

# **СТРОИТЕЛЬСТВО**

## **И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

### **Construction and industrial safety**

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

**№ 7(59) – 2017**

Основан в 1996 году.

Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

#### **Учредитель:**

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

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

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

---

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

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

Главный редактор  
**Федоркин Сергей Иванович**, советник РААСН, д.т.н., 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);

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

**Дьяков И.М.**, к.т.н., доц. (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.**, 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.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# СТРОИТЕЛЬСТВО

## И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 7(59) – 2017

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 5 от 22.06.2017)

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

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

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

Подписан в печать 30.11.2017

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. 16 Усл.-печ. л.

Тираж 100 экз.

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

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

<http://cfuv.ru>, [io\\_cfu@mail.ru](mailto:io_cfu@mail.ru)

(3652) 60-84-98,

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

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

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

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

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

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Раздел 1. Градостроительство**

- Шитикова В.Н., Живица В.В.**  
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ЦВЕТНИКОВ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ  
ВХОДНЫХ ЗОН 7
- Шеина С.Г., Горская А.Л.**  
ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ НАУЧНО-ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА КОМПЛЕКС РАБОТ  
ПО СОХРАНЕНИЮ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ 11
- Бакулина М В**  
ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ТЕРРИТОРИЙ  
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ МЕТОДАМИ ГИС 15

### **Раздел 2. Строительство**

- Федоркин С.И., Макарова Е.С., Елькина И.И.**  
СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАРКАСНО-СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ КВАРЦЕВЫХ ГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ 19
- Цопа Н.В.**  
О НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА 25
- Шаленный В.Т.**  
ИЗЫСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЕ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В  
ПРОГРАММЕ «ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ» ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МАГИСТРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ 37
- Перминов Д.А.**  
РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК МЕЖДУЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ 43
- Перминов Д.А.**  
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ  
ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ 47
- Чепурненко А.С., Сайбель А.В.**  
РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ И ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ  
БЕТОНА 55

### **Раздел 3. Инженерное обеспечение**

- Николенко И.В., Крымов Р.С., Жилин К.А.**  
АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ  
КРЫМА С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ 61
- Котовская Е.Е**  
ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. СИМФЕРОПОЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЮ  
ОЧИСТКИ 73
- Бекиров Э.А., Асанов М.М., Поляновский Д.В.**  
ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ И  
ТОКОВ 83
- Дихтярь Т.В.**  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГАЗА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ  
ОБЪЕКТОВ 89
- Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Ахмед Алькаата**  
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАЛЕСТИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
ЭНЕРГОУСТАНОВОК ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ 95
- Нездойминов В.И., Рожков В.С., Григоренко Н.И.**  
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ. 105

<b>Сокут Л. Д., Муровская А. С.</b>	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ В ОБЩУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ	113
<b>Быков М.А., Бекиров Э.А.</b>	
ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОКОПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ $\alpha$ -Si:H - c-Si.	123
<b>Логачев А.К.</b>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ МЕСТНОГО ОТСОСА – РАСТРУБА	129
<b>Зайцев О.Н., Степанцова Н.А. Кунский М., Циплина А., Эмирова Э.</b>	
ТЕПЛООБМЕН В ГАЗОХОДАХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ПРИ РАБОТЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ	135

#### **Раздел 4. Экологическая безопасность**

<b>Захаров Р.Ю., Волкова Н.</b>	
ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ	141
<b>Ветрова Н.М. Меннанов Э.Э.</b>	
НАРУШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА	147
<b>Руководство для авторов</b>	153

## *Content*

### **Section 1. Town planning**

<b><i>Shitikova VN, Zhivitsa V.V.</i></b>	7
PECULIARITIES OF THE APPLICATION OF LANDSCAPE FLOWERERS AT THE FORMATION OF ENTRY ZONES	
<b><i>Sheina S. G., Gorsky A. L.</i></b>	11
THE ORDER OF DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC-PROJECT DOCUMENTATION FOR THE COMPLEX OF WORKS ON PRESERVATION OF MONUMENTS OF ARCHITECTURE	
<b><i>Bakulina M</i></b>	15
THE ASSESSMENT OF ALTERNATIVE SOLUTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA METHODS OF GIS	

### **Section 2. Construction**

<b><i>Fedorkin S. I., Makarova E. S., Elkina I. I.</i></b>	19
WALL MATERIALS OF A FRAME-CELLULAR STRUCTURE BASED ON FINE GRAINED CLAYEY QUARTZ SANDS	
<b><i>Zopa N.V.</i></b>	25
ABOUT NECESSITY OF APPLICATION OF RISK-ORIENTED METHODS FOR PROVIDING SUSTAINABILITY OF INVESTMENT-BUILDING PROJECT	
<b><i>Shalenny V.T.</i></b>	37
SURVEY AND REFLECTION OF LIFE SAFETY PROBLEMS IN THE PROGRAM "THEORY AND PRACTICE OF ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL SOLUTIONS" FOR PREPARATION OF MASTERS-BUILDERS	
<b><i>Perminov D.A.</i></b>	43
RESULTS OF THE INVESTIGATION OF WOODEN BEAMS BETWEEN THE STAGE OF OVERLAPPING	
<b><i>Perminov D.A.</i></b>	47
INVESTIGATION OF STRESSED STATE OF NODES FROM SINK PROFILES OF CLOSED SECTION	
<b><i>Chepurnenko A.S., Saybel A.V.</i></b>	55
CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE PLATES AND SHELTER SHELLS WITH THE ACCOUNT OF CREATURE OF CONCRETE	

### **Section 3. Engineering Support**

<b><i>Nikolenko I.V., Krymov R.S., Zhilin K.A.</i></b>	61
ANALYSIS OF FAILURES OF PIPELINE NETWORKS OF WATER SUPPLY SYSTEMS OF CRIMEAN CITIES WITH THE PURPOSE OF JUSTIFICATION OF RECONSTRUCTION PARAMETERS	
<b><i>Kotovskaya H.E.</i></b>	73
ESTIMATION OF QUALITATIVE INDICATORS OF SOURCES OF CENTRALIZED DRINKING WATER SUPPLY OF G. SIMFEROPOL AND THEIR INFLUENCE ON THE TECHNOLOGY OF CLEANING	
<b><i>Bekirov E.A., Asanov M.M., Polyanovsky D.V.</i></b>	83
PROGRAM FOR THE ANALYSIS OF HARMONIC COMPONENT VOLTAGES AND CURRENTS	

<b><i>Dikhtar T.V.</i></b>	89
DETERMINATION OF THE GAS COMPOSITION FROM VARIOUS INDUSTRIAL AND HOUSEHOLD OBJECTS	
<b><i>Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Ahmed Alkaata</i></b>	95
IMPROVEMENT OF THE ENERGY POTENTIAL OF PALESTINE AT THE USE OF WIND POWER ENGINEERINGS	
<b><i>Nezdoyminov V.I., Rozhkov V.S., Grigorenko N.I.</i></b>	105
RECOMMENDATIONS ON THE METHOD OF CALCULATING VACUUM SANITATION FOR SMALL SETTLEMENTS.	
<b><i>Sokut L.D., Murovskaya A.S.</i></b>	113
PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS FOR THE ACCOUNT OF CONNECTION OF WIND AND SOLAR POWER PLANTS WITH ENERGY ENERGY GENERATORS TO THE GENERAL ENERGY SYSTEM	
<b><i>Bykov M.A., Bekirov E.A.</i></b>	123
NUMERICALLY ANALYTICAL MODEL OF CARRIER TRANSPORTATION IN PHOTOCONDUCTORS ON HYPERETERIC TRANSITIONS -Si: H-s-Si.	
<b><i>Logachev A.K.</i></b>	129
SIMULATION OF DUST-AIR CURRENT IN THE ZONE OF LOCAL PUMP ACTIVITY - ROSTER	
<b><i>Zaitsev O.N., Stepanstova N.A., Kunsy M., Ziplin A., Emirova E.</i></b>	135
HEAT EXCHANGE IN GAS FLOWS OF HEAT EXCHANGE WATER HEATERS AT SOLID FUEL OPERATION	

#### **Section 4. Environmental safety**

<b><i>Zakharov R.Y., Volkova N.</i></b>	141
DYNAMICS OF QUALITATIVE INDICATORS OF PURIFIED SEWAGE WATERS IN THE CRIMEAN REGION	
<b><i>Vetrova N.M. Mennanov E.E.</i></b>	147
VIOLATIONS OF ENVIRONMENTAL SITUATION IN THE COASTAL ZONE OF THE WESTERN CRIMEA	
<b><i>Guidelines for Authors</i></b>	153

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ЦВЕТНИКОВ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ВХОДНЫХ ЗОН

Шитикова В.Н., Живица В.В.

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

**Аннотация.** Оформление входа в общественное здание или на территорию садово-паркового объекта – важная эстетическая задача. В данной работе проводится анализ декоративных возможностей некоторых элементов ландшафтной композиции, а именно архитектурного рокария и миксбордера. Рассматриваются архитектурно-функциональные и художественно-эстетические характеристики данных элементов. Также в статье предлагаются варианты эскизных проектов, описываются их достоинства и новизна, современная эстетика и авторские наблюдения. Это позволяет рассмотреть изучаемую тему с разных точек зрения, осознать значимость творческих находок в ландшафтном озеленении.

**Ключевые слова:** ландшафтная композиция, входная зона, цветники, ландшафтный дизайн.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных показателей при расчёте любого общественного объекта, является его посещаемость. Грамотно спроектированная входная группа и интересно оформленный вход привлекают внимание посетителей и запоминаются.

Таким образом главный вход – чрезвычайно ответственная функциональная зона, по которой у человека складывается первое и наиболее яркое впечатление об объекте посещения.

При проектировании входа в здание или на территорию садово-паркового объекта, необходимо учитывать множество композиционных факторов, влияющих на организацию входного пространства:

- светотеневое, цветоколеристическое соотношения элементов;
- приёмы контраста, нюанса, ритма, масштабности, симметрии и асимметрии элементов;
- пропорции, величина, масса, фактура элементов композиции.

Входная группа как правило включает в себя архитектурные, технические, ландшафтные элементы.

В данной работе рассмотрим применение во входных группах озеленения, а именно ландшафтных цветников.

К ландшафтному стилю относятся архитектурный рокарий и миксбордер, обладающие неограниченными художественно-декоративными возможностями. Именно данные элементы ландшафтной композиции можно использовать для решения входных групп как в здания или сооружения, так и на территорию больших парков, садов, скверов, бульваров, музеев под открытым небом и т.д.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Выбор литературных источников соответствует теме исследования.

Наиболее подробно раскрывает стилистику ландшафтных цветников и дает определение

понятиям «альпинарий», «каменистый сад» работа Ю. Маковского «Каменные сады».

Разделение садов и парков на функциональные зоны, их типология описывается в работе В.Ф. Гостева и Н.Н. Юскевича «Проектирование садов и парков».

Применение новых идей, нестандартные материалы в оформлении малых садов отражены в работе Е.В. Забелиной «Поиск новых форм в ландшафтной архитектуре».

Широкий спектр растительного ассортимента для каменистых горок и рекомендации по их благоустройству предлагаются в работе д-р Д.Г. Хессайон «Все об альпинарии и водоеме в саду».

В целом информация о специфике архитектурного рокария и миксбордера, как композиции, несущей в себе перспективные декоративные особенности в оформлении входных групп в научной литературе раскрыта неполно.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследований основана на аналитическом, системном, историческом методах.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования состоит в разработке рекомендаций и предложений по оформлению входа в общественное здание или садово-парковый объект на основе теории стилистики ландшафтных цветников.

### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- провести анализ существующих научных источников по теме исследования;
- дать определения понятиям «рокарий» и «миксбордер»;
- рассмотреть особенности применения рокария и миксбордера при организации входных зон

общественного здания или садово-паркового объекта.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Входная зона формирует впечатление об объекте посещения. Ее основная функция – заинтересовать посетителя. Традиционным архитектурным решением входов является использование колонн, портиков, ворот, арок, малых архитектурных форм, цветников. В настоящее время для оформления входов все чаще применяют элементы ландшафтной композиции. Обратим внимание на изысканность композиции ландшафтных цветников – архитектурного рокария и миксбордера.

По определению Ю. Маковского «архитектурный рокарий и миксбордер - элементы престижного сада» [1]. Рокарий определяется, как архитектурное сооружение, имитирующее горный ландшафт. При его устройстве используются естественные материалы: камень, вода, растительность, символизирующие природные ценности. Если «символ» выделить в геометрически правильную оправу, получится архитектурный рокарий — тип художественного террасированного каменистого сада. В качестве примера приведём эскизный проект архитектурного рокария, предлагаемого у входа в общественное сооружение (рис. 1).



Рис. 1. Рокарий как архитектурно- композиционный элемент входа в здание.

Сочетание колонновидной и шаровидной форм вечнозеленых растений (туя, можжевельник, самшит и др.), круглогодично придает входу парадность. Вертикальное озеленение из плюща декорирует фасад здания, расширяя возможности зеленого оформления. Для гармонии и единства фактуры со ступеньками, навесом, стеной выкладываются декоративные камни. Подпорная стенка, облагороженная почвопокровным растением, формирует четкую границу, чем придает строгость и элегантность всей композиции.

У входа также можно применить миксбордер (mix «смешивать», border «граница») из красивоцветущих растений. Существует множество вариантов использования разнообразных растительных группировок в сортовой разнообразии, многократной сменяемости цветения растений в течение периода вегетации (рис. 2) [2].



Рис. 2. Пример включения миксбордера в состав входной группы здания

Миксбордер разбивается на подпорной стенке в виде террасы, являясь украшением входа и важной частью общего архитектурного замысла.

Ассортимент растений подбирается с учетом принципа непрерывного цветения с ранней весны до поздней осени и заполняется акцентными, фоновыми и бордюрными растениями. Акцентные растения должны иметь яркую цветовую гамму и выразительные декоративные качества (юкка, шток-роза, канна, эремурус). Фоновые растения обычно выбирают с мелкой листвой (бегония, петуния, бархатцы). Ближе к краю миксбордера высаживают почвопокровные (клумбовые пеларгонии, ясколка, яснотка). Кроме многолетних цветочных композиций рекомендуются вечнозеленые кустарники, хвойники, камни, малые архитектурные формы. В последние годы появились яркие и выразительные композиции из злаков, придающих колосками воздушность летом, рельефность зимой (кортадерия, зайцехвост, вейник).

Вход на территорию садово-паркового объекта – это другой, более крупный, масштаб и, соответственно, другие размеры элементов ландшафтной композиции. Архитектурно оформленные плоскости в виде подпорных стен играют не только важную эстетическую роль, но и направляют пешеходов в нужном направлении, как бы приглашая к приятному путешествию. На Рис. 3 предлагается рокарий с россыпью камней и водное зеркало или каскад водопадов. «В таком проекте нет места ни одной лишней и случайной детали, ни одному лишнему растению. Все в нем продумано до мелочей, опрятно и ухожено» [1].



Рис. 3. Эскизный проект входа с использованием водных зеркал

Следующий вариант эскизного проекта входа в музей под открытым небом или садово-парковый объект предлагает еще более сложное сочетание декоративных средств (Рис 4).



Рис. 4. Эскизный проект входа на территорию садово-паркового объекта или музея под открытым небом.

Разбивка территории посредством модулей архитектурного рокария дает возможность сохранять высокую декоративность круглый год. Акцент делается на камни, воду и газон. Небольшими вкраплениями вписываются вечнозеленые формованные растения и красивоцветущие почвопокровные. Это эскиз современного фантазийного каменистого сада. Он не только соответствует новой эстетике в архитектуре, но также обеспечивает новизну и декоративность входной зоны. Конструкция данного рокария представляет собой систему подпорных стенок разной высоты, формы и протяженности. Отделочный камень, используемый для возведения подпорных стен, сочетается по цвету и текстуре с камнями, используемыми в структуре рокария.

Нестандартный подход в украшении входной зоны предлагается в следующем проекте. С помощью новых художественных средств, а именно, архитектурного направления «кубизм», рокарий приобретает новое современное звучание. Суть кубизма – выявление геометрической структуры видимых объемных форм, с помощью новых материалов [4]. В данном случае предлагается набор трехмерных синтетических геоматов, покрытых газонной травой. Объемная геометрическая форма, украшающая рокарий, сравнима с вавилонским зиккуратом, который символизирует ступеньки на верхний уровень бытия. «Зиккурат» гармонирует с камнем, газоном, деревьями и классической альтанкой (беседкой) (Рис. 5).

Подобный приём решения рокария целесообразно использовать при организации входной зоны на территории садово-парковых объектов: парков, скверов, садов, бульваров, музеев под открытым небом и т.п.

Известный британский архитектор Кристофер Дэй рекомендовал углубиться в биографию местности, в поиск «корней», «место, где обитает душа» [4]. Например, южная самобытность Крыма всегда определялась влиянием классической культуры. Это

связано с вековой историей полуострова. Архитектурный облик Крыма несет в себе отгис множества архитектурных стилей: классические ордерные системы, привнесённых греками и римлянами более двух тысяч лет назад, средневековая архитектура пещерных городов и монументальных крепостей, и, наконец, великолепные дворцы и усадьбы XIX века. К сожалению, уходят в забвение прекрасные греческие и римские портики, колонны, вазы в организации входа. Возрождение их на полуострове сохранит и обогатит крымскую архитектуру.

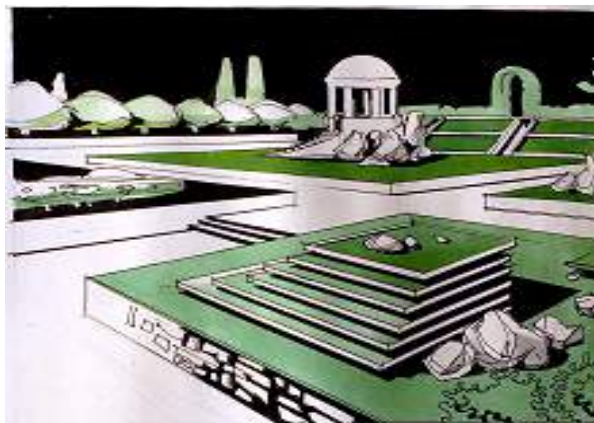


Рис. 5. Пример геометрической структуры видимых объемных форм в рокарии

Следующий эскиз можно предложить для входной зоны музеефицированной территории историко-архитектурных памятников античного и средневекового периода, садово-парковых объектов, обладающих исключительной исторической, научной, художественной ценностью. Этот вариант является классическим при выборе архитектурно-художественного решения по данной теме, учитывающий историю и традиции, свойственные территории проектирования. Наличие миксбордера придает особую красоту и изысканность предложенному стилю.

Дух места, история - это ключик для осознания неповторимого образа в ландшафтном озеленении полуострова. (рис.6).

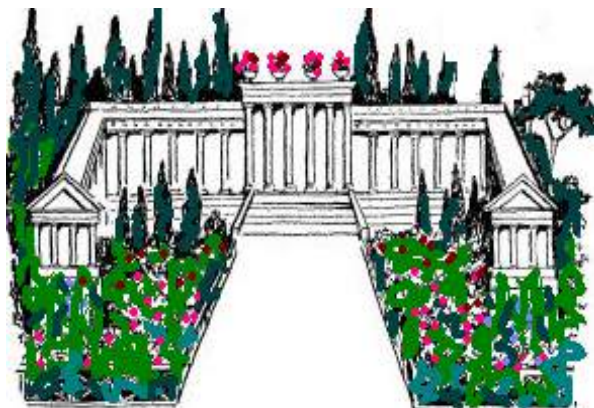


Рис.6. Пример украшения входной зоны миксбордером в сочетании с ордерными колоннадами.

## ВЫВОДЫ

Вход – важная функциональная зона, визитная карточка общественного здания или садово-паркового объекта.

Вход рекомендуется украшать современными элементами ландшафтной композиции – архитектурным рокарием или миксбордером.

Современный архитектурный рокарий, обладая эстетическими достоинствами, придает престижность и формирует первое впечатление об объекте посещения. Композиция может украшаться камнем, водой, растительностью, малыми архитектурными формами.

Миксбордер, украшенный роскошным цветением, создает праздничный живописный вид входу в парк или общественное сооружение. Миксбордер оформляется многолетними цветочными растениями, кустарниками, хвойниками, злаками, камнями, малыми архитектурными формами.

Архитектурные рокарий и миксбордер обладают пластичными свойствами, что позволяет поиск новых форм и материалов для обогащения пейзажа: «кубизм», инсталляции, нетрадиционные фактуры

(металл, стекло, проволока, зеркало, пластик, инертный материал).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марковский Ю.Б. Альпинарии, горки, каменистые сады [Текст] / Ю.Б. Марковский. - М.: Фитон. - 2007.- 223с.
2. Гостев, В.Ф. Проектирование садов и парков: учебник [Текст] / В. Ф. Гостев, Н. Н. Юскевич. - М.: Стройиздат.-1991.-340 с.
3. Крижановская, Н.Я. Основы ландшафтного дизайна [Текст] / Н.Я Крижановская. – Ростов-на-Дону: Феникс. - 2005.- 204с.
4. Забелина, Е.В. Поиск новых форм в ландшафтной архитектуре [Текст] / Е.В. Забелина. – М.: Архитектура – С.- 2005. - 157с.
5. Хессайон Д.Г. Все об альпинарии и водоеме в саду / Д.Г. Хессайон .- М.: Кладезь-Букс.- 2003.- 125 с.
6. Дэй Кристофер Места, где обитает наша душа [Текст] / Кристофер Дэй. – М.: Ладыя.- 2000.- 283с.
7. Максименко А., Резник М. Озеленение городов в условиях плотной городской застройки.// Строительство и техногенная безопасность. - Сборник научных трудов. №1 (53), 2015 – С.85-87.

Shitikova V. N., Zhivitsa V.V.

## PECULIARITIES OF THE APPLICATION OF LANDSCAPE FLOWERERS AT THE DESIGN OF ENTRY ZONES

**Annotation.** The design of the entrance to a public building or area in the landscape object is an important aesthetic problem. In this work the analysis of the decorative possibilities of some elements of landscape composition, namely architectural rockeries and mixborders. Discusses the functional architectural, artistic and aesthetic characteristics of these elements. The article also offers alternatives preliminary designs and describes their advantages and novelty, modern aesthetics and more observations. This allows us to consider studying the subject from different points of view, recognize the importance of creativity in landscape gardening.

**Key words:** landscape composition, entrance area, flower beds, landscape design

## ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ НАУЧНО-ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА КОМПЛЕКС РАБОТ ПО СОХРАНЕНИЮ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Шейна С.Г., Горская А.Л.

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

**Аннотация.** В настоящее время наиболее остро стоит вопрос сохранения и восстановления исторически сложившегося городского облика. Для сохранения ценности памятника архитектуры и всех его функций нужна более совершенная и эффективная система комплексного управления его состоянием. Проанализировав данную ситуацию, авторами статьи предложен порядок разработки научно-проектной документации на весь комплекс работ по сохранению объектов культурного наследия.

**Ключевые слова:** историческая застройка, памятники архитектуры, техническое состояние здания, комплексные исследования.

### ВВЕДЕНИЕ

Историко-культурное наследие России исключительно богато. Наш народ может гордиться многообразием своих историко-культурных ценностей, присущих наследию, отражающих эстетические идеалы разных национальностей, проживающих на территории страны и являющихся самыми объективными свидетельствами нашего прошлого.

Неконтролируемая урбанизация, разнообразная инфраструктура, движение транспорта, неуместное новое строительство в исторической среде, также неправильный режим эксплуатации существующих зданий ускоряют процессы естественного старения

объектов наследия, тем самым создавая угрозу их физической утраты [1].

### ЦЕЛЬ

Целью статьи является обоснование необходимости порядка разработки научно-проектной документации на весь комплекс работ по сохранению исторической застройки города.

### ОБЩАЯ ЧАСТЬ (ИССЛЕДОВАНИЕ)

Для сохранения ценности памятника архитектуры и всех его функций нужна более совершенная и эффективная система комплексного управления его состоянием.

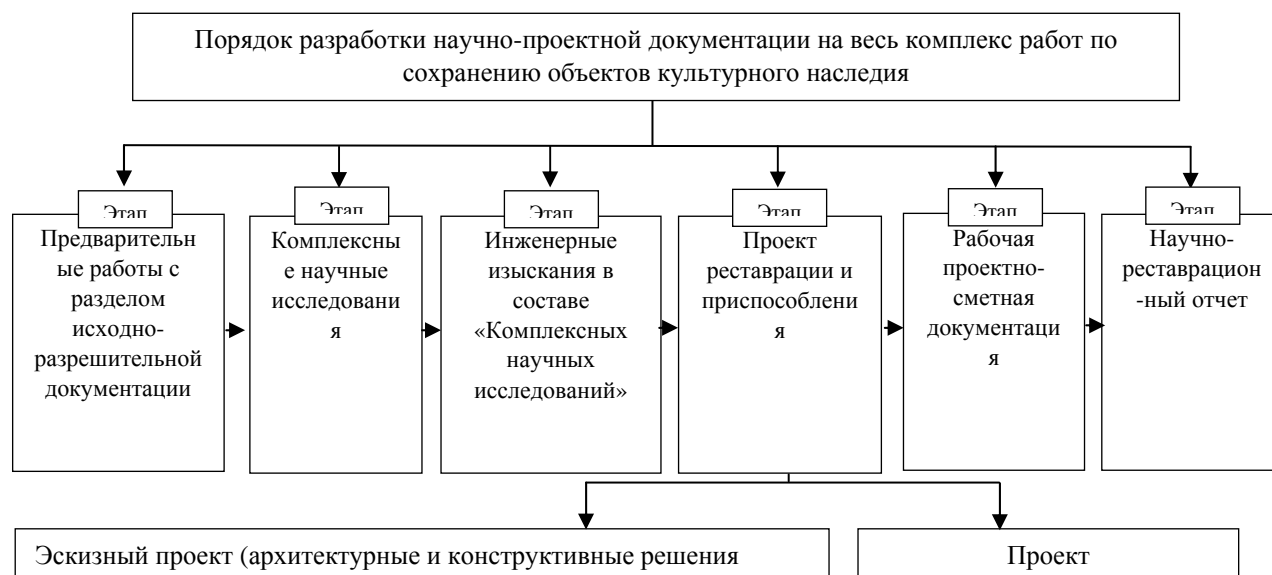


Рис. 1. – Порядок разработки научно-проектной документации на весь комплекс работ по сохранению объектов культурного наследия

Поскольку на их техническое состояние влияет состояние внешней среды – необходима информация о среде, экологических факторах, действующих на объект, и т.д., о структуре и свойствах материала объекта для прогнозирования последствий взаимодействий и оценки.

Отношения в области государственной охраны, сохранения, использования и популяризации объектов культурного наследия регулируются Конституцией Российской Федерации, документами международного права в области культурного наследия, Основами законодательства Российской Федерации о культуре [2].

На выполнение производственных работ по сохранению объектов культурного наследия устанавливается порядок разработки научно-проектной документации на весь комплекс работ по сохранению объектов культурного наследия или на отдельные этапы работ «рис.1».

После чего осуществляется согласование и утверждение научно-проектной документации,

назначается научное руководство, технический и авторский надзор за проведением работ до дня выполнения указанных работ.

По окончании реставрационных работ составляется научный отчет обо всех выполненных по объекту ремонтно-реставрационных работах с ссылками на записи в дневнике или журнале, и исполнительные чертежи, акты и протоколы комиссий, отчеты о специальных исследованиях.

Для определения состояния, выполнения проектов ремонтно-реставрационных работ, консервации и приспособления для современного использования недвижимых памятников (зданий и сооружений) истории и культуры народов Российской Федерации (далее Памятников), а также для получения достоверных данных о причинах возникновения повреждений и разработки рекомендаций по обеспечению их сохранности проводят комплексные инженерно-технические исследования памятника «рис. 2».

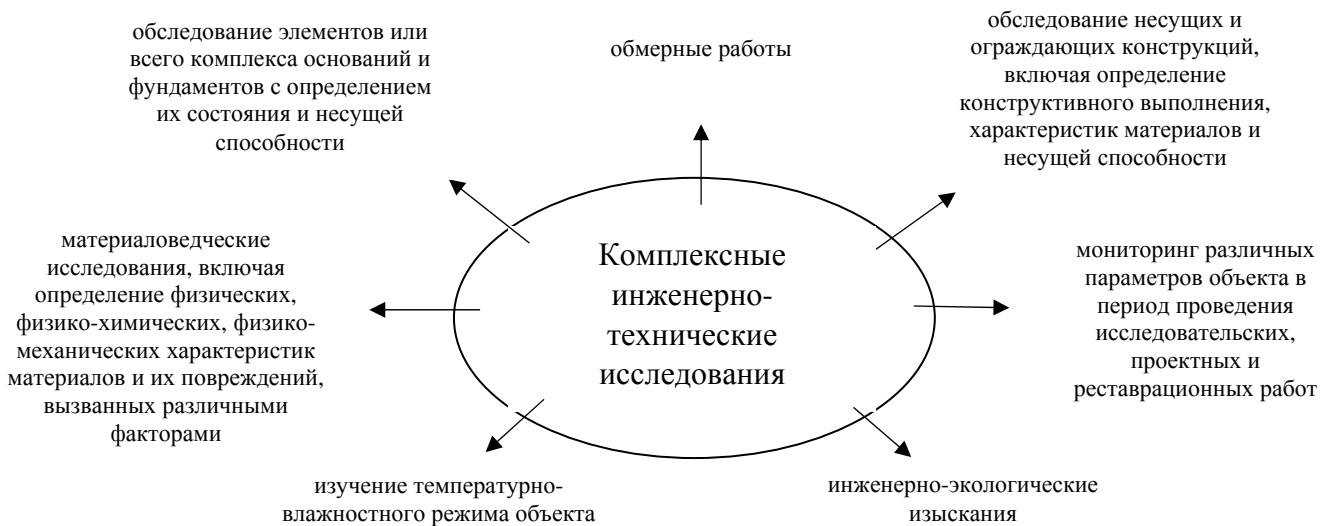


Рис. 2. – Комплексные инженерно-технические исследования

На различных этапах исследований памятников разрабатываются следующие виды исследовательской документации, отражающей техническое состояние объекта [3]:

– на этапе «подготовка к проведению обследования и предварительное (визуальное) обследование» проводят подготовительные мероприятия и обследование, позволяющие составить: акт технического состояния объекта культурного наследия и (или) отчет о предварительном инженерном обследовании, в котором отражаются: адрес, дата осмотра, наименование объекта, общее состояние, состояние внешних архитектурных и конструктивных элементов памятника, состояние внутренних архитектурных, конструктивных и декоративных элементов памятника, живопись (монументальная, станковая, материал, сюжет). Предметы прикладного искусства (мебель, осветительные

приборы, резьба по дереву, художественный металл, иконостасы и т.п.), отопление, вентиляция, канализация, выводы, подписи сторон «рис. 4»;

– на этапе «детальное обследование», проводят исследования, позволяющие составить: Техническое заключение по результатам инженерного обследования, включая отчеты по всем частям исследования (диагностики состояния материалов, исследования температурно-влажностной среды, экологического состояния и др.);

– на этапе производства ремонтно-реставрационных работ - отчёт о дополнительном инженерном обследовании, конструкций и материалов;

- после производства ремонтно-реставрационных работ на памятнике: Научно-реставрационный отчёт о проведённых реставрационных работах.

На этапе «Рабочая проектно-сметная документация» одной из составляющих

обследования может являться информационная 3D модель здания памятника архитектуры, которая является составляющей технология BIM «рис. 4». Одна из основных новых возможностей подобной модели – это виртуальное прогнозирование всех этапов жизненного цикла на стадии его проектирования, проводимое с помощью, так называемой, исследовательской модели. Технология BIM открывает принципиально новые перспективы в мониторинге технического состояния строительных объектов. В целях исследования была

разработана компьютерная 3D модель здания памятника архитектуры, Екатерининской гимназии г. Ростова-на-Дону (ныне МБОУ Лицей № 13 г. Ростова-на-Дону), «рис. 3».

Информационная модель живет параллельно с самим объектом исследования и продолжает существование памятника в виртуальной среде. Она представляет собой исследовательский продукт, который возможно запустить в работу по сохранению объекта культурного наследия [4].



Рис. 3. – Компьютерная 3D модель здания памятника архитектуры, Екатерининской гимназии г. Ростова-на-Дону (ныне МБОУ Лицей № 13 г. Ростова-на-Дону)

**АКТ**  
**технического осмотра состояния объекта культурного наследия**

г. Ростов на Дону \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2016г.  
ул. Свободы, 11  
(Адрес объекта)

Мы, нижеподписавшиеся,  
исполнитель (инициатор), заказчик работ и т.д. \_\_\_\_\_  
(полное наименование организации, Ф.И.О.)

архитектору-реставратору  
или инженер-реставратору \_\_\_\_\_  
(полное наименование организации, Ф.И.О.)

оставили настоящий акт о том, что техническое состояние объекта культурного наследия (указанного в истории и культуре) (далее - Объект) в том, что еще не выявлены признаки объективной осмотру объекта культурного наследия (архитектура, история и культура) \_\_\_\_\_, является:

**Здание Екатерининской женской гимназии\***  
(Наименование объекта культурного наследия)

№ 20/4-11

по адресу: \_\_\_\_\_  
Ростовская область  
(Республика, область, район)

\_\_\_\_\_  
Ростов-на-Дону  
(город)

№ \_\_\_\_\_ Свободы \_\_\_\_\_ д. \_\_\_\_\_ кв. \_\_\_\_\_ офис \_\_\_\_\_

Присутствующие осмотр объекта культурного наследия утвердили:

1. Общее состояние памятника \_\_\_\_\_  
(полное наименование (в рамках предоставления информации)  
(даны в кратком характеристике объекта культурного наследия в форме)

Рис. 4. – Фрагмент акта технического состояния объекта культурного наследия

Отчёты по результатам мониторинга различных параметров, включающие прогнозы развития

процессов и рекомендации методов устранения их негативного влияния, выполняются в процессе

производства ремонтно-реставрационных работ и эксплуатации объектов культурного наследия. Мониторинг состояния и использования проводится с целью получения информации, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений в сфере сохранения памятников [4]. Он может быть:

- постоянный, выполняемый для наблюдения за состоянием конструкций памятников во время их эксплуатации в нормальном режиме;
- срочный, выполняемый в период проведения работ на Памятнике или в случае воздействий на Памятник негативных факторов техногенного характера, в том числе проведение в непосредственной близости строительных работ.

При выполнении постоянного мониторинга требуется осуществлять наблюдение за перемещениями и напряженно-деформированным состоянием конструкций Памятника, для чего рекомендуется фиксировать осадки и наклоны стен, появление новых и развитие существовавших повреждений, в первую очередь трещин в стенах и перекрытиях, а также, в случае необходимости, параметры динамических перемещений конструкций.

Для непосредственного доступа и вынужденной ограниченностью мест вскрытия конструкций и в период проведения основного обследования присутствует необходимость инженерно-технических исследований памятников в период проведения ремонтно-реставрационных работ [5].

## ВЫВОД

Таким образом, анализ существующих проблем реконструкции исторической застройки показал, что вопросы сохранения и обновления исторической среды должны решаться комплексно. Чтобы

сохранить городскую среду необходимо не только бережно поддерживать, но и непрерывно обновлять ее, использовать эффективную систему комплексного управления состоянием здания памятника архитектуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеина С.Г., Бабенко Л.Л., Шумеев П.А. Разработка информационно-аналитического сопровождения системы градоэкологического обеспечения сохранения исторической застройки при реконструкции городских территорий. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», №5, (2013).
2. Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации".
3. Постановление Правительства РФ от 5 июля 2001 г. N 504 "Об общероссийском мониторинге состояния и использования памятников истории и культуры, предметов Музейного фонда Российской Федерации, документов библиотечных фондов, Архивного фонда Российской Федерации, а также кинофонда".
4. Шеина С.Г., Упенников Д.К. Современные технологии, приборы и оборудования для трехмерного моделирования памятников архитектурного наследия. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», Том 7, №3, (2015)
5. Свод реставрационных правил. «Рекомендации по проведению научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации». СРП -2007.

Sheina S. G., Gorskaya A. L.

## AN ORDER OF DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND PROJECT DOCUMENTATION AIMED AT PRESERVATION OF ARCHITECTURAL LANDMARKS.

**Annotation.** Nowadays, the problem of maintaining and preservation of historical town's appearance is under attention. To preserve the importance of an architectural landmark and all its functions, it's essential to have a more completed and effective system targeted at comprehensive management of its condition. Having analyzed the current situation, an order of development of scientific and project documentation for all complex of work aimed at preservation of architectural landmarks was suggested by the authors.

**Key words:** historical territory, listed buildings, technical condition of the building, a comprehensive study

## ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ МЕТОДАМИ ГИС

Бакулина М. В.

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

**Аннотация.** В стратегии социально-экономического развития рассматривается несколько вариантов развития различных территорий Крыма. В статье предложена методика функционально-стоимостного анализа, реализующая два фактора оценки альтернативных решений – стоимость и риск.

**Ключевые слова:** многоуровневость управления; экспертная система; моделирование территорий; вариант развития; стоимость; риск.

### ВВЕДЕНИЕ

Последние годы во всем мире активно развивается новый подход к обеспечению роста экономического развития территорий с учетом безопасности для окружающей среды и проживающего населения [1, с. 1-2]. Этот подход основан на комплексной оценке альтернатив хозяйственного развития и оптимизации защитных и природоохранных мер на основе управления рисками. Для расчета численных значений показателей альтернатив экономического развития и рисков необходимо на каждой рассматриваемой территории постоянно проводить мониторинг состояния окружающей среды и прогнозировать развитие возможных опасных явлений.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

В настоящее время в РФ ведется целенаправленная работа по формированию регионального информационного пространства для автоматизированного руководства экономически эффективным и безопасным развитием территорий [2, с. 210]. Основой для решения данной проблемы является внедрение современных компьютерных и телекоммуникационных средств и новых информационных технологий.

В связи с интенсивным развитием экономики полуострова под воздействием техногенной нагрузки регионы Республики Крым испытывают неблагоприятные экологические воздействия, что интенсифицирует уже происходящие негативные процессы связанные с загрязнением атмосферы, почвогрунтов и подземных вод, подтоплением территорий, засолением земель, образованием солончаков, просадок, оседанием поверхности земли, образованием оползней, абразией, эрозией и других явлений, которые с возможными землетрясениями, авариями на химических и гидротехнических опасных объектах увеличивают угрозу жизнедеятельности и снижают эффективность и значимость селитебных и рекреационных зон Крыма. Поэтому создание в

Республике Крым автоматизированной системы подготовки комплексных решений по эффективному и безопасному хозяйственному развитию отдельных административных территорий становится актуальным и необходимым условием регионального развития.

К сожалению, проводимые до настоящего времени исследования и разработки по данной проблематике направлены в основном на решение частных задач, не связанных в рамках единой системной методологии [3, с. 118]. Это приводит к распылу ограниченных научных сил и материальных ресурсов, дублированию и несогласованности получаемых результатов исследований, недостаточной практической отдачи от них. Как следствие, уровень регионального управления не удовлетворяет современным требованиям относительно комплексного анализа, прогнозирования и оценки рисков при выработке управленческих решений.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Комплексное оценивание рисков хозяйственной деятельности с учетом негативных факторов, воздействующих на жизнедеятельность, возможно с применением экспертных систем обеспечения поддержки управляющих решений [4, с. 63]. Внедрение экспертных систем в управляющие органы Республики Крым, в первую очередь необходимо при решении задач, касающихся анализа альтернатив развития отдельных территорий, а также строительства на них объектов, отнесенных к определенной категории риска или классу опасности [5, с. 6]. Многообразие видов хозяйственной деятельности и масштабность негативных последствий приводит к тому, что рассматриваемая экспертная система управления Республики Крым должна создаваться на объектовом, местном и региональном уровнях.

Будем считать, что  $\alpha$  - подсистема управления микроуровнем, на территории которого

проявляются ситуации локального характера (предприятия, объекты экономики, городские микрорегионы);  $\mu$  - подсистема управления минирегионом, где проявляются ситуации местного уровня (городские районы, города);  $\beta$  - подсистема управления регионом, т.е. ситуациями республиканского уровня. Такая структура построения экспертной системы позволяет:

выдавать сведения в высшую подсистему управления о состоянии подведомственных подсистем;

взаимодействовать с подсистемами управления одного с нею уровня непосредственно, а также через высшую подсистему;

прогнозировать поведение подведомственных подсистем;

выдавать сведения в подведомственные подсистемы управления о состоянии внешних источников опасности;

вырабатывать управляющие действия для подведомственных подсистем для достижения общего целевого состояния всей системы.

Формальная структура экспертной системы на каждом уровне управления может быть представлена схемой вида (рис. 1)

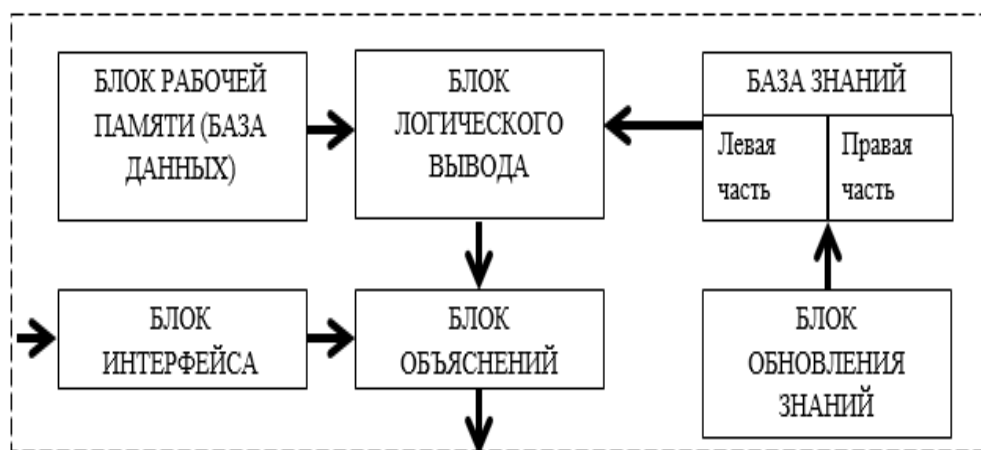


Рис.1 Формальная структура экспертной системы.

Как видно из рис.1, основными элементами экспертной системы для выработки управляющих решений по эффективному и безопасному хозяйственному развитию территорий являются:

1. Блок рабочей памяти - содержит текущие сведения о состоянии рассматриваемой территории (объекте). В последние годы активно развивается метод оценки объектовой и территориальной обстановки с использованием картографического изображения и автоматизированной передачи его с помощью ИТ-технологий в соответствующие уровни подсистемы управления.

2. База знаний - является моделью рассматриваемой территории и содержит факты и закономерности, отражающие формальные и неформальные знания о ней, представленные в виде системы продукции. При этом продукция рассматривается как некоторое правило, состоящее из двух частей левой (антецедент) и правой (консеквент). Для записи правил обычно берется формат следующего вида: «если» (перечень условий), «то» (перечень заключений). Каждое правило рассматривает определенную альтернативу развития территории (капитальное строительство, земледелие, лесозащитную, рекреацию и др.). Такое модельное построение базы знаний, в виде совокупности отдельных правил, позволяет относительно легко добавлять, исключать и изменять некоторые процессы происходящие на рассматриваемой территории. Несомненным достоинством таких правил является

наглядность, простота представления и передачи в территориальные подсистемы Крыма полученных управляющих решений с помощью ГИС в картографическом виде.

3. Блок логического вывода - включает программу, которая осуществляет поиск решений, используя для этого базу знаний и базу данных. Итогом данных исследований являются карты (атласы), в которых дается оценка территорий по степени хозяйственной значимости для перспективного освоения территорий и рисков альтернативных решений.

4. Блок объяснений - разъясняет пользователю различные аспекты работы экспертной системы.

5. Блок интерфейса - обеспечивает естественный для пользователя способ взаимодействия с экспертной системой.

6. Блок обновления знаний позволяет изменять, дополнять несовершенные модели знаний рассматриваемых территорий, вводить новые модели и данные.

Как видно из представленной на рис. 1 структуры экспертной системы, принцип её работы заключается в выборе управляющего решения в зависимости от состояния текущей обстановки, определяемой фоновой информацией. Для систем продукционного типа имеются две основные схемы выбора управляющего решения: прямой вывод и обратный. Схема прямого вывода заключается в том, что левые части правил(антецеденты) сопоставляются с содержанием

базы данных для определения применимых продукций (моделей альтернатив). Если левая часть правила (условие) оценивается как истина, то исполняется его правая часть, что приводит к наполнению базы данных, и процедура повторяется. Процесс заканчивается, если выполняется продукция прекращающая поиск или в базу данных поступает утверждение, являющееся решением. По схеме обратного вывода в базе данных проверяются правые части продукции с целью обнаружения в них искомого утверждения (решения). Если такие правила существуют, то проводится проверка, удовлетворяется ли левая часть правила в базе данных. В случае совпадения гипотеза считается подтвержденной, иначе отвергнутой.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ.

Решение поставленных задач, связанных с выбором эффективных и безопасных путей промышленного развития Республики Крым, с использованием территориальных экспертных подсистем ( $\alpha$ ,  $\mu$ ,  $\beta$ ), достигается при комплексном подходе, позволяющем путем целенаправленного перебора возможных альтернативных вариантов хозяйственного развития установить оптимальный. Отыскивая оптимальный вариант развития конкретной территории, приходится решать целый ряд подготовительных задач, связанных с детальной оценкой физико-географических, ландшафтных, инженерно-геологических и прочих условий, для чего используются карты землепользования, почвенные карты, карты инженерно-геологического районирования, карты риска, климатические и др. Как правило, собранные пространственные данные находятся в разных форматах и поэтому пространственное моделирование территории при использовании экспертных систем целесообразно проводить средствами растрового анализа. Подготовка информационной базы растровой модели развития территорий на основе имеющейся базы данных проводится в три этапа: сбор и систематизация пространственных данных путем моделирования процессов воздействия на окружающую среду и население с помощью функций Zonal Statik, входящих в состав модуля Spatial Analyst Arc View 8.3; приведение данных к растровому формату; реклассификация растровых покрытий для приведения к единой шкале категорий.

Первый этап является обязательным элементом любого ГИС проекта и должен отвечать ряду требований. Для обеспечения информацией экспертных систем  $\alpha$ -го уровня требуются данные отличающиеся повышенной точностью и увязкой с конкретными условиями местности: мезорельефом, характером почв и грунтов, степенью облесённости, преобладающим направлением потоков воздушных масс, перепадами температур, ареалами загрязнений и т.д. Таким образом, создание базы данных экспертных систем на микроуровне предполагает проведение мониторинга с использованием данных полевых и лабораторных исследований для получения обширной базы данных как о состоянии природных компонентов рассматриваемых территорий, так и характеристик имеющихся и строящихся хозяйственных объектов.

Масштаб картографического представления на данном уровне не должен превышать 1:2000 – 1:500. Для подсистем управления минирегионом и регионом достаточно, как правило, фоновой информации традиционного мониторинга. Масштаб карт минирегиональной подсистемы может находиться в пределах 1:25000 – 1:10000, региональной подсистемы в пределах 1:500000 – 1:200000.

На втором этапе подготовки информационной базы в ГИС применяются два основных способа приведения данных к растровому формату: интерполяция и конвертирование. При интерполяции процесс сводится к расчету значений растра. Путем интерполяции могут быть получены такие растровые покрытия как цифровая модель поверхности рельефа, дистанционные поверхности удаленности от транспортных коммуникаций, гидротехнических и энергетических сетей, населенных пунктов, объектов повышенной опасности и т.п. При конвертировании векторных данных в растр проводится пространственное наложение векторного покрытия на равномерную сетку-растр. При этом значения характеристик векторного покрытия автоматически присваиваются пикселям растра, пространственно совпадающим с соответствующим векторным объектом территории.

Третьим этапом подготовки информационной базы является реклассификация, целью которой является приведение всех растровых покрытий к единой шкале категорий. Для этого предметные характеристики моделируемой территории, которые определяют различные состояния её компонентов, должны быть тесно связаны со способом представления знаний. Это достигается за счет единой унифицированной системы показателей, документов, наименований и структур данных, языка описаний и манипулирования данными. Существующее административно-территориальное деление территорий представляет составную иерархическую структуру, поэтому возможен природный переход и разложение принятых картографических изображений:

$$S\mu = US\alpha; S\beta = US\mu$$

В этой связи в качестве одного из перспективных направлений оптимизации развития территорий Республики Крым, в рамках экспертной системы, выбран метод функционально-стоимостного анализа реализуемый по двум направлениям: комплексная ценовая оценка возможных альтернатив хозяйственного развития отдельных территорий с последующим соотношением их между собой; риско-ориентированный подход к оценке альтернатив с использованием коэффициентов тяжести воздействия на население и окружающую среду. В основу стоимостного подхода кладутся выраженные в денежной форме возможные удорожания строительства, вызванные теми или иными природными, техногенными или экономическими факторами. Это может быть в строительстве – стоимость освоения и застройки территории в зонах сейсмической, геологической, химической и других опасностей. Критерием частной ценовой оценки служит соотношенные с базовой стоимостью строительства удорожания по совокупности негативных

природных, социально-экономических и экологических факторов. Путем последовательного наложения частных схем составляется сводная карта комплексной оценки территории, где показана дифференциация рассматриваемых участков по степени их функциональной пригодности, экономической эффективности и безопасности. В самом общем виде полную строительную оценку территории  $S$  можно определить, пользуясь зависимостью вида:

$$C = \hat{C} + R_{x_s}$$

Экономическую оценку альтернативы выбранного варианта развития территории  $\hat{C}$  можно представить в виде:

$$\hat{C} = C_k \times Q$$

где кадастровая стоимость выделенного участка территории до начала нового вида деятельности (рубл.);

$Q$  – суммарный коэффициент социально-экологической эффективности принятого варианта хозяйственного развития, который определяется зависимостью вида:

$$Q = \sum \gamma_i \times X_i;$$

где:  $\gamma_i$  – коэффициент значимости выбранного вида эксплуатации территории (капитальное строительство, земледелие, лесозаготовка, рекреация и т.д.);

$X_i$  – балльная оценка  $i$ -ой расчетной системы (педосистема, литосистема, фитосистема, климатосистема, социосистема).

Общий риск в виде материально - финансовых затрат от реализуемого варианта развития хозяйственного комплекса на территории  $S$  определяемый по формуле:

$$R_{x_s} = P_s(W_j) \times V_{sf}(W_j) \times V_{sx}(W_j) \times C$$

где:

$P_s(W_j)$  – вероятность проявления на территории  $S$  негативных воздействий  $W_j$  (случаев/год);

$V_{sf}(W_j)$  – физическая поражаемость территории  $S$  от негативных воздействий  $W_j$ , определяемая соотношением площади поражаемой части территории  $S_f$  к её общей площади (доли един.);

$V_{sx}(W_j)$  – экономическая поражаемость территории  $S$  от негативных воздействий  $W_j$ , определяемая соотношением ущерба наносимого территории  $S_x$  от

выбранного варианта хозяйственной деятельности к его полной стоимости  $C$  (доли един.).

## ВЫВОДЫ.

Практическое использование представленного подхода, основанного на применении математических моделей, экспертных компьютерных и телекоммуникационных технологий позволит на уровне целостной оценки спрогнозировать и выбрать оптимальный с точки зрения затрат и безопасности вариант развития каждого рассматриваемого региона Республики Крым.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление правительства РФ от 17 августа 2016 г. №806 «О применении риско-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ.

2. Стоянов В.У., Бакулина М.В., Стоянов В.В. Оценивание риска безопасности проживания на территориях северной части Крыма при воздействии комплекса опасных природных явлений и техногенных аварий. – Севастополь: СМУЭЭИП, 2013. – Вып.4(49) С.208 – 219.

3. Стоянов В.У., Пухлий В.А., Сагайдак М.Д., Померанская А.К. Оценка устойчивости плотины Чернореченского водохранилища к воздействию опасных факторов природного, техногенного и террористического характера. / Материалы международной конференции Российской научной школы и форума (Иноватика – 2014). – С. 116 – 119.

4. Трухачев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. - М.: Наука, 1981. – 258с.

5. Панченко И.В., Смоляга В.Н. Комплексная оценка территорий при размещении строительства. - Киев.: «Строитель», 1991. - 144с.

6. Временная методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. - М.: Экономика, 1986.

Bakulina M. V.

## OPPORTUNITIES FOR ESTIMATION OF ALTERNATIVE SOLUTIONS ON DEVELOPMENT OF THE TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA BY GIS METHODS

**Annotation.** The Strategy for Social and Economic Development considers several options for the development of various territories of the Crimea. The article proposes a methodology of functional and cost analysis that realizes two factors for evaluating alternative solutions-cost and risk.

**Key words:** multilevel management; expert system; modeling of territories; variant of development; cost; risk.

## СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАРКАСНО-СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ КВАРЦЕВЫХ ГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ

Федоркин С.И., Макарова Е.С., Елькина И.И.

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

**Аннотация.** В статье предложена технология получения стеновых материалов наполненной каркасно-сотовой структуры на основе мелкозернистых кварцевых глинистых песков способом их гранулирования, накатки на гранулы слоя цемента и прессования изделий. Предложен механизм образования двухслойных гранул, зависимость их выхода и размера от влажности песка в грануляторе. Определены физико-механические свойства образцов в зависимости от толщины каркаса и разработана технологическая схема производства стеновых материалов.

**Ключевые слова:** стеновые материалы, кварцевый глинистый песок, цемент, гранулирование, двухслойные гранулы, физико-механические свойства, технологическая схема.

### ВВЕДЕНИЕ

При современном уровне и масштабах потребления природных сырьевых материалов значение фактора полноты использования и вовлечения в общественное производство вторичных материальных ресурсов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых технологий.

Увеличение объемов производства искусственных стеновых строительных материалов в Республике Крым может быть достигнуто путем использования их при изготовлении промышленных отходов и некондиционных песков, не отвечающих требованиям стандартов.

Зачастую для использования такого местного сырья необходима разработка новых эффективных технологий или усовершенствование существующих способов производства стеновых материалов.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

Научные школы Ю.М. Баженова, П.П. Будникова, В.Т. Ерофеева, П.Г. Комохова, Л.Б. Сватовской, Т.М. Петровой, В.И. Соломатова и других ученых выполнили обширные исследования в области использования отходов в производстве строительных материалов.

В Республике Крым практически отсутствуют кварцевые пески, пригодные для производства качественных бетонных стеновых материалов [1]. Наиболее качественные пески морского побережья Крыма и акватории Черного моря нельзя разрабатывать из-за возможности развития оползневых явлений и ликвидации пляжей.

Аллювиальные, пролювиально-делювиальные пески, развитые в центральной части Крымского полуострова, сильно глинистые и требуют обогащения. Пески, связанные с неогеновыми и меловыми отложениями, мелко- и тонкозернистые,

сильно глинистые и для получения изделий на основе цемента не пригодны [2].

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей статье изложены результаты исследований, целью которых являлась разработка технологии изготовления стеновых материалов каркасно-сотовой структуры на основе мелкозернистых кварцевых глинистых песков и портландцемента.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

В настоящей статье приведены результаты исследований по получению стеновых материалов на основе цемента и некондиционного мелкозернистого кварцевого песка с большим содержанием глины (до 23%) месторождения Цветочное, расположенного в пос. Крымская Роза в 25 км от Симферополя.

Полезным ископаемым является пески готеривского яруса нижнего мела (мазанская свита), перекрытые делювиальными суглинками и почвенным слоем. Пески кварцевые, сильно глинистые, уплотненные, слоистые, с линзами и прослойками галечников, гравия, песчаников и глин. По литологическому составу толща песков разделяется на три слоя. Пески верхнего слоя мелкозернистые, глинистые средней мощности 3,5 м; средний слой представлен мелкозернистым глинистым песком с небольшим количеством гравийно-галечного материала средней мощностью 10,3 м; нижний слой сложен мелкозернистым песком с редкими линзами глин и имеет мощность 12,5 м.

Минералогический состав песка представлен кварцем (90-95%), песчаником (5-10%), халцедоном и полевым шпатом (от единичных зерен до 5%).

Гранулометрический состав песков приведен в табл.1.

Таблица 1  
Гранулометрический состав песков

№ п/п	Показатели	Верхний слой	Средний слой	Нижний слой
1	Содержание гравия, %:			
	- размер >10 мм	5,7	2,5	3,2
	- размер >5 мм	3,1	1,8	4,7
2	Содержание зерен 0,14-5 мм, %	47,5	78,5	85,8
3	Содержание зерен < 0,14 мм, %	52,5	21,5	14,2
4	Модуль крупности	0,95	1,47	1,82
5	Содержание глины, %	22,6	12,9	8,5
6	Содержание органических примесей, %	нет	нет	нет

Песок этого месторождения не соответствует требованиям стандартов (ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия») является некондиционным и не может быть использован для бетона и строительных растворов.

Разведанные запасы песков без учета прироста к югу, западу и востоку от действующего карьера составляют 1117, 2 тыс. м<sup>3</sup>. В настоящее время месторождение разрабатывается селективно и песок

используется главным образом для штукатурных и кладочных растворов.

Авторами усовершенствована технология получения стеновых материалов каркасно-сотовой структуры [3,4]. Суть этой технологии (рис. 1) заключается в получении гранул из мелкозернистых кварцевых песков с большим содержанием глины методом гранулирования, нанесения на полученные гранулы тонкого слоя портландцемента, полусухого прессования и твердения изделий.

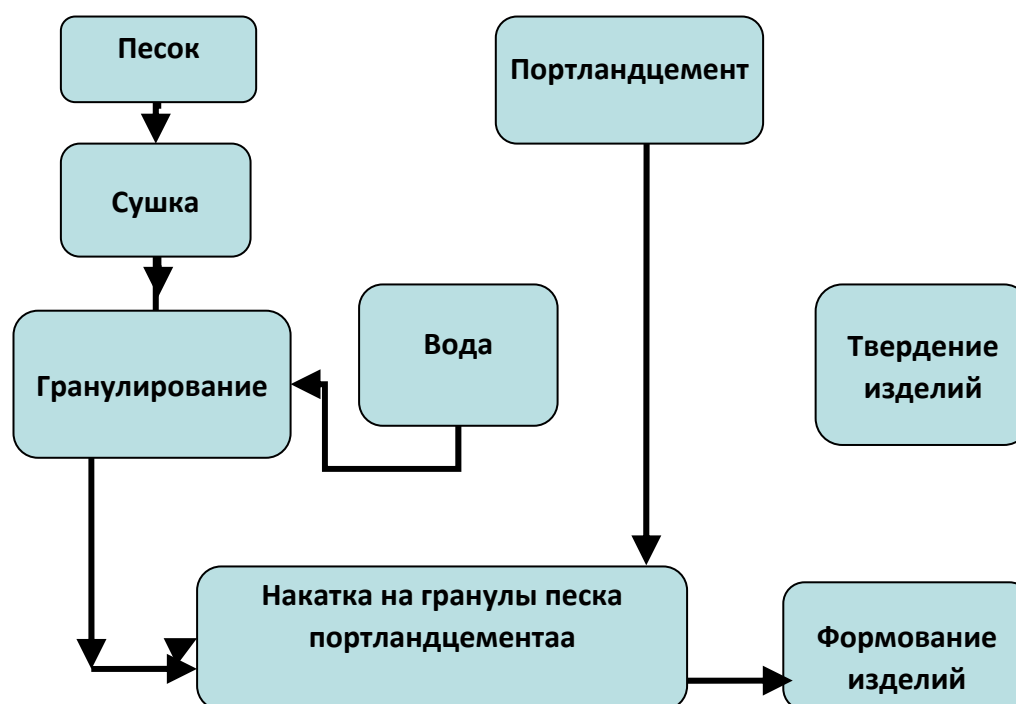


Рис. 1. Технология производства стеновых материалов каркасно-сотовой структуры

Для отработки технологии в лабораторных условиях помимо песка использовали портландцемент Бахчисарайского цементного завода Цем 1 42,5Н по ГОСТ 31108-2003. Из

двуслойных гранул, полученных на лабораторных тарельчатых грануляторах, прессовали образцы-цилиндры размером 5x5 см при удельном давлении прессования 20МПа. Определение физико-

механических характеристик образцов выполняли в возрасте 28 суток по стандартным методикам. Внутренняя структура образцов (рис.2) представляет собой прочный цементный каркас, который образует замкнутые ячейки-соты,

заполненные песком. Механическую нагрузку при прочностных испытаниях образцов воспринимает затвердевший цементный каркас. Этот каркас, в основном, определяет механическую прочность образцов.

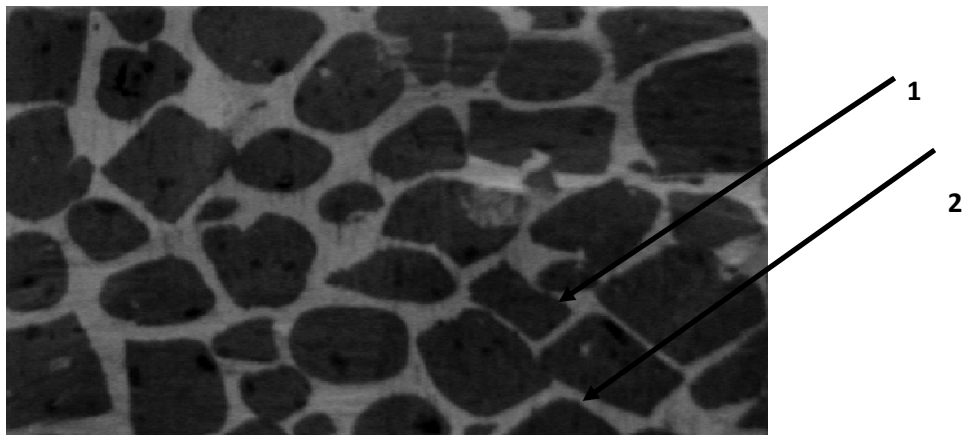


Рис. 2. Внутренняя структура образцов каркасно-сотовой структуры (1 – цементный каркас; 2 – соты, заполненные песком)

Одной из основных технологических операций при изготовлении стеновых материалов каркасно-сотовой структуры является получение двухслойных гранул.

Основываясь на результатах экспериментальных данных, авторами предложен механизм образования двухслойных гранул. Его можно представить следующим образом. На первом этапе процесс образования гранул при увлажнении порошка песка осуществляется за счет капиллярных сил сцепления и сил поверхностного натяжения. Преобладающими на этом этапе являются процессы агломерации частиц и накатки песка на увлажненную поверхность гранул, образующуюся выдавливанием избыточной влаги при перемещении гранул в грануляторе.

Полученные гранулы песка для накатки на их поверхность слоя портландцемента направляют в другой гранулятор. На этапе перезагрузки гранул происходит выравнивание влажности гранул за счет диффузии влаги в теле гранулы от слоев с большей концентрацией влаги к слоям с меньшей концентрацией влаги. На третьем этапе накатки портландцемента на влажные гранулы из песка происходит дальнейшее выдавливание избыточной влаги на поверхность гранул. Влажная оболочка гранул песка обеспечивает дальнейший рост гранул за счет простого наслаивания частиц портландцемента на их поверхность.

Существующий опыт получения гранулированных продуктов свидетельствует о том,

что основными параметрами, определяющими качество гранул, являются их влагосодержание и длительность пребывания материала в грануляторе. Для гранулирования методом окатывания характерна очень узкая область оптимальных соотношений жидкой и твердой фаз. Влажность материала в грануляторе существенно влияет на выход товарной фракции [5].

Исследование зависимости выхода товарной фракции двухслойных гранул (диаметром 5-10 мм) от влажности песка в грануляторе (рис.3) показало, что по мере увлажнения песка выход товарной фракции гранул увеличивается.

Максимальный выход гранул (70-75%) фракции диаметром 5-10 мм соответствует оптимальной влажности материала 7-10%. При накатке на песчаные гранулы с этой влажностью слоя портландцемента толщиной 0,5-1,5 мм влажность гранул снизилась до 7-8% и стала соответствовать оптимальной формовочной влажности, необходимой для полусухого прессования материалов каркасно-сотовой структуры.

В таблице 2 приведены результаты определения физико-механических характеристик образцов в зависимости от толщины стенок каркаса. Толщину стенок каркаса регулировали путем варьирования в тарельчатом грануляторе времени накатки портландцемента на гранулы песка. Средний размер ячеек-сот для испытываемых образцов составлял 5-7 мм.

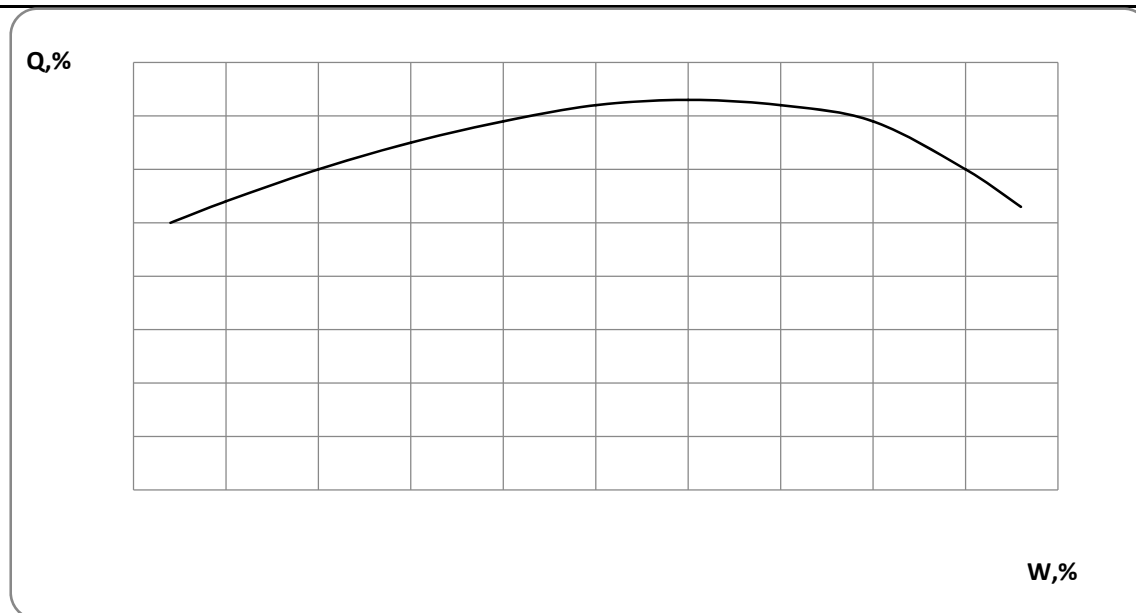


Рис. 2. Зависимость выхода гранул диаметром 5-10 мм (V) от влажности песка в грануляторе (W)

Испытания образцов, изготовленных в лабораторных условиях из свежесформованных двухслойных гранул, подтвердили возможность получения стеновых материалов каркасно-сотовой структуры с пределом прочности при сжатии 17-20 МПа.

Анализ полученных результатов показывает, что по предлагаемой технологии могут быть получены стеновые материалы, соответствующие, например, марке кирпича М150-М200 по ГОСТ 6133-99.

Таблица 2.

Физико-механические свойства образцов каркасно-сотовой структуры в зависимости от толщины стенок каркаса

Средняя толщина стенок каркаса, мм	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Морозостойкость, цикл
0,2	9,5	1340	20,5	<50
0,5	14,2	1375	18,3	<50
1,0	17,6	1405	17,4	50
1,5	20,0	1430	17,0	50
2,0	20,4	1456	15,6	50

## ВЫВОДЫ

1. Обоснована технология производства стеновых материалов каркасно-сотовой структуры на основе мелкозернистых кварцевых песков и портландцемента и показана возможность получения изделий с пределом прочности при сжатии 17-20 МПа.

2. Предложен механизм образования двухслойных гранул в грануляторах окатывания, используемых для изготовления стеновых материалов каркасно-сотовой структуры и определена оптимальная влажность песка в грануляторе (7-10%), соответствующая максимальному выходу (65-73%) гранул необходимой фракции (5-10мм).

3. Промышленное освоение разработанной технологии позволит получить стеновые материалы М150-М200 для строительства, реконструкции и восстановления зданий и сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Затон, К.Д. Минеральная сырьевая база строительных материалов Украины. Крымская область [текст] / Затон К.Д., Гурджи В.Л. – Киев: Издательство Мингеологии СССР, 1973. – 248 с.
2. Кафтаева, М.В. Мелкозернистые бетоны. Способы регулирования свойств [текст] / М.В. Кафтаева. – Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – 169 с.
3. Устьянов, В.Б. Ячеистозаполненная керамика [текст] / Устьянов В.Б., Иващенко В.В. // Стекло и керамика. 1985. №.5. С. 29-30.
4. Федоркин С.И. Способ производства декоративных изделий : пат. 2044642 RU, МПК 6 В28В11/06 Украина. 1995. Бюл. № 27. 3 с.

5. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. М.: Издательство Химия, 1991. 240 с.
6. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Влияние давления углекислого газа на кинетику

принудительной корбанаии известкового камня полусухого прессования и формирования его прочности.// Строительство и техногенная безопасность №3 (55). 2016.- С.28-38.

Fedorkin S. I., Makarova E. S., Elkina I.I.

## WALL MATERIALS OF THE FRAMEWORK-CELL STRUCTURE ON THE BASIS OF FINE-QUALITY QUARTER CLAYS

**Annotation.** The paper proposes a technology for producing wall materials withfilled frame-cellular structures based on fine-grained quartz clay sands by granulation, rolling a cement layer onto the pellets, and presswork. A mechanism for forming two-layer pellets is proposed that provides adjustment of the pellet size and yield by changing the sand moisture level in the granulator. The physical and mechanical properties of samples have been determined as function of the frame thickness and the flow chart for producing wall materials has been designed.

**Key words:** wall materials, quartz clay sand, cement, granulation, two-layer pellets, physical and mechanical properties, flow chart.



## О НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Цопа Н.В.

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

**Аннотация.** В статье обоснована необходимость применения риск-ориентированных методов с целью обеспечить устойчивость инвестиционно-строительного проекта. Рассмотрены теоретические основы применения риск-ориентированного метода в рамках концепции project management. Сделана классификация факторов, влияющих на появление внешних и внутренних рисков проекта. Обобщены основные методы оценки риска при реализации ИСП. Обосновано использование эффективных способов снижения уровня рисков ИСП. Устойчивость ИСП рассмотрена с позиции теории устойчивости организационных систем. Определены показатели, которые характеризуют степень устойчивости проекта.

**Ключевые слова:** риск, риск-ориентированный метод, факторы риска, устойчивость, инвестиционно-строительный проект.

### ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение устойчивости инвестиционно-строительного проекта связано с применением риск-ориентированных методов в ходе проектного управления. Сама методология проектного управления, базирующаяся на базе концепции project management, позволяет достигать цели и задачи инвестиционно-строительного проекта качественно и в срок, с учетом выполнения производственной программы строительного предприятия. В данной связи, разработка и реализация современного инвестиционно-строительного проекта должна осуществляться с учетом требований, предъявляемых методологией проектного управления. При этом необходимо обеспечение устойчивости инвестиционно-строительного проекта, что позволит увеличить степень его управляемости.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Под инвестиционно-строительным проектом (ИСП) в данной работе будем понимать систему сформулированных целей для реализации объекта строительства, совокупность технологической и организационной документации, технологических процессов, необходимых материальных, финансовых, трудовых ресурсов, управленческих решений и мероприятий по их выполнению [1].

Реализация риск-ориентированного подхода при проектном управлении позволяет избежать влияния недетерминированных элементов внешнего и внутреннего окружения инвестиционно-строительного проекта. Само понятие «риск» имеет множество определений [2]. Риск представляет собой возможность совершения события, которое может повлечь за собой три результата: отрицательный (убыток), нулевой, положительный (прибыль). В проектном анализе под риском понимают вероятность определенного уровня

потерь предприятием части своих ресурсов или недополучение прибыли, а также появление дополнительных расходов при реализации проекта. Риск понимают не только как возможность потерь, но и как отклонение от целей и ожидаемых результатов [2].

Проблема принятия решений в условиях риска и неопределенности существовала с третьего тысячелетия до нашей эры [3], однако ее наиболее активно ее аспекты начали обсуждаться после выхода в 1921 году в свет книги Фрэнка Найта [4]. Он высказал революционную для того времени идею, что получение прибыли, возможно, лишь благодаря присутствию факторов риска, а также выделил основные способы обращения с рисками: консолидация, разделение, принятие, передача, уклонение и снижение за счет получения дополнительной информации. К числу основателей теории выбора в условиях риска и неопределенности причисляют имена Кеннета Эрроу, Милтона Фридмана, Джона Пратта, Майкла Ротшильда, Джека Хиршлейфера, Джозефа Стиглица и других известных ученых. В своих работах они объясняли поведение человека, принимающего рациональные решения в условиях неполной информации.

Акцент прикладных исследований в 50-70х годах был сконцентрирован на финансовых рисках [5]. Работы Гарри Марковица, Вильяма Шарпа, Роберта Мертонна, Фрэнка Модильяни, Джона Линтнера заложили фундамент, на котором построена современная теория управления финансовыми рисками. Теории портфелей, структуры капитала, стоимости компаний надолго предопределили направления исследований в области анализа рисков. Многие идеи были реализованы на практике лишь несколько десятилетий спустя, с появлением достаточно мощной вычислительной техники и надежