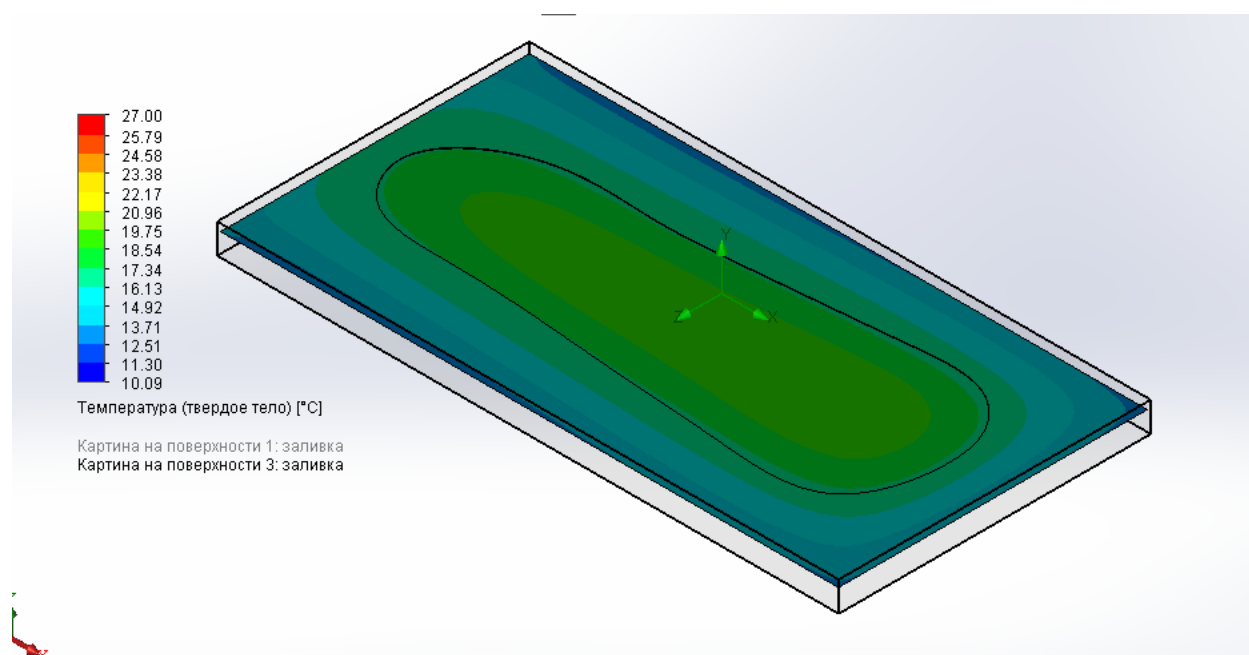


Рис. 8. Температурное поле теплообменной поверхности после усовершенствования конструкции.

Fig. 8. The temperature field of the heat exchange surface after the design improvement.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C.
2. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ [Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б.] — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.: ил.
3. Гершкович В.Ф. Альбом рекомендаций по применению современного эффективного оборудования в системах отопления и горячего водоснабжения зданий при централизованном теплоснабжении К.: КиевЗНИИЭП, 2003.
4. Отставнов А.А. К технико-экономическому обоснованию устройства систем водяного отопления. - М.: С.О.К., - 2005 - №1, 2005.
5. Денисихина Д.М., Бассина И.А., Никулин Д.А., Стрелец М.Х. Численное моделирование автоколебаний турбулентной струи, истекающей в прямоугольную плоскость // ТВТ. 2005. Том 43. №4 – с. 568-579.
6. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования: монография / А.М.Гримитлин, Т.А.Дацюк, Д.М. Денисихина. - СПб : АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.
7. Lubarec A.P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // Motrolyzacja I energetyka rolnictwa. Lublin: Motrol, 2009, №11, p.214-219
8. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Пром. теплотехника. — 2008. № 5 с. 62-68;

9. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника. — 2009. № 1 с. 67-73

REFERENCES

1. Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling 21h International Congress of Refrigeration IIR / IIF, Washington, D.C.
2. SolidWorks. Computer modeling in engineering practice / [Alyamovskii AA, Sobachkin AA, Odintsov EV, Kharitonovich AI, Ponomarev NB] - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. -800 s.: ill.
3. Hershkovich VF. Album recommendations for the use of modern efficient equipment in heating and hot water supply of buildings in the centralized heat supply K.: KievZNIIEP, 2003.
4. AA retired. To the feasibility study of the device of water heating systems. - Moscow: S.O.K., - 2005 - №1, 2005.
5. Denisikhina DM, Bassina IA, Nikulin DA, Strelets M.Kh. Numerical modeling of self-oscillations of a turbulent jet that flows into a rectangular plane // TVT. 2005. Volume 43. № 4 - with. 568-579.
6. Grititlin AM, Datsyuk TA, Denisikhina DM Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems: monograph / AM Grititlin, TA Datsyuk, D.M. Denisikhina.- St. Petersburg: ABOK North-West, 2013. - 192 p.
7. Lubarec A. P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // Motrolyzacja I energetyka rolnictwa. Lublin: Motrol, 2009, p. 11, p.214-219
8. NM Dovmir. Low-temperature modes of heating systems as a prerequisite for the efficient use of condensing boilers and heat pumps // Prom. heat engineering. - 2008. № 5 with. 62-68;
9. Nakorchevsky A.I. Heat supply system for a heat-autonomous house // Prom. heat engineering. - 2009. № 1 with. 67-73

IMPROVEMENT OF MICROCLIMATE SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION OF THE SEMI-CURRENT TYPE

Zaitsev O.N., Dikhtyar T.V., Ziplina A.A.

Summary. In the work, the heat-mass-exchange apparatus of the evaporative-cooling action was studied, its mathematical model was created in the SolidWorks software package, and the physical process in the apparatus was then calculated in SolidWorks Flow Simulation. For the first time, the distribution of air currents and temperature fields in the TM Maisotsenko was investigated, which made it possible to identify a field with an elevated temperature on the heat exchange surface as a result of air movement in the working channel and to develop recommendations for reducing this temperature gradient by changing the thickness of the plate according to the configuration of the field of the increased temperature drop.

Key words: inertia, thermal conductivity, enclosing structures, indirect evaporation.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ БИФИЛЯРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ.

Зайцев О.Н., Степанцова Н.А., Эмирова Э.Э.

¹ Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

Аннотация. Выполнено моделирование распределения тепла в твердом теле в стандартной модели ограждающей конструкции с различными схемами организаций отопления позволило определить способ размещения отопительного прибора с учетом повышения энергоэффективности выбранной ограждающей конструкции. При рассмотрении соответствующей нормативным требованиям к теплофизическим параметрам ограждающей конструкции и расположении отопительного прибора под окном, наблюдается значительный перепад температуры в конструкции, что приводит к неравномерности распределения температуры по площади конструкции, возникающей в следствие влияния расположения отопительного прибора (источника тепла в помещении), что в настоящее время не учитывается при расчете мощности системы отопления. При расположении отопительного прибора у боковой стенки тоже наблюдается неравномерное распределение температуры в ограждающей конструкции, хотя в данном случае градиент несколько меньше, чем при расположении отопительного прибора под световым проемом. При моделировании ограждающей конструкции и расположении отопительного прибора у боковой стенки с применением теплого пола, распределения температуры в ограждающей конструкции более равномерное, нет сильных перепадов температур, что ведет к уменьшению потерь тепла, так как разница температур будет меньше, по сравнению с другими вариантами.

Ключевые слова: водяное отопление, ограждающая конструкция, теплопотери

ВВЕДЕНИЕ.

Реализация мероприятий по повышению энергоэффективности неразрывно связана с разработкой новейших энергосберегающих технологий [1-3].

По предварительным данным потери тепла здания составляют примерно одну четверть от общего теплопотребления, а три четверти приходится на вентиляцию и горячее водоснабжение [4-5]. При этом эффективность работы системы отопления определяется массивностью ограждающих конструкций, как наружных так и внутренних, расположения в помещении источников тепла и, как следствие – появление градиента температуры и увеличение теплопотерь в помещении [6-8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Основной задачей настоящей работы является повышение энергоэффективности ограждающих конструкций зданий в зависимости от температурного режима отапливаемых

помещений путем выбора наиболее эффективного способа теплораспределения в помещении с применением математического моделирования. Получение адекватной графической модели физического процесса в пространстве и времени, возможно, в результате его математического моделирования. Так как физический процесс — результат действия законов физики, то наиболее адекватные физическим процессам математические модели представляют собой систему отражающих законы физики дифференциальных или интегральных уравнений с начальными и граничными условиями, отнесенную данную математическую модель к поставленной конкретной физической задаче [4-5].

В математической модели системы интегральных и дифференциальных уравнений в данном случае не имеют аналитического решения. Модель должна быть приведена к дискретному виду, а решаться с помощью выбранной расчетной сетки. Решение данной задачи выполнено на основе программного продукта SolidWorks Flow Simulation [9] и основывается на достижениях вычислительной гидродинамики, что позволяет

рассчитывать различные течения: двумерные и трехмерные, несжимаемые, сжимаемые, стационарные и нестационарные течения, с учетом гравитации, пограничного слоя. Стоит учитывать шероховатости стенок, с теплообменом между текучей средой и твердым телом.[9].

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ.

За основу данной модели взята жилая комната, с размерами: длина 6 м, ширина 4 м, высота 3,5 м, исследовать будем наружную стеновую конструкцию. Внутренняя температура помещения $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, Расчетная температура наружного воздуха $t_{н}=-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

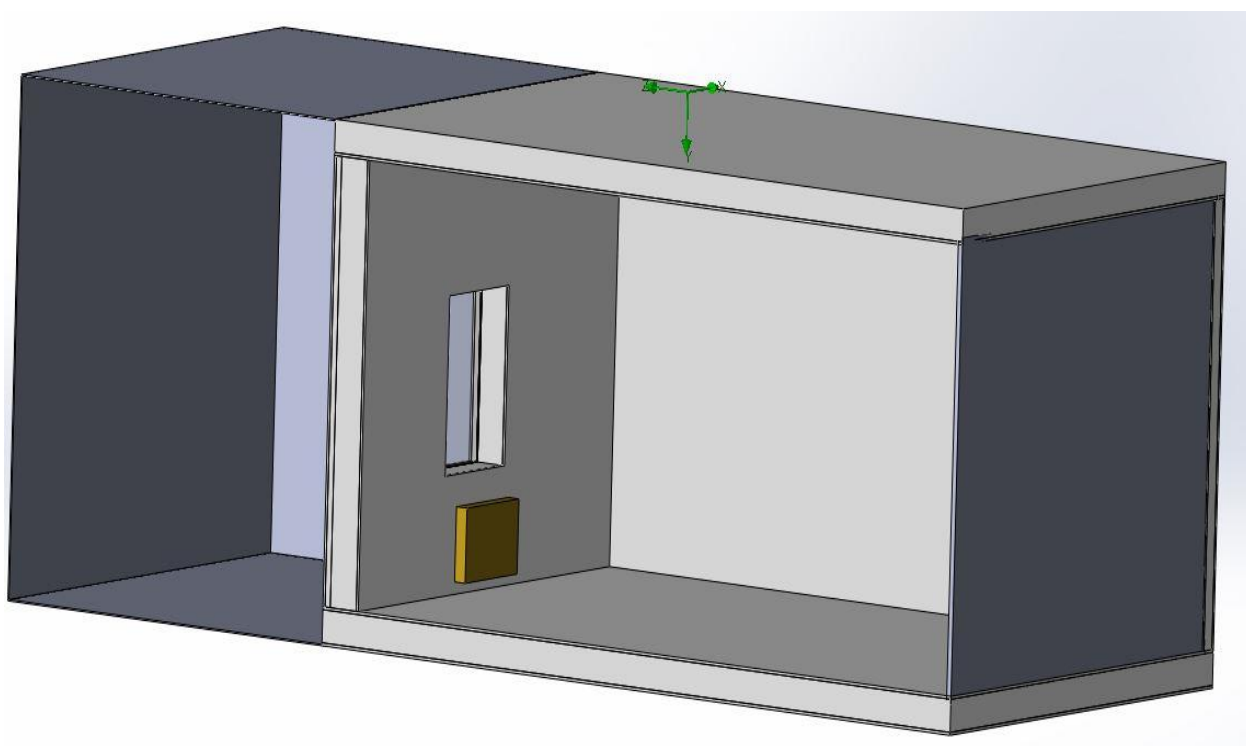


Рис. 1. Модель жилой комнаты при расположении отопительного прибора под окном.

Fig. 1. Model of the living room with the location of the heating device under the window.

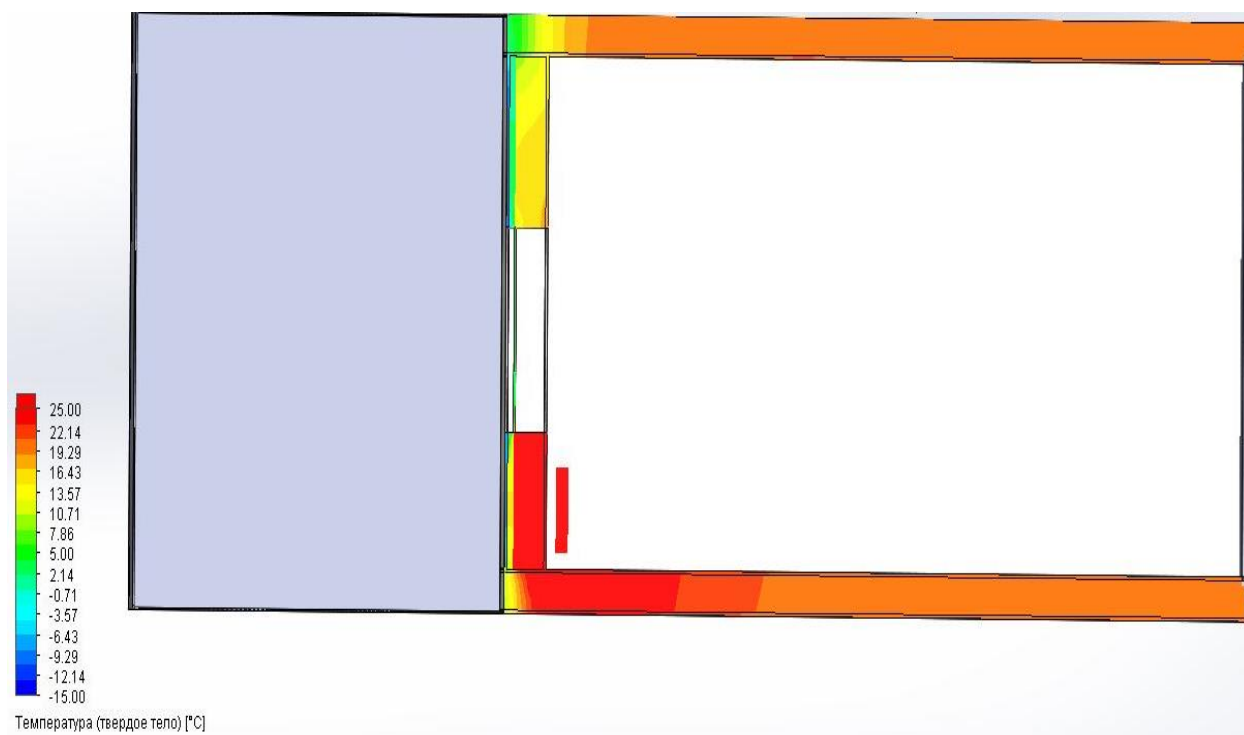


Рис.2. Распределение температуры в твердом теле при расположении отопительного прибора под окном, разрез показан на расстоянии от боковой стенки на 1,2 м.

Fig.2. The temperature distribution in the solid body when the heating device is located under the window, the cut is shown at a distance of 1.2 m from the side wall.

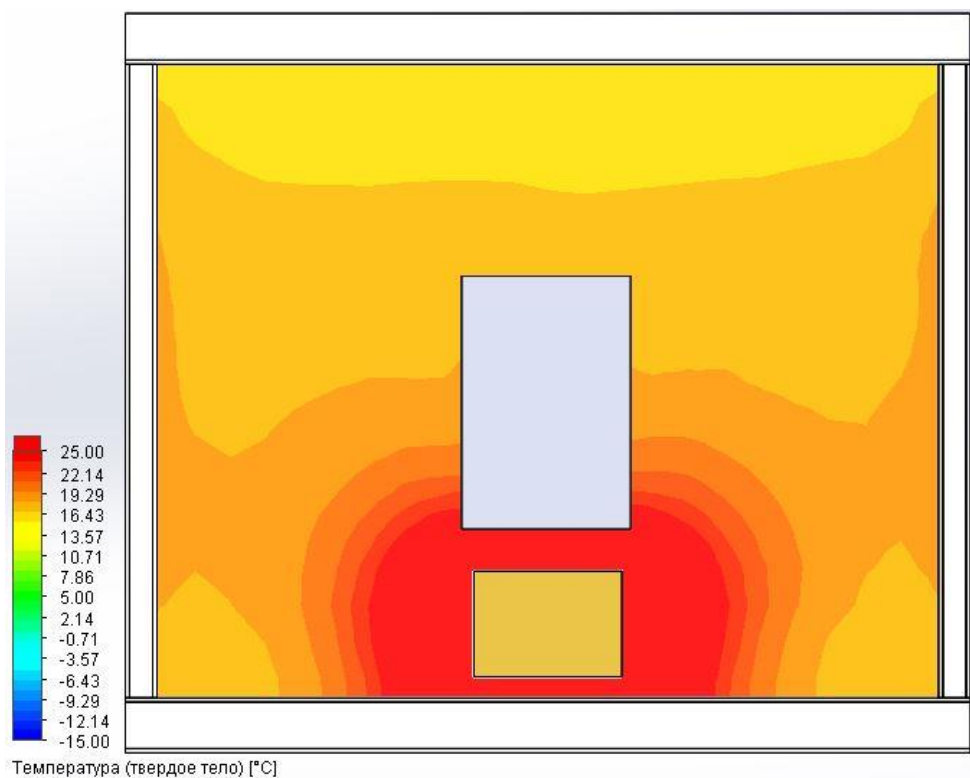


Рис.3. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при расположении отопительного прибора под окном.

Fig.3. Temperature distribution on the inner surface of the solid at the location of the heating device under the window.

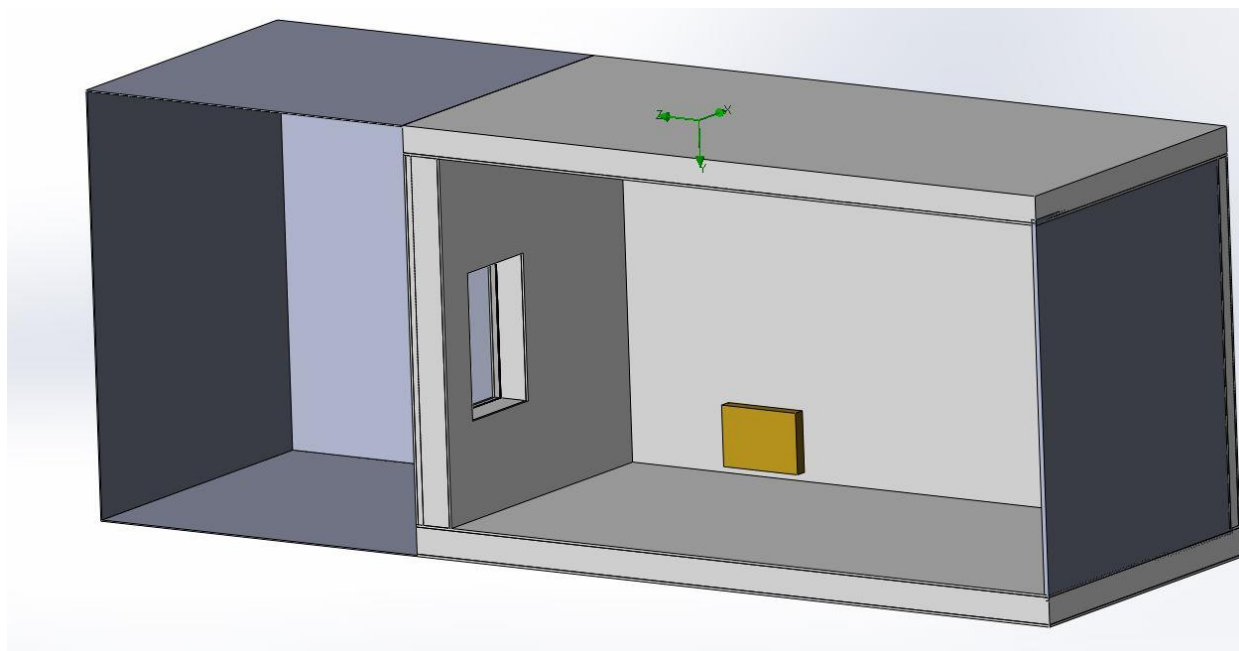


Рис.4. Модель жилой комнаты при расположении отопительного прибора у боковой стенки.

Fig.4. Model of the living room with the location of the heater at the side wall.

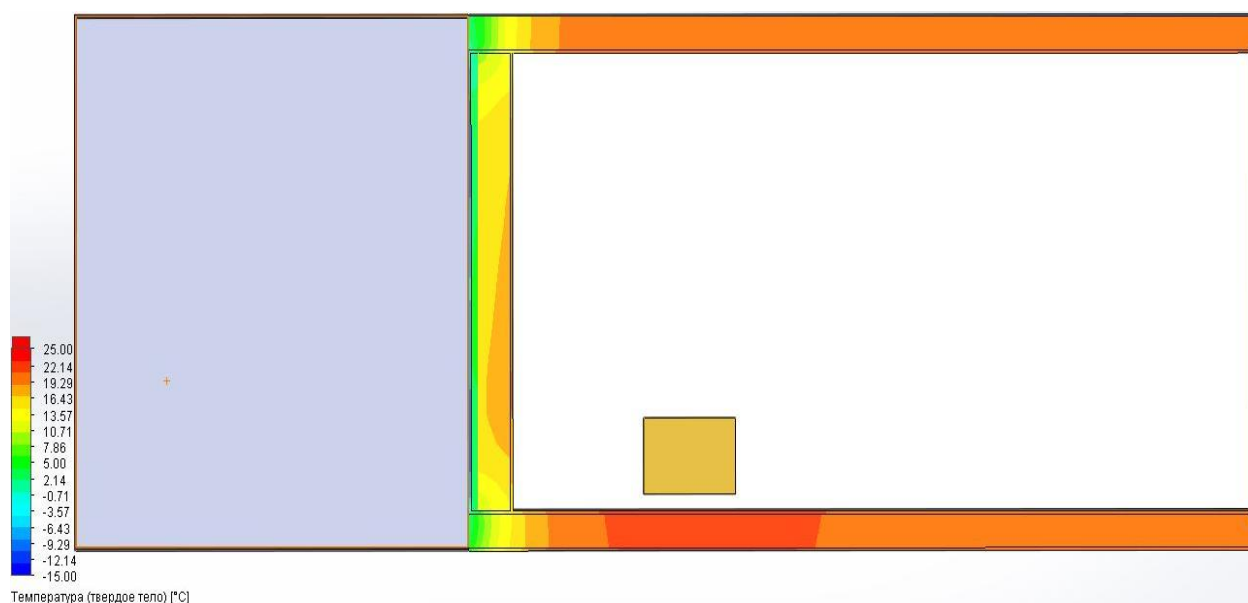


Рис.5. Распределение температуры в твердом теле при расположении отопительного прибора у боковой стенки, разрез показан на расстоянии от боковой стенки на 1,2 м.

Rice.5. The temperature distribution in the solid body at the location of the heating device at the side wall, the cut is shown at a distance of 1.2 m from the side wall.

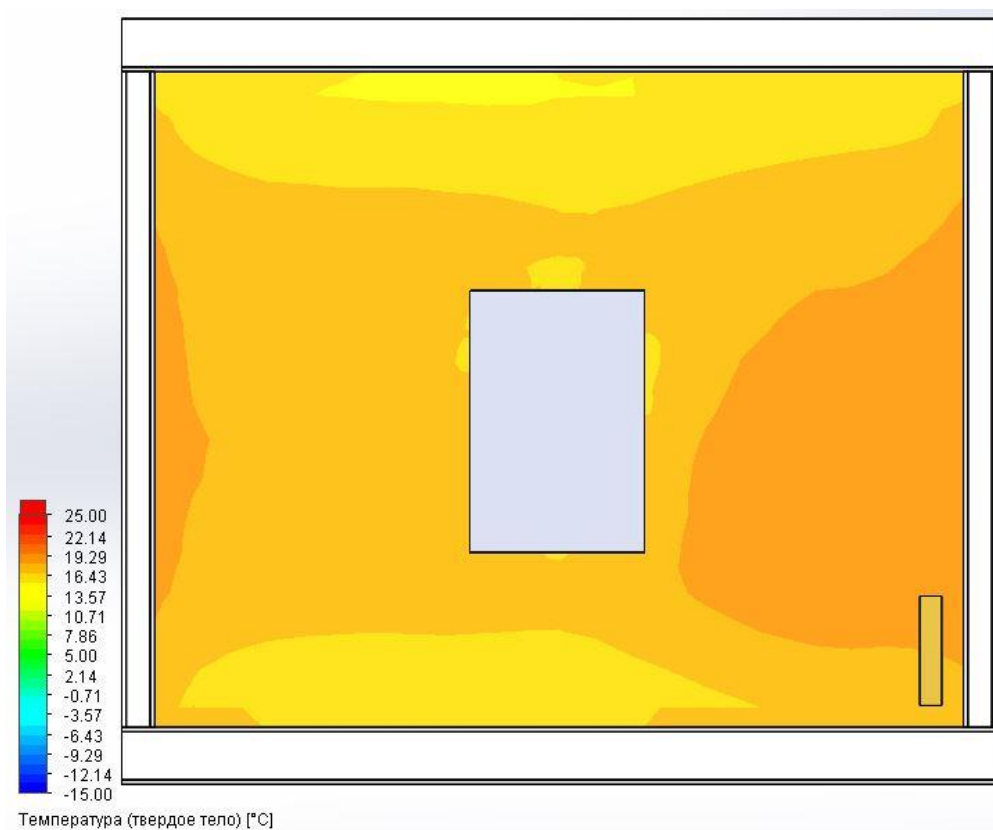


Рис. 6. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при расположении отопительного прибора у боковой стенки

Fig. 6. Temperature distribution on the inner surface of the solid at the location of the heating device at the side wall

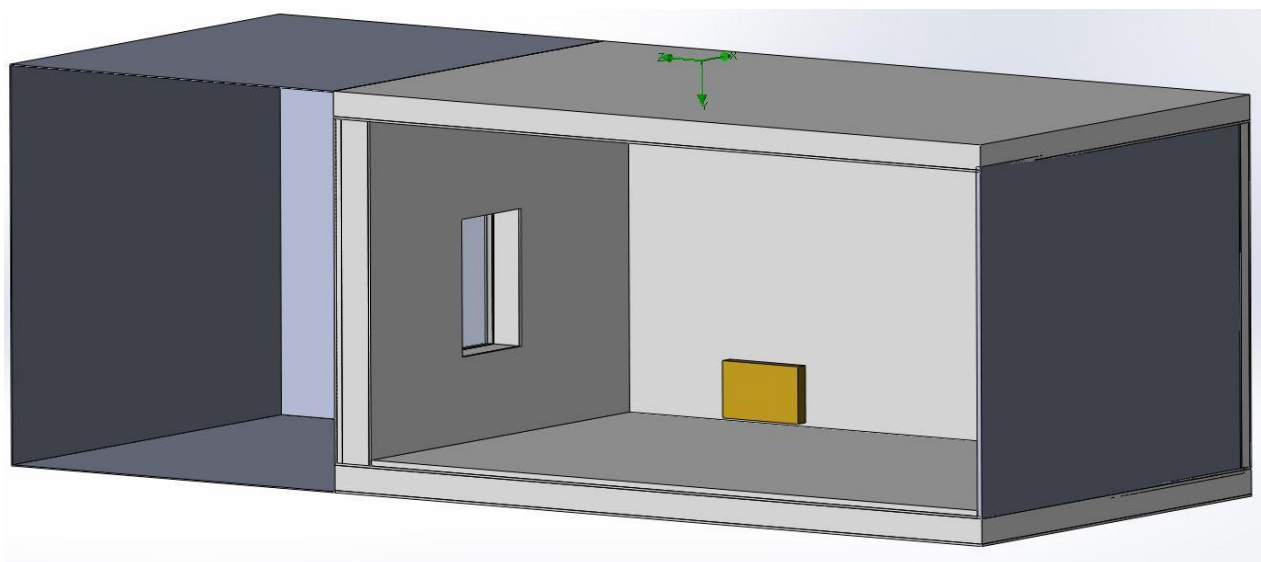


Рис. 7. Модель жилой комнаты при расположении отопительного прибора у боковой стенки и применения теплого пола

Fig. 7. Model of the living room with the location of the heating device at the side wall and the use of Underfloor heating

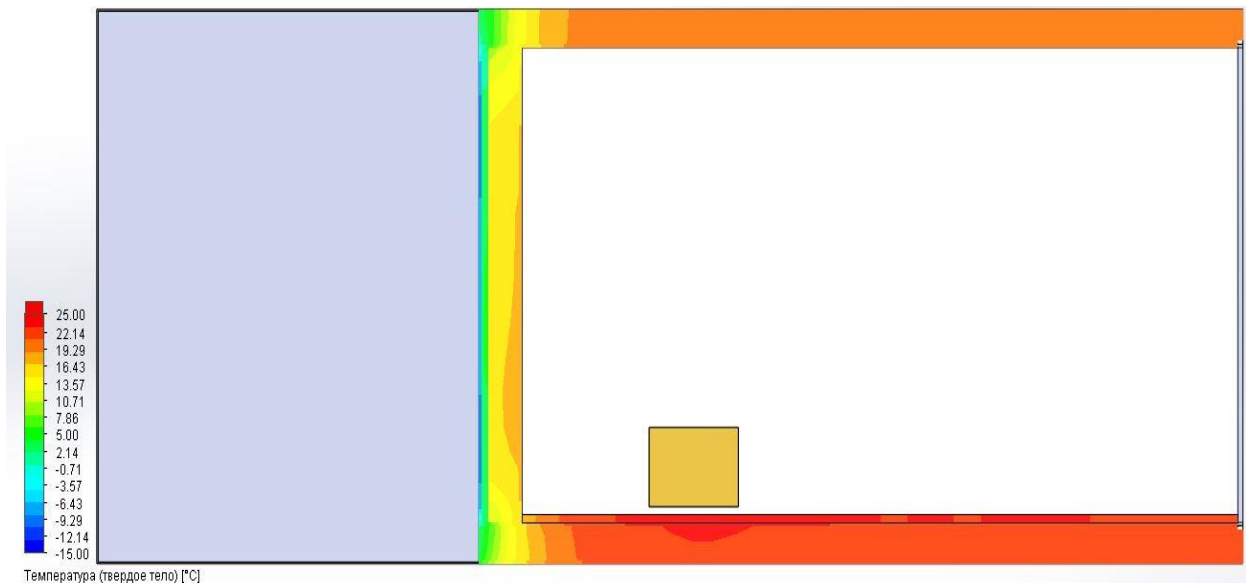


Рис. 8. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при расположении отопительного прибора у боковой стенки и применения теплого пола, разрез показан на расстоянии от боковой стенки на 1,2 м.

Fig. 8. The temperature distribution on the inner surface of the solid at the location of the heating device at the side wall and the use of floor heating, the cut is shown at a distance of 1.2 m from the side wall.

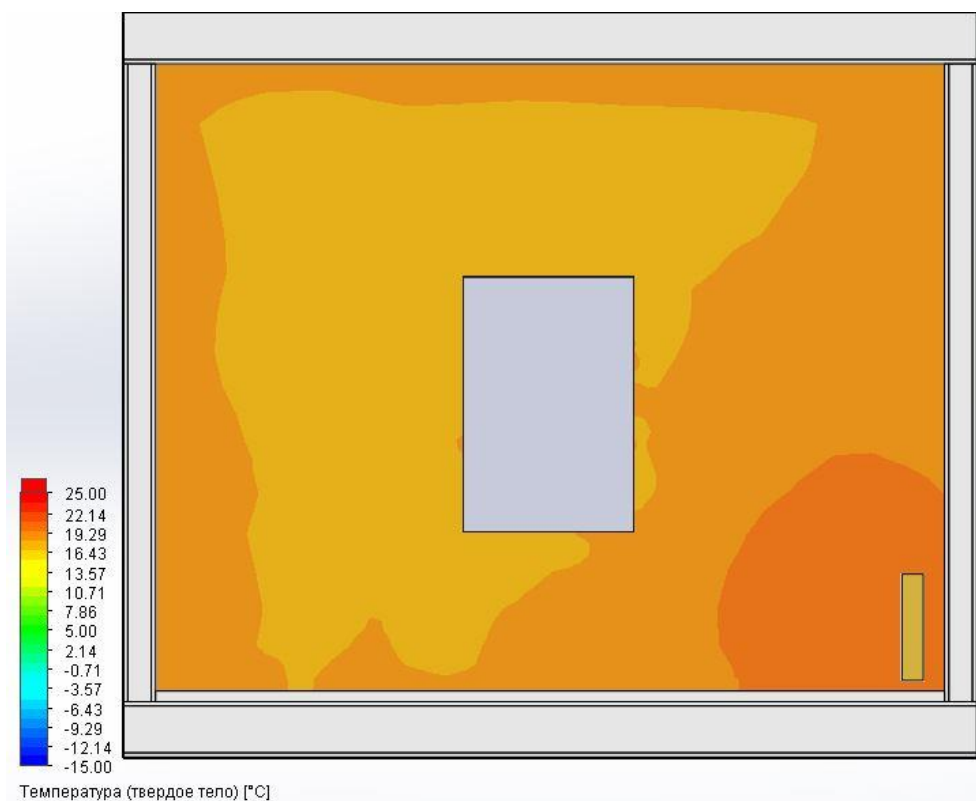


Рис. 9. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при расположении отопительного прибора у боковой стенки и применении теплого пола

Fig. 9. Temperature distribution on the inner surface of the solid at the location of the heating device at the side wall and the use of Underfloor heating

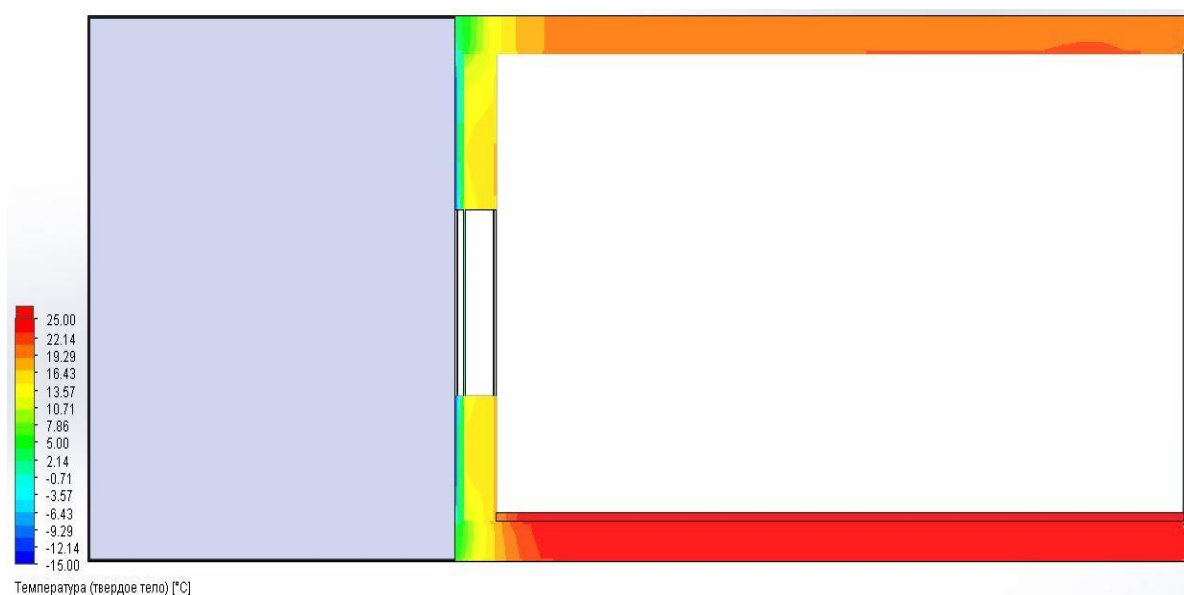


Рис. 10. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при отоплении комнаты с помощью теплого пола, разрез показан на расстоянии от боковой стенки на 1,7 м.

Fig. 10. The temperature distribution on the inner surface of the solid when heating the room with a warm floor, the cut is shown at a distance of 1.7 m from the side wall.

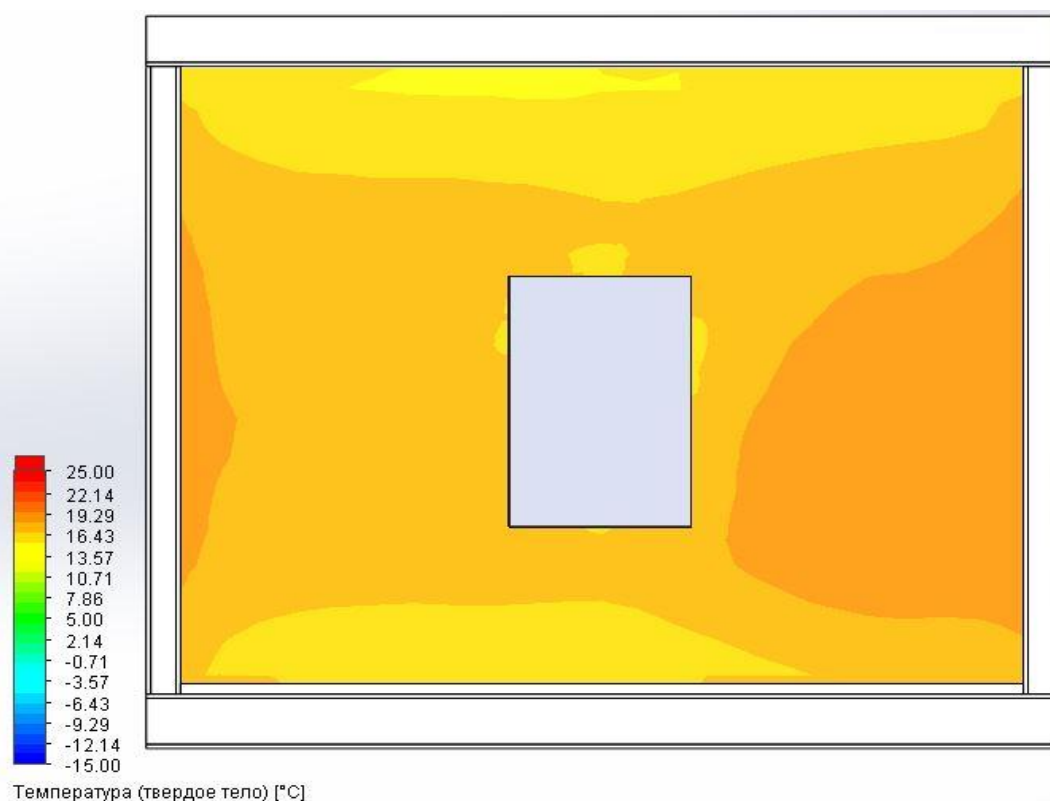


Рис.11. Распределение температуры на внутренней поверхности твердого тела при отоплении комнаты с помощью теплого пола.

Rice.11. Temperature distribution on the inner surface of the solid when heating the room with a warm floor.

ВЫВОДЫ.

Таким образом, моделирование распределения тепла в твердом теле в стандартной модели ограждающей конструкции с различными схемами организаций отопления позволило определить способ размещения отопительного прибора с учетом повышения энергоэффективности выбранной ограждающей конструкции.

При рассмотрении соответствующей нормативным требованиям к теплофизическим параметрам ограждающей конструкции и расположении отопительного прибора под окном, наблюдается значительный перепад температуры в конструкции, что приводит к неравномерности распределения температуры по площади конструкции, возникающей в следствие влияния расположения отопительного прибора (источника тепла в помещении), что в настоящее время не учитывается при расчете мощности системы отопления.

При расположении отопительного прибора у боковой стенки тоже наблюдается неравномерное распределение температуры в ограждающей конструкции, хотя в данном случае градиент несколько меньше, чем при расположении отопительного прибора под световым проемом.

При моделировании ограждающей конструкции и расположении отопительного прибора у боковой стенки с применением теплого пола, распределения температуры в ограждающей конструкции более равномерное, нет сильных перепадов температур, что ведет к уменьшению потерь тепла, так как разница температур будет меньше, по сравнению с другими вариантами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябова Е., Богатикова Н. «Совершенствование систем отопления в помещениях с естественным притоком свежего воздуха». MOTROL, 2014, Vol 16, №5, с. 239-242.
2. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Отставнов А.А. К технико-экономическому обоснованию устройства систем водяного отопления. - М.: С.О.К., - 2005 - №1, 2005.
4. Денисихина Д.М., Бассина И.А., Никулин Д.А., Стрелец М.Х. Численное моделирование автоколебаний турбулентной струи, истекающей в прямоугольную плоскость // ТВТ. 2005. Том 43. №4

– с. 568-579.

5. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования: монография / А.М.Гримитлин, Т.А.Дацюк, Д.М. Денисихина.- СПб : АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.

6. Lubarec A.P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // Motrolyzacja I energetyka rolnictwa. Lublin: Motrol, 2009, №11, p.214-219

7. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Пром. теплотехника. — 2008. № 5 с. 62-68;

8. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника. — 2009. № 1 с. 67-73

9. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ [Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В.,Харитонович А. И., Пономарев Н. Б.] — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.: ил.

REFERENCES

1. Ryabova E., Bogatikova N. "Perfection of heating systems in premises with natural fresh air inflow". MOTROL, 2014, Vol 16, No. 5, p. 239-242.
2. Zinger N.M. Hydraulic and thermal modes of heating systems. Moscow: Energoatomizdat, 1986.
3. AA retired. To the feasibility study of the device of water heating systems. - Moscow: S.O.K., - 2005 - №1, 2005.
4. Denisikhina DM, Bassina IA, Nikulin DA, Strelets M.Kh. Numerical modeling of self-oscillations of a turbulent jet that flows into a rectangular plane // TVT. 2005. Volume 43. № 4 - with. 568-579.
5. Grimitlin AM, Datsyuk TA, Denisikhina DM Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems: monograph / AM Grimitlin, TA Datsyuk, D.M. Denisikhina.- St. Petersburg: ABOK North-West, 2013. - 192 p.
6. Lubarec A. P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // Motrolyzacja I energetyka rolnictwa. Lublin: Motrol, 2009, p. 11, p.214-219
7. NM Dovmir. Low-temperature modes of heating systems as a prerequisite for the efficient use of condensing boilers and heat pumps // Prom. heat engineering. - 2008. № 5 with. 62-68;
8. Nakorchevsky A.I. Heat supply system for a heat-autonomous house // Prom. heat engineering. - 2009. № 1 with. 67-73
9. SolidWorks. Computer modeling in engineering practice / [Alyamovskii AA, Sobachkin AA, Odintsov EV, Kharitonovich AI, Ponomarev NB] - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. -800 s. : ill.

IMPROVEMENT OF THE WORK OF BIFILARY HYDRAULIC CHANGED SYSTEMS OF WATER
HEATING.

Zaitsev O.N, Stepanтова N.A., Emirova E.E.

Summary. The modeling of heat distribution in a solid body in the standard model of the enclosing structure with various schemes of heating organizations has been performed. It has been possible to determine the method of placing the heating device taking into account the increase in energy efficiency of the selected enclosing structure. When considering the corresponding to regulatory requirements for the thermophysical parameters of the enclosing structure and the location of the heater under the window, there is a significant temperature drop in the structure, which leads to uneven distribution of temperature over the area of the structure resulting from the location of the heater (heat source in the room) The present time is not taken into account when calculating the power of the heating system. When the heater is located at the side wall, an uneven temperature distribution in the enclosing structure is also observed, although in this case the gradient is somewhat less than when the heater is positioned under the light opening. When modeling the enclosing structure and the location of the heater at the side wall using a warm floor, the temperature distribution in the enclosing structure is more uniform, there are no strong temperature differences, which leads to a reduction in heat loss, since the temperature difference will be smaller compared to other options.

Key words: water heating, enclosing structure, heat loss

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИОННОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ СТОКОВ

Леонтьев А.В., Стом Д.И., Толстой М.Ю., Чижик К.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет¹, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, www.istu.edu, e-mail: tolstoi@istu.edu; Irk-ic1@mail.ru

Иркутский государственный университет², 664003, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5. www.isu.ru, e-mail: stomd@mail.ru Телефон и факс: (3952)241870, 241855

Московский государственный строительный университет³, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26 www.mgsu.ru, e-mail: VIVE@mgsu.ru

Аннотация: Приведены методические указания (включая схемы) по использованию экспериментальной емкости из оргстекла. Описано проведение эксперимента по интенсификации очистки сточных вод в рамках различных модельных сред, при работе энергосберегающего пневмогидравлического аэратора. Исследовано перемешивание жидкости за счет вращения пневмогидравлического аэратора.

Ключевые слова: водоотведение, очистка сточных вод, пневмогидравлический аэратор, модельная среда, растворимость кислорода

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технического процесса на современном этапе предусматривает повышение производительности работающих и функционирующих в оптимальном режиме сооружений и предприятий. В современных условиях одной из основных задач экономического и социального развития является разработка и осуществление в каждой отрасли, в объединениях и на предприятиях комплексных программ технического перевооружения и реконструкции производства, его непрерывного обновления на основе современной техники и передовой технологии [1-7]. При этом обращается внимание на необходимость более рационального использования водных ресурсов и повышения эффективности работы очистных сооружений и установок [14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Развитие и реконструкция городской застройки невозможна без реконструкции и модернизации очистных сооружений. При этом осуществление реконструкции и технического перевооружения сооружений по очистке производственных и городских сточных вод – одна из наиболее сложных инженерных задач, направленная на улучшение экологической обстановки и охрану водоемов от загрязнения и истощения. Существует множество способов очистки загрязненных вод, но необходимой степенью и важным фактором является аэрация.

Аэрация жидкости необходима как для создания флотационных пузырьков в жидкости, так и для насыщения самой жидкости кислородом в зависимости от назначения химического или биохимического процесса в очистке воды, или другой отрасли промышленности, в которой применяют аэрацию как основу технологического цикла[8].

Разнообразие способов аэрации жидкости и устройств для их осуществления требует не только классификации, но и фундаментального подхода для выявления физических закономерностей осуществления аэрации и создания более совершенных устройств и способов, необходимых для различных отраслей промышленности [9].

Для диспергирования воздуха в жидкости с целью насыщения её пузырьками воздуха давно применяются различные устройства, называемые аэраторами. Все они классифицируются по различным признакам [10-15]:

- **механические**, то есть аэраторы, которые имеют какой-либо движущийся (вращающийся) рабочий орган, вовлекающий атмосферный воздух в жидкостную фазу;

- **пневматические**, представляющие собой систему трубопроводов, подающих простой или насыщенный техническим кислородом воздух под давлением в аэрируемую жидкость (непосредственно или через диспергаторы);

3.12 Одномоментный запуск автоматической записи показаний газоанализатора с интервалом 5 сек.

3.13 Внесение в протокол эксперимента текущих данных (давление воды, воздуха по манометрам, расход воздуха по ротаметру).

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

Биохимическая очистка сточных вод осуществляется в результате сложного комплекса взаимосвязанных физических, химических и биологических процессов. В результате лабораторных исследований была создана технологическая система очистки сточных вод. В данной системе задействован комплект для ионометрии, позволяющий определить pH и концентрацию ряда ионов, БПК и ХПК. Основные неметаллы в сточных водах (способы их очистки), задействованные в процессе эксперимента:

1. Азот аммонийный (NH_4^+): Биологическая фильтрация, окисление озоном, хлором, гипохлоритами щелочных и щелочноземельных металлов, произведены аэрация, сорбция с использованием цеолитов натриевой формы, ионообменные смолы, обработка сильной щелочью, флотация, восстановление аммония металлическим магнием, добавлением растворов хлорида магния и тринатрийфосфата.

2. Азот нитратный (NO_3^-): Электродиализ, ионообменные смолы, биологическая очистка, обратный осмос, электрофлотация, каталитическое восстановление до азота.

3. Азот нитритный (NO_2^-): Биологическая фильтрация, окисление озоном, хлором, гипохлоритами щелочных и щелочноземельных металлов, пероксидом водорода, обратный осмос, ионообменные смолы.

4. Сульфаты (SO_4^{2-}): Обратный осмос, ионообменные смолы, алюминий содержащим реагентом с известкованием.

5. Фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$): Сорбция, озонирование, механическая очистка, парофазное окисление, жидкофазная очистка, биологическая очистка.

6. Фосфаты (PO_4^{3-}): Биологическая фильтрация, отстойники, гидроциклоны, реагентная очистка, обратный осмос, адсорбция, ионообмен, коагуляция, окисление с последующей нейтрализацией известковым молоком озоном, хлором, кислородом воздуха.

7. Фтор: Реагентная очистка, сорбция, обратный осмос, ионообмен.

8. Хлориды (Cl^-): Сорбция, обратный осмос, ионообмен.

Также установка включает в себя источник воды, компрессор, запорные краны, манометры, расходомер воды, ротаметр и пневмогидравлический аэратор (см. схема №3).

Лабораторные исследования составляли основную часть выполненной работы, и включали в себя отработку оптимальных режимов, выяснение физической природы процессов, протекающих в аэраторе, регистрацию основных и вспомогательных параметров изучаемых режимов работы, а также был отработан процесс смены раствора, создание различных модельных сред в емкости.

Методика экспериментальных исследований строилась следующим образом:

- измерялся расход воды и воздуха;
- измерялось давление воды и воздуха;
- измерялось число оборотов аэратора;
- измерялись диаметры пузырьков воздуха;
- измерялась растворимость кислорода в воде.

Основной вариант работы:

Вода подается из хозяйственно питьевого водопровода, а воздух нагнетается из компрессора, с давлением от 0,15 до 0,4 МПа. Сначала необходимо, при всех закрытых вентилях, накачать компрессор до необходимого давления. Затем открыть вентили, воздух начнет поступать в аэратор, далее открыть вентиль для подачи воды, регулируя необходимое давление. Аэратор начинает вращаться.

Работа системы фиксируется на высокоскоростную камеру марки pco.1200s. Эта модель германского производства позволяет записывать изображения с высоким разрешением и низким уровнем шума. Скоростная съемка позволяла исследовать динамику течения многофазной среды и развития струи при выходе из канала аэратора в испытательный резервуар.

Полученные при проведении эксперимента данные заносились в таблицу 1, по которой рассчитывались искомые параметры окислительной способности и эффективности, производились расчёты.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИОННОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ СТОКОВ

Таблица 1. Результаты измерений

Table 1. Results of measurements of solubility of oxygen

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время проведения эксперимента t, мин									
Объём аэрируемой жидкости V, дм ³									
Количество сульфита натрия m, г									
Количество азота нитратного m, г									
Количество азота нитритного m, г									
Количество азота аммонийного m, г									
Количество сульфатов m, г									
Количество фенола m, г									
Количество фосфатов m, г									
Количество фтора m, г									
Количество хлорида m, г									
Солесодержание S=m/v, г/дм ³									
Мощность двигателя компрессора N, кВт									
Расход воды по водосчётчику Q _ж , дм ³									
Суммарный объём аэрируемой жидкости V _ж , дм ³									
Расход воздуха по ротаметру Q _г , дм ³									
Давление в системе P, МПа									
Концентрация растворённого кислорода, мг/дм ³	C1 в начале эксперимента								
	C2 в конце эксперимента								
Температура воздуха T _г , оС									
Температура воды T _ж , оС									
Текущее атмосферное давление P _а , мм.рт.ст.									
Давление насыщенного водяного пара P при текущей температуре жидкости, мм.рт.ст.									
Предел насыщения воды кислородом при давлении 760 мм рт. ст., текущих температуре жидкости и солесодержании Cs(760), мг/дм ³									
Предел насыщения воды кислородом при текущем давлении Cs, мг/дм ³									
Объёмный коэффициент массопередачи кислорода, k									
Окислительная способность ОС, гО ₂ /ч									
Средняя окислительная способность									
Эффективность, г О ₂ /кВт*ч									
Средняя эффективность									
Соотношение газ - жидкость Q _г :Q _ж									
Среднее соотношение газ - жидкость									

ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведена оценка различных механизмов пневмогидравлической аэрации. Показана возможность создания энергоэффективного устройства на принципе смешения двухфазных потоков в пневмогидравлическом аэраторе.

Определена степень насыщения кислородом и коэффициент диффузии при распространении кислорода в сооружении при применении пневмогидравлической аэрации.

Предложен механизм энергосберегающего аэрирующего устройства, который позволяет отказаться от перемешивающих устройств,

использующих дополнительную электроэнергию, и применить механизм получения вращательного движения только за счет гидро-аэродинамики самой струи по принципу Сегнера колеса.

Определены характеристики взаимодействия кислорода и активного ила на примере моделей, использующих: сульфит натрия, азот нитратный, азот нитритный, азот аммонийный, сульфаты, фенол, фосфаты, фтор, хлориды.

Разработаны теоретические и методологические основы расчета технологий с применением пневмогидравлической аэрации при биохимической очистке, моделируя различные среды.

Экспериментальная емкость из оргстекла (для продувки)

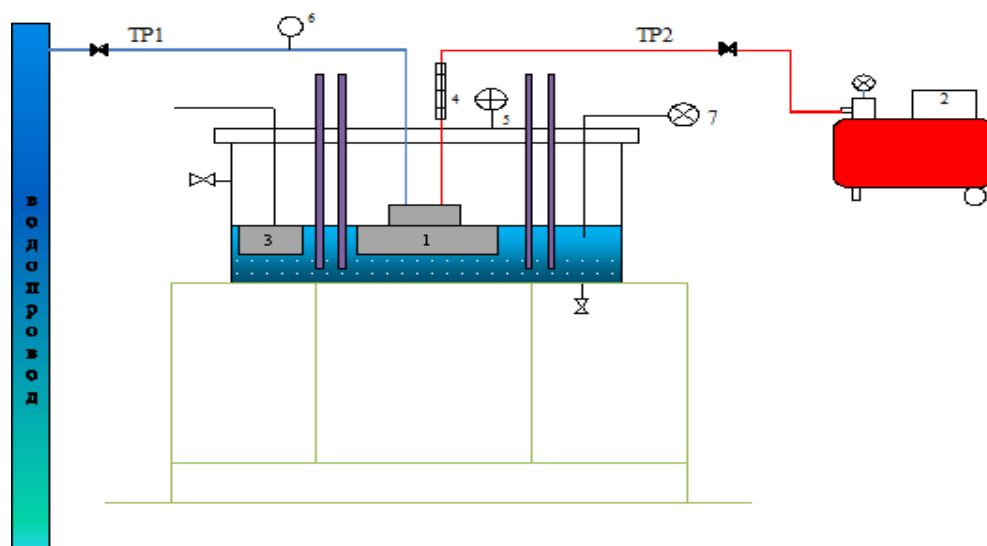
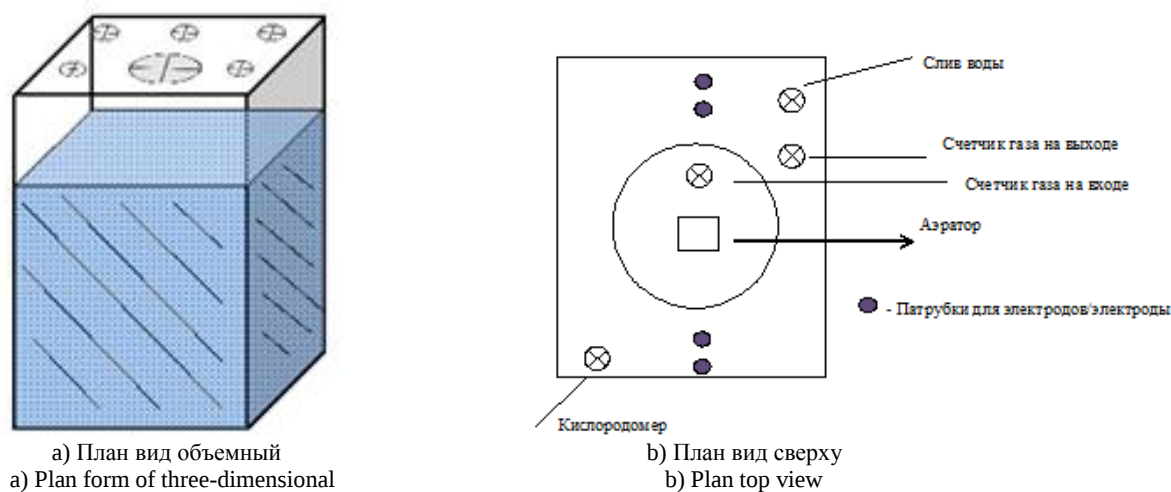


Рис. 1. Схема экспериментального стенда (продувка).

1 – Аэратор; 2- Компрессор; 3 – Кислородомер; 4 – Ротаметр;

— Патрубки для электродов/электроды; TP1 - Трубопровод подачи воды в Аэратор;

TP2 - Трубопровод подачи возд. (газа) в Аэратор; — Кран подачи/слива воды;

5 – Счетчик газа на входе в емкость; 6 – Расходомер воды; 7 – Счетчик газа на выходе из емкости

Fig. 1. Scheme of the experimental stand (purge)

1-Aerator; 2-Compressor; 3-Oxygen Meter; 4-Rotameter;

— The connections for the electrodes/electrodes; RP1 - Pipeline supplying water to the Aerator;

TR2-who supply Line. (gas) in the Aerator; — Tap water supply/discharge; 5 - gas Meter at the inlet of the tank; 6-water flow Meter; 7-gas Meter at the outlet of the tank

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Ю.В., 2009. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебное издание: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. – 760 с.
2. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Пугачев Е.А., Саломеев В.П., Алексеев С.Е., Викулина В.Б., Гогина Е.С., Залётова Н.А., Журов В.Н., Толстой М.Ю. Водоотведение Учебник для студентов вузов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению «Строительство» (профиль «Водоснабжение и водоотведение») / Издательство АСВ -Москва, 2014. 416 с.
3. Gogina E., Shmal'ko V., Tolstoy M. Technology of Wastewater Treatment of the Baikal Natural Territory. Ecology and Industry of Russia. 2018;22(7):11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-7-11-15>
4. Попкович Г.С., Репин Б.Н., 1986/ Системы аэрации сточных вод. – М.: Стройиздат. – 136.
5. Воронов Ю.В., Казаков В.Д., Толстой М.Ю. 2007. Струйная аэрация. Монография // Учебно-методическое объединение ассоциации строительных вузов России. Москва, АСВ. – 162.
6. Чижик К.И., Белоокая Н.В. Модель микробиологической коррозии бетона в системах канализации //Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 2 (21). С. 75-83.
7. Баженов В.И., Березин С.Е., Устюжанин А.В., 2015. Обоснование строительства воздухоподводящих станций на базе экономического анализа затрат жизненного цикла// Водоснабжение и санитарная техника, № 2. - 46-53.
8. Патент РФ. Способ аэрации жидкости, 2005. / Казаков В.Д., Толстой М.Ю., Хан В.В., Кочержинский В.В., Куртин А.В., Кантарович С.И., Орлов А.В., Паутов М.И., RU. Опубликовано: 20.04.2005 Бюл. №11.
9. Толстой М.Ю., Орлов А.В., Васильева А.А., Паутов М.И., Полканов А.Г., Василевич Э.Э., 2005. Методика проведения эксперимента по измерению содержания кислорода в жидкости с применением двустороннего аэратора // Новые технологии в инвестиционно-строительной сфере и ЖКХ. Сб. науч. тр. Том 2. – Иркутск, Издательство ИрГТУ. – 177 – 179.
10. Свод правил СП 32.13330.2012 "СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
11. Saliev E., 2009. Ecological and economic problems of power saving up technologies' introduction in Ukraine. // MOTROL - №11B, 104 – 110.
12. Saliev E., Nikolenko I., 2012. The feasibility report on maintainability of the water and sewage system// MOTROL – Vol.14, №5, 119 – 124.
13. Saliev E., 2013. Reliability of the functioning of of the water and sewage system// MOTROL – Vol.15, №5, 53 – 60.
14. Костюченко С.В., Смирнов А.Д., Толстой М.Ю. Отечественные технологии и оборудование

для безреагентной обработки воды и стоков городов и предприятий Сибири / Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 45-48.

15. Шишелова Т.И., Толстой М.Ю. Современное состояние науки о воде. Проблемы и перспективы // Научное обозрение. – 2016. – № 4 – С. 87-89

REFERENCES

1. Voronov Yu.V., 2009. Wastewater and wastewater treatment / Educational publication: - M.: Publishing house of the Association of Construction Universities. - 760 sec.
2. Voronov Yu.V., Alekseev EV, Pugachev EA, Salomeev VP, Alekseev SE, Vikulina VB, Gogina ES, Zaletova NA, Zhurov VN, Tolstoy M. Yu. Wastewater A textbook for university students enrolled in the undergraduate program in the direction "Construction" (profile "Water supply and sanitation") / ASV-Moscow, 2014. 416 p.
3. Gogina E., Shmal'ko V., Tolstoy M. Technology of Wastewater Treatment of the Baikal Natural Territory. Ecology and Industry of Russia. 2018; 22 (7): 11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-7-11-15>
4. Popkovic GS, Repin BN, 1986 / Aeration systems for sewage. - Moscow: Stroyizdat. - 136.
5. Voronov Yu.V., Kazakov V.D., Tolstoy M. Yu. 2007. Ink jet aeration. Monograph // Educational and methodical association of the Association of Construction Universities of Russia. Moscow, DIA. 162.
6. Chizhik K.I., Belooka N.V. Model of microbiological corrosion of concrete in sewage systems // Izvestiya Vuzov. Investments. Building. The property. 2017. Vol. 7. No. 2 (21). Pp. 75-83.
7. Bazhenov VI, Berезin SE, Ustyuzhanin AV, 2015. Substantiation of the construction of blower stations based on the economic analysis of life cycle costs // Water supply and sanitary engineering, № 2. - 46-53.
8. The patent of the Russian Federation. Method of fluid aeration, 2005. / Kazakov VD, Tolstoy M. Yu., Khan VV, Kocherzhinsky VV, Kurtin AV, Kantarovich SI, Orlov AV, Pautov MI, RU. Published: 20.04.2005 Bul. №11.
9. Tolstoy M. Yu., Orlov AV, Vasilieva AA, Pautov MI, Polkanov AG, Vasilevich EE, 2005. The procedure for the experiment on measuring the oxygen content in a liquid with application of a bilateral aerator // New technologies in the investment and construction sector and housing and communal services. Sat. sci. tr. Volume 2. - Irkutsk, IrSTU Publishing House. 177-179.
10. Code of Regulations SP 32.13330.2012 "SNiP 2.04.03-85. Sewerage: External networks and structures.
11. Saliev E., 2009. Ecological and economic problems of power saving up technologies' introduction in Ukraine. // MOTROL - №11B, 104 - 110.
12. Saliev E., Nikolenko I., 2012. The feasibility report on the maintenance of the water and sewage system. MOTROL - Vol.14, No. 5, 119-124.

13. Saliev E., 2013. Reliability of the functioning of the water and sewage system. MOTROL - Vol.15, No. 5, 53-60.

14. Kostyuchenko SV, Smirnov AD, Tolstoy M.Yu. Domestic technologies and equipment for the reagentless treatment of water and waste water from

cities and enterprises of Siberia / Water supply and sanitary engineering. 2017. No. 11. P. 45-48.

15. Shishlova TI, Tolstoy M.Yu. The current state of the science of water. Problems and prospects // Scientific review. - 2016. - No. 4 - P. 87-89

INVESTIGATION OF THE INTENSIFICATION OF FLOTATION AND BIOLOGICAL
WASTEWATER TREATMENT PROCESSES BASED ON THE APPLICATION OF MODEL
STRAWS

Leontiev A.V., Stom D.I. , Tolstoy M.Y., Chizhik K.I.

Summary: Methodical instructions (including schemes) on the use of experimental capacity from plexiglas are given. An experiment on the intensification of wastewater treatment within the framework of various modeling media, with the operation of an energy-saving air-hydraulic aerator, is described. The mixing of the liquid due to the rotation of the air-hydraulic aerator was investigated.

Key words: water disposal, sewage treatment, pneumatichydraulic aerator, model area, solubility of oxygen

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ПОБЕДНАЯ (ГЛАВНОГО КОЛЛЕКТОРА №5)

Тимченко З.В.

*Академия строительства и архитектуры,
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181*

Аннотация. Предметом исследования является современное состояние реки Победная. По руслу реки был проложен главный коллектор № 5. Аналогичные работы проводились на реках равнинного Крыма и Керченского полуострова. Материалами для исследования явились полевые обследования и данные наблюдений Джанкойской гидрогеологомелиоративной партии ГБУ РК «КГГМЭ». Методами исследований является систематизация данных наблюдений и их статистическая обработка, методы гидрологических расчётов. Проведены расчёты по определению гидрологических характеристик реки Победная. Проанализированы объёмы сбросов и дренажных вод до и после подачи днепровской воды по Северо-Крымскому каналу. Показано, что в настоящее время сток реки определяется сбросами сточных вод.

Ключевые слова. Река Победная, речной сток, коллектор, дренажные воды, сбросные воды

ВВЕДЕНИЕ

Приход на территорию Крыма днепровской воды в 60-е годы прошлого столетия вызвал негативные процессы. Начался подъём уровней подземных вод. Во избежание подтопления в зоне орошаемых массивов была построена дренажная сеть. Избытки грунтовых вод поступали в коллектора, в качестве которых стали использовать спрямлённые русла маловодных рек и балок равнинного Крыма и Керченского полуострова. По ним вода отводилась в Каркинитский залив Чёрного моря или залив Сиваш Азовского моря. В коллектора поступали также бытовые и производственные стоки, которые разбавлялись дренажными водами. В настоящее время ситуация изменилась. Стоки продолжают поступать, а дренажные воды нет. Реки-коллектора превращаются в открытые сточные каналы. Одна из них река Победная, которая является главным коллектором №5 (ГК-5) [1,2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Краткая характеристика рек и балок равнинного Крыма имеется в работах [2]. Следует отметить, что гидрологические наблюдения на реках равнинного Крыма фактически никогда не велись, т.к. их не рассматривали в качестве надёжного источника водоснабжения. Некоторые сведения можно узнать из [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалами для исследования явились полевые обследования и данные наблюдений Джанкойской гидрогеологомелиоративной партии ГБУ РК «КГГМЭ». Методами исследований является систематизация имеющихся данных наблюдений и их статистическая обработка. А также методы гидрологических расчётов при отсутствии данных наблюдений [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Река Победная входит в группу рек и балок равнинного Крыма. Их русла имеют небольшой уклон с юга на север, так как истоки находятся на абсолютных отметках высот 25 – 30 м, а устья близки к уровню моря. Долины широкие, склоны пологие, глубины небольшие. Многие из них даже нигде не упоминались. Так река Победная появилась на карте Джанкойского района только после ввода в эксплуатацию Северо-Крымского канала. До этого на старых картах была отмечена балка Поль (её другие названия - овраг Шай(й)рлы, Кара-Су, Узун-Сакал) [1]. Но со временем балка стала наполняться грунтовыми и сбросными водами, появился постоянный водоток, получивший название - река Победная. Согласно Гидрологической изученности (1964 г.) её длина - 18 км, площадь водосборного бассейна - 366 км² [1]. Исток р. Победная находился у с. Серноводского (бывш. Джар-Кую) Джанкойского района на высоте 20 м, где соединяются несколько оврагов.

В октябре 1972 г. начали строить, а в 1973 г. ввели в эксплуатацию главный коллектор №5 (ГК-5) который проложили по руслу р. Победная, продлив

её на территорию Красногвардейского района, с. Знаменка. Длина коллектора составила 29 км, в т.ч. по территории Джанкойского района - 24,5 км и по территории Красногвардейского района – 4,5 км. На ПК 290 ГК-5 поступают сбросные воды по двум открытым коллекторам ГК-5-1, длиной 3,52 км (правый приток) и ГК-5-2, длиной 8,68 км (левый приток). Они построены по слабовыраженным балкам с целью собрать дренажную воду сёл Видное и Щербакрово Красногвардейского района.

Река Победная течёт в северном направлении, впадает в лиман Широкое залива Сиваш Азовского моря, в 3-х км севернее пос. Митюрино, образуя широкую болотистую дельту, затопляемую при подъемах воды.

Водосборный бассейн р. Победной граничит на западе с водосбором р. Степная; на востоке - р. Стальная; на юге - р. Салгир. Рельеф водосбора равнинный, наивысшие отметки на южном водоразделе до 50 м. В тектоническом отношении водосбор располагается в пределах платформенной области равнинного Крыма. Геологическая структура относится к Скифской платформе. Северо-Сивашский прогиб формируют мощные толщи преимущественно карбонатных осадков мела и терригенных глинистых толщ майкопа (серия конца палеогена – начало неогена). Наиболее прогнутая часть прогиба вытянута широтно вдоль оси Каркинитского залива и залива Сиваша. Широко представлены эолово-делювиальные образования, в т.ч. лёссовидные супеси, серые, бурые и палевые суглинки и глины с карбонатными стяжениями и мелкокристаллическим гипсом. Залегают сплошным покровом, отличаются значительной пылеватостью, карбонатностью и загипсованностью, а также нередко присутствием легко водорастворимых солей. Общая мощность лёссовых эолово-делювиальных образований составляет 12 – 15 м, местами 20 – 30 м и более. Почвы – четвертичные, континентальные

лёссовидные глины, по мехсоставу - легкоголинистые, пылевато-иловатые [5]. Сборный коэффициент стока для таких почв составляет 0,40 [4]. По геоботаническому районированию водосбор относится к центрально-степному с южным и северным подрайонами. Растительность степная: в верхней части водосбора - типчаково-ковыльковые и разнотравно-типчаково-ковыльковые степи, в средней и нижней частях водосбора – полынно-типчаково-ковыльковые и полынно-житняковые степи [5]. Растительный покров подвержен воздействию человека. Большая часть земель (свыше 80%) до 1991 г. была распаханна.

Долина реки неясно выражена, склоны долины пологие, дно ровное. Русло реки почти на всём протяжении канализировано, заросло различной водной растительностью, на некоторых участках зарастание составляет до 90%. Активному зарастанию способствуют органические стоки.

Основным фактором годового стока являются осадки. Среднегодовые осадки за период 2008 – 2017 гг. по метеостанции г. Джанкой составили 469 мм. В равнинном Крыму осадки, в основном, идут на испарение, стекает лишь 1% от выпавших [5]. Коэффициент стока составляет 0,01. Суммарное испарение с поверхности суши – 408 мм/год [5].

Как и все реки равнинного Крыма р. Победная относится к неизученным рекам.

Характеристикой водности реки является норма годового стока, которая может быть выражена в виде среднегодового расхода воды, объёма годового стока, модуля годового стока и слоя годового стока. Для рек равнинного Крыма при отсутствии данных наблюдений модуль годового стока принимается 0,1 л/с км² [5].

Расчётные величины годового стока представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики годового стока

Table 1. Annual flow characteristics

Местоположение створа	Площадь водосбора, км ²	Модуль стока, л/с км ²	Средне-годовой расход воды, м ³ /с	Объём стока, млн. м ³	Слой стока, мм
р. Победная (ГК-5)	366	0,1	0,0366	1,15	3
ГК-5-2	198	0,1	0,0198	0,624	3

Расходы воды в годы различной водности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Расходы воды в годы различной водности, м³/с

Table 2. Water flow rates in years of different water content, m³/s

Характеристика	Водность года, %									
	р. Победная (ГК-5)					ГК-5-2				
	1%	5%	50%	75%	95%	1%	5%	50%	75%	95%
Расходы, м³/с	0,168	0,110	0,025	0,011	0,002	0,091	0,059	0,014	0,006	0,001
Объёмы, млн. м³	5,30	3,46	0,799	0,332	0,059	2,87	1,87	0,43	0,18	0,032

Коэффициент вариации годового стока (C_v) для водотоков равнинного Крыма составляет 1,0; коэффициент асимметрии годового стока: $C_s = 2 C_v$ [5].

Реки равнинного Крыма являются периодическими водотоками, поэтому не только в маловодные, но и в средние и даже многоводные по

водности годы во время летне-осенней межени сток практически отсутствует. В маловодные годы стока вообще нет.

Типовая схема внутригодового распределения стока (в %) для периодических водотоков равнинного Крыма [5] представлена в табл. 3.

Таблица 3. Типовая схема внутригодового распределения стока, %

Table 3. The typical pattern of intra-annual distribution of runoff, %

P, %	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1,5	2,3	7	81	4	2,5	1,5	0,5	0,5	0	0	0	0,7	100
50	4	10	73	5	4,5	2,5	0	0	0	0	0	1	100
75	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
95	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100

Распределение годового стока по месяцам в годы разной водности представлено в табл. 4.

Таблица 4. Среднемесячные расходы воды, м³/с

Table 4. Average monthly water flow rates, m³/s

P, %	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Победная												
1	0,046	0,141	1,63	0,081	0,050	0,030	0,010	0,010	0	0	0	0,014
5	0,03	0,09	1,07	0,053	0,033	0,0198	0,0066	0,0066	0	0	0	0,009
50	0,045	0,112	0,815	0,056	0,05	0,028	0	0	0	0	0	0,011
75	0	0	0,288	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0,051	0	0	0	0	0
ГК-5-2												
1	0,025	0,076	0,884	0,044	0,027	0,016	0,005	0,005	0	0	0	0,008
5	0,016	0,05	0,573	0,028	0,018	0,011	0,0035	0,0035	0	0	0	0,005
50	0,0067	0,0168	0,123	0,008	0,008	0,004	0	0	0	0	0	0,0017
75	0	0	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0

Таблица 5. Максимальные расходы и объёмы паводков различной обеспеченности

Table 5. Maximum water flow rates and volumes of floods of different security

Максимальные расходы, м³/с					Объёмы паводков, млн. м³				
1%	2%	5%	10%	25%	1%	2%	5%	10%	25%
р. Победная (ГК-5)									
127	95,5	63,7	43,3	12,7	22,0	16,5	11,0	5,60	2,20
ГК-5-2									
35,6	26,7	17,8	12,1	3,56	11,9	8,91	5,94	3,03	1,19

Характерной особенностью рек Крыма является их паводочный режим. Формирование выдающихся паводков происходит за счёт выпадения жидких осадков, непродолжительных, но интенсивных. Продолжительность стояния высоких уровней незначительна из-за кратковременности ливневых паводков.

Для рек Крыма при расчётах максимальных расходов воды при отсутствии данных наблюдений рекомендуется формула предельной интенсивности [4], в которой используются гидрографические характеристики реки и водосбора, данные по осадкам 1-ой % обеспеченности, сборный коэффициент стока, а также гидравлические параметры, характеризующие состояние и шероховатость русла и поверхность склонов. Для русел периодически пересыхающих водотоков (сухих логов): $m = 0,33$; $m_p = 11$ м/мин.; поверхность склонов такыровидных равнин с густым травяным покровом $m_{скл} = 0,25$ [4].

Рассчитанные максимальные расходы воды и объёмы паводков приведены в табл. 5.

Минимальные расходы воды за 30 дней в год $P = 95\%$ составляют $0,000 \text{ м}^3/\text{с}$, т.к. на реке наблюдается пересыхание ежегодно в течение нескольких месяцев. Сток по рекам равнинного Крыма проходит только в холодный период года (табл.3) [5].

Величина твёрдого стока в равнинной части Крыма определяется в большей степени ветровой эрозией. Случаются пыльные бури, во время которых происходит выдувание почвы. Слой почвы откладывается в балках и понижениях рельефа, вблизи лесополос и построек. На формирование твёрдого стока оказывают влияние и русловые процессы. Изменение гидравлических характеристик русел создаёт благоприятные условия для аккумуляции или размыва. Внутригодовое распределение стока наносов неравномерно. Наибольшее их количество в феврале, марте или апреле (15 - 25%). Наименьшее количество твёрдого стока наблюдается в сентябре – октябре, когда отсутствует жидкий сток. Наносы приводят к заиливанию водотоков. Наблюдения за мутностью на водотоках равнинного Крыма не проводились, проводились. Средний модуль смыва с водосбора согласно [5] составляет 105 т/год км^2 .

Формирование стока р. Победная (ГК-5) зависит от поступления вод с площадного и

сельского дренажей и сбросов. Объём воды у с. Болотное (устье реки) за период 1990 – 2002 гг., в среднем, составлял $21,7 \text{ млн.м}^3$; за период 2014 – 2017 гг. - $9,4 \text{ млн.м}^3$. Видно, что эти объёмы уменьшились, но всё равно намного выше естественного стока реки (см. табл. 2), который даже в многоводный год $P-1\%$ значительно ниже.

В р. Победную по ГК-5 попадают сточные воды, которые сначала поступают в ГК-5-2. Так АО «Дружба Народов Нова» в 2011-2017 гг., в среднем, сбрасывали 570 тыс. м^3 ; а КП «Красногвардейское ПУВЖКХ» в 2009 – 2017 гг. - 309 тыс.м^3 . Предполагалось, что стоки будут разбавляться дренажными водами сёл Видное и Щербаково, поступающими в ГК-5-1 и ГК-5-2. Но с уменьшением орошаемых площадей их объёмы также снижались. Объёмы сбросов дренажных вод (тыс.м^3) сёл Видное и Щербаково за 1990 – 2013 гг. показаны на рис. 1.

Видно, что в начале 1990-х гг. сбросы составляли свыше 400 тыс.м^3 ; в конце 1990-х – начале 2000-х – порядка 200 тыс.м^3 ; после 2004 г. – менее 100 тыс.м^3 ; в 2013 г. – $31,6 \text{ тыс.м}^3$.

В 2014 г. в связи с прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу и понижением уровня грунтовых вод дренажные воды сёл Видное и Щербаково вообще перестали поступать в ГК-5-1 и ГК-5-2.

Однако в ГК-5-2 продолжает осуществляться сброс сточных вод канализационных очистных сооружений АО «Дружба Народов Нова» и неочищенных стоков КП «Красногвардейское ПУВЖКХ» пгт Красногвардейское (очистные сооружения в пгт Красногвардейское отсутствуют). Объёмы сбросов в ГК-5-2 за 2014 – 2017 гг. представлены в табл. 6.

Следует отметить, что объёмы сбросов остаются практически постоянными. А сброс дренажных вод из сёл Видное и Щербаково уменьшился, в среднем, до $5,12 \text{ тыс.м}^3/\text{год}$, т.е. составляет $0,58\%$ в общем сбросе АО «ДРУЖБА НАРОДОВ НОВА» и КП «Красногвардейское ПУВЖКХ» (от среднего значения - $886,1 \text{ тыс.м}^3$). Годовой сток, который формируется на водосборном бассейне ГК-5-2, в средний по водности год - 430 тыс. м^3 , а в маловодный год - 32 тыс. м^3 , что составляет от сброса сточных вод, соответственно, 50% и 4% .

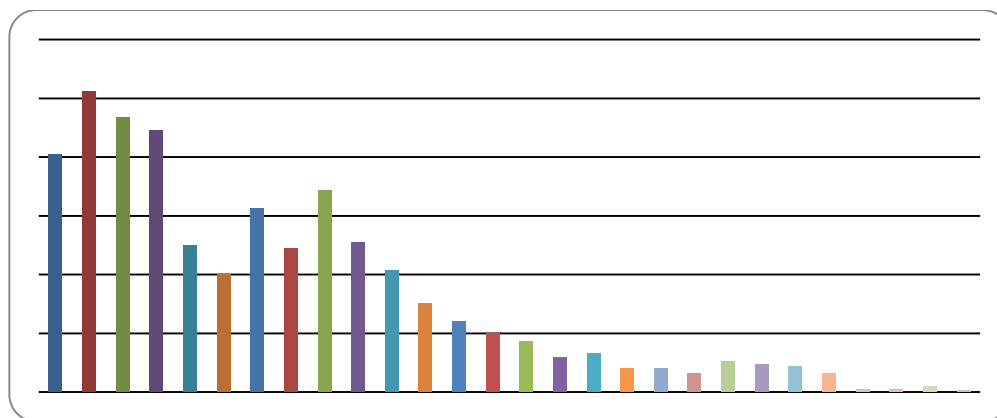


Рис 1. Сбросы дренажных вод (тыс.м³) сёл Видное и Щербаково за 1990 – 2013 гг.

Fig. 1. Discharges of drainage water (thousand m³) villages Vidnoe and Shcherbakovo for 1990 – 2013years

Таблица 6. Объёмы сбросов в ГК-5-2

Table 6. Volumes of wastewater discharges in GC-5-2

№ пп	Год	Сбросы, тыс.м³				Сброшено всего, тыс. м³	Примечание
		АО «ДН Н»	ПУВЖКХ	Видное	Щербаково		
1	2014	647,94	317,8	4,726	0	970,466	
2	2015	599,908	339,25	3,936	0	943,094	
3	2016	516,57	298,1	8,675	0	823,345	
4	2017	524,813	(300)	3,149	0	827,962	данные по ЖКХ имеются за VIII-XII: 184,93 тыс. м³
В среднем		572,31	313,79	5,12	0	891,42	
В сумме		886,1		5,12			

К сожалению, на протяжении многих лет в пгт Красногвардейское существует проблема с отводом и очисткой канализационных стоков, т.к. в посёлке отсутствуют канализационные очистные

сооружения. Когда-то их начинали строить. В память о долгострое остались два пруда-накопителя, которые уже поросли даже кустарниками. Один из таких прудов-накопителей представлен на рис. 3.



Рис.2. Пруд-накопитель недостроенных канализационных очистных сооружений пгт Красногвардейское

Fig. 2. Pond-storage of unfinished sewage treatment facilities PGT Krasnogvardejskoe



Рис. 3. Русло ГК-5-2

Fig. 2. Channel GC-5-2

Русло ГК-5-2 имеет трапецевидную форму с крутыми бортами (до 60°), ширина по дну составляет 5- 6 м. Русло заросшее и заиленное. Толщина ила от 0,05 до 0,7 м. На рис. 3 представлен участок ГК-5-2 в месте сброса сточных вод.

По сути дела, в настоящее время ГК-5-2 стал открытой сточной канавой. В связи с этим для населения сёл Джанкойского района, расположенных ниже по течению создаётся опасная санитарно-эпидемиологическая обстановка.

ВЫВОДЫ

1. Среди рек Крыма маловодные реки его равнинной части и Керченского полуострова являются самыми неизученными.

2. Русла рек равнинного Крыма и Керченского полуострова после прихода днепровской воды по Северо-Крымскому каналу спрямляли, углубляли и использовали в качестве коллекторов.

3. Река Победная является частью коллектора ГК-5, который собирал дренажную воду сёл Видное и Щербаково Красногвардейского района. Эта вода разбавляла сточные воды, которые сбрасывали в одно из его ответвлений (ГК-5-2).

4. В связи с отсутствием воды в Красногвардейской ветке Северо-Крымского канала дренажные воды за последние четыре года оставляют менее 1% в объёмах сточных вод, которые сбрасывают АО «ДРУЖБА НАРОДОВ НОВА» и КП «Красногвардейское ПУВЖКХ».

5. Необходимо проведение гидрографических и гидрологических работ для рек равнинного Крыма и Керченского полуострова, в первую очередь тех, которые выполняли роль коллекторов, чтобы выявить их современное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. – Т.6. – Украина и Молдавия. – Вып. 3. – Крым. – Л.ГМИ, 1964. – 127 с.
2. Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов. Справочник / Сост. А.А. Лисовский, В.А. Новик, З.В. Тимченко, У.А. Губская. – Симферополь: КРП «Изд-во «Крымучпедгиз», 2011. – 242 с.
3. Тимченко З.В. Гидрография и гидрология рек Крыма / З.В. Тимченко. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2012. – 290 с.
4. СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – М., 2004.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.6. – Украина и Молдавия. – Вып. 4. Крым. – Л.: ГМИ, 1966. – 344 с.

REFERENCE

1. Surface water resources of the USSR. Hydrological study. – Vol. 6 – Ukraine and Moldova. – Vol.3 – Crimea. – Leningrad: GMI, 1964. – 127 p.
2. Surface water bodies of the Crimea. Management and use of water resources: Handbook / Ed. A.A. Lisowski, V.A. Novik, Z.V. Timchenko, U.A. Gubskaya. – Simferopol, 2011. – 242 p.
3. Timchenko Z. V. Hydrography and hydrology of the rivers of Crimea / Z. V. Timchenko. – Simferopol, ARIAL, 2012. – 290 p.
4. Body of rules. Determination of the basic design hydrological characteristics.- М., 2004.
5. Surface water resources of the USSR. – Vol. 6 – Ukraine and Moldova. – Vol.3 – Crimea. – Leningrad: GMI, 1966. – 344 p.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE POBEDNAYA RIVER

(THE GENERAL COLLECTOR № 5)

Тымченко З.В.

Summary. The subject of the study is the current state of the Pobednaya river. The general collector № 5 was laid along the riverbed. Similar works were carried out on the rivers of plain Crimea and Kerch Peninsula. Materials for this study was field survey and observation data Dzhankoysky hydro-geological-irrigation batch of GBU RK "CHGME". Methods of research is the systematization of observations and their statistical processing, methods of hydrological calculations. Calculations were made to determine the hydrological characteristics of the Pobednaya river. The volumes of discharges and drainage waters before and after the Dnieper water supply through the North Crimean canal are analyzed. It is shown that at present the river flow is determined by wastewater discharges.

Key word: Pobednaya river, river flow, collector, drainage water, waste water

О ТВОРЧЕСКОМ ПУТИ НАСТАВНИКА

(посвящается памяти профессора Боровского Бориса Иосифовича)



*Не вечна жизнь. Недолг срок людской.
Уходят наставники на покой.
Мы благодарны им за честный труд.
Их знания и опыт не пропадут.
Старению и годам вопреки.
За наставниками идут ученики.
За то, что к знаниям вели
На трудности не обратив вниманья
Лишь благодарности одни
Вам выражаем на прощанье.*

Жизнь ученого человека уникальна и отличается событиями и действиями, позволяющими ему заявить о себе как о личности, добившись результатов, воплощение которых в реальность делает его индивидуумом. Наградой для ученого является признание его творческого гения при жизни, что является результатом кропотливой, многолетней и целеустремленной работы, преодолевая трудности и лишения, порой откровенное непонимание и предательство, отказывая себе в элементарных человеческих радостях. Творческий путь ученого тернистый и сложный, ему присущи успех и неудачи, награды и укоризна и только волевой человек способен собрать воедино последние силы и преодолеть

временные трудности и двигаться дальше к заветной цели – постичь неизведанное.

Весь творческий путь профессора Б.И.Боровского был посвящен именно этой цели, работая на производстве и принимая активное участие в разработке ракетных двигателей или передавая знания студентам в высших учебных заведениях. Коренной крымчанин, получивший высшее образование в Московском ордена Ленина авиационном институте им. Серго Орджоникидзе, факультет ракетных и авиационных двигателей, специальность авиационные двигатели, в 1960 г., оставивший заметный след в отечественной науке и передавший свои знания благодарным ученикам.

Жизненный путь профессора Б.И.Боровского неразрывно связан с наукой, он является ученым-практиком, чьи разработки нашли реальное внедрение в разработку ракетных двигателей. Борис Иосифович начал свой трудовой путь в 1959 году в КБ ХИМАВТОМАТИКА (г. Воронеж), где в дальнейшем будет разработан кислородно-водородный ракетный двигатель для ракеты-носителя «Энергия», которая вынесла на орбиту наш челнок «Буран», совершивший автоматическую посадку на Землю. Молодого и перспективного специалиста приметил руководитель КБ С.А. Косберг и рекомендовал в аспирантуру Московского авиационного института (1962-1965гг.), которую Борис Иосифович закончил успешной защитой кандидатской диссертации под руководством Б.В.Овсянникова. Дальнейшая трудовая деятельность профессора Б.И. Боровского неразрывно связана с КБ НИИХИММАШ (г. Королев) 1965-1989 гг., где он работает сначала заместителем начальника отдела, а затем начальником сектора и курирует направление надёжность турбонасосных агрегатов жидкостно-реактивных двигателей. Годы работы в конструкторском бюро отличаются активной научной работой, лично и при непосредственном участии Бориса Иосифовича было подготовлено 78 научно-технических отчётов, 15 отраслевых и государственных стандартов, получено 10 авторских свидетельств, подготовлено 18 программ САПР, принятых в государственный и отраслевой фонды, опубликовано 111 статей, при этом он успешно преподаёт в Московском авиационном институте. В 1981 г. он защищает докторскую диссертацию по насосной тематике, особую часть которой занимала теория различных видов отводящих устройств высокооборотных насосов ЖРД. В соавторстве с Б.В. Овсянниковым подготовлена монография «Теория и расчёт агрегатов питания ЖРД», выдержавшая три издания (1971, 1979 и 1986 гг.) и переведенная на французский язык. В 1975 г. подготовлена монография «Высокооборотные лопаточные насосы», в которой обобщен накопленный опыт по теории и проектированию насосов ЖРД. В авторский коллектив вошли Вадим Фирсович Чебаевский и Владимир Иванович Петров, авторы известных книг, учёные, признанные за границей (их статья по кавитации в насосах вошла в Британскую энциклопедию), а также Анатолий Семёнович Шапиро и Николай Степанович Ершов, известные своими научными разработками и экспериментальными исследованиями. Основные направления профессиональной деятельности профессора Боровского Б.И. являются теория и

расчёт параметров насосов и турбин, оптимизация гидродинамических систем, вопросы газоснабжения населённых пунктов.

Результаты научных исследований профессора Б.И. Боровского нашли широкое применение в промышленности, он участвовал в создании насосов и турбин для ракетно-космической техники, нефтяной и металлургической промышленности. Им опубликовано 230 научных работ, он является автором 12 изобретений, соавтором 15 государственных и отраслевых стандартов, им подготовлено три кандидата технических наук.

Высокие результаты научной и производственной деятельности профессора Б.И.Боровского отмечены государственными наградами:

1.Первая премия им. 25-летия МАИ за учебник «Теория и расчёт агрегатов питания ЖРД», 1980 г.

2.Диплом Федерации космонавтики СССР имени Ю.А. Гагарина за творческое участие в космических программах, 1989 г.

3.Государственная Премия Совета Министров СССР в области энергетики за исследования в области насосостроения и создание образцов насосов, в том числе для ЖРД ракетносителя «Энергия», 1990 г.

В 1989 году Борис Иосифович возвращается в родной Крым в г. Симферополь по семейным обстоятельствам, связанных с необходимостью уделить внимание любящего сына своей матери и отцу. С этого года начинается новый период жизни, связанный с работой в Национальной академии природоохранного и курортного строительства (в настоящее время академия и строительства Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского). В разные годы он успешно руководит кафедрами «Гидромелиорации и гидротехнических сооружений», «Теплогазоснабжения и вентиляции», в развитие которых внес существенный вклад. На посту руководителя кафедр он запомнился приятным в общении, лишённым бюрократических замашек, человеком высокой честности и порядочности, требовательным к себе и сослуживцам.

В 1991 году Борису Иосифовичу присвоено ученое звание профессор по кафедре насосов и насосных станций, в 1994 году избран действительным членом Крымской академии наук. Он ведёт активную научную деятельность, знания и опыт, полученные им в годы работы в конструкторских бюро позволяют использовать их

уже в новых академических условиях, выступая руководителем диссертационных работ, подготовленных по разным научным направлениям: надежности насосных станций, закрытых оросительных систем, энергосбережения сложных технических систем. В это время он является членом двух специализированных ученых советов по специальностям «Инженерная экология» в дальнейшем «Экологическая безопасность» в Национальной академии природоохранного и курортного строительства, «Насосы и насосные станции» в Сумском государственном университете. Участвует в международных конференциях по проблематике совершенствования эксплуатационных характеристик насосов и двигателей, проводимых в г. Воронеж, с которым его связывают годы работы в КБ ХИМАВТОМАТИКА, положившее начало блистательной карьере ученого.

Работая на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляции» он разрабатывает новые учебные курсы по дисциплинам «Газоснабжение», «Основы научной деятельности», «Методология научных исследований», ставшие в настоящее время бестселлером. Им подготовлено 23 учебных пособия, более 30 учебно-методических рекомендаций. До последнего дня своей жизни

профессор Б.И.Боровский вел активную научную и творческую работу, выступал с предложениями по совершенствованию конструктивных особенностей насосов, направляя их на специализированные предприятия России.

Основными научными работами профессора Б.И. Боровского, внесшими значительный вклад в развитие ракетостроения, в частности кислородного двигателя РД-180, который в настоящее время охотно закупают США несмотря на введенные ими экономические санкции против России, признавая тем самым научный гений советских ученых к которым по праву относится профессор Боровский Борис Иосифович, являются:

1. Теория и расчёт агрегатов питания ЖРД. – М.: Машиностроение, 1971; 1979; 1986 гг.
2. Высокооборотные лопастные насосы. – М.: Машиностроение, 1975.
3. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов. - М.: Машиностроение, 1989.
4. Центробежные лопастные насосы с конфузными рабочими колёсами. - Симферополь: «Изд-во «Доля», 2017

Пашенцев Александр Иванович
Доктор экономических наук, кандидат
технических наук, профессор, профессор кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция» Академии
строительства и архитектуры КФУ им. В.И.
Вернадского
Действительный член Крымской академии наук
Действительный член Национальной академии
туризма Российской Федерации

Дихтярь Татьяна Валериевна
Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция» Академии строительства и
архитектуры КФУ им. В.И. Вернадского

СПИСОК АВТОРОВ

- Абибуллаев А.Н.** ассистент кафедры НИЭ, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Акулиничев Н.М.** магистрант кафедры НИЭ, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Бахтин А.С.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Бекиров Э.А.** доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Боровский Б.И.** доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Воскресенская С.Н.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Дармания А.П.** – доктор технических наук, профессор, Волгоградский инженерно-технический университет, г. Волгоград
- Дихтярь Т.В.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Живица В.В.** ассистент кафедры Градостроительства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Зайцев О.Н.** доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Зуева А. А.** ассистент кафедры Градостроительства, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Котовская Е.Е.** старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Кочура В.Г.** студент кафедры промышленное и гражданское строительство, ДГТУ
- Любомирский Н.В.** доктор технических наук, профессор Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Мороз В.В.** старший преподаватель, Брестский инженерно-технический университет, г. Брест, Беларусь
- Муровская А.С.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Муровский С.П.** кандидат технических наук, доцент Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Нагаева З. С.** доктор архитектуры, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Николаенко В.В.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Николаенко Е.Ю.** кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Николенко И.В.** доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Пашенцев А.И. доктор экономических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Пашенцева Л.В. ассистент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Сайбель А.В. ассистент кафедры строительства уникальных зданий и сооружений, ДГТУ

Сокут Л.Д. кандидат технических наук, доцент Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Сопов И.В. кандидат технических наук, доцент Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Сорокина Н.А. кандидат архитектурных наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Степанцова Н.А. старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Субботкин Л. Д. кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Тимченко З.В. кандидат географических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Топорен С.С. кандидат технических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Уваров В.А. доктор технических наук, профессор, директор инженерно-строительного института, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжения и вентиляции», Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Урецкий Е.А. член корреспондент, БИТА, г. Брест, Беларусь

Федоркин С.И. доктор технических наук, профессор, директор АСиА, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Федюшко Ю. М. доктор технических наук, профессор, кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции, АСиА

Фетляев Э.Э. магистрант кафедры Водоснабжения и водотведения, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Циплина А.А. аспирантка кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Цопа Н.В. доктор экономических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Чепурненко А.С. к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов, ДГТУ

Шаленный В.Т. доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Эмирова Э.Э. аспирантка кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Яценко А.Э. аспирант кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

ПОПРАВКА

В содержании сборника СиТБ№10(62), авторов статьи "ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ РАБОТЕ НА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЯХ", Скибо Д.В., Толстой М.Ю., считать ошибочными и закрепить за, выше указанной статьей, авторов: Боровский Б.И., Дихтярь Т.В. Редакция приносит извинения за эту досадную оплошность.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу stepancova.natal@mail.ru.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjurnal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Так же прием статей на рассмотрение и рецензирование можно направить по электронной почте по адресу stepancova.natal@mail.ru. Все вопросы и пожелания необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.(смотреть пункт 1.3).

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес stepancova.natal@mail.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу lisa.858@yandex.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется. Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу lisa.858@yandex.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты stepancova.natal@mail.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную)

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия –загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты stepancova.natal@mail.ru в сканированном виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер 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 озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами

- **Название статьи** шрифт TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть.** Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М. 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.
- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырех и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4 Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.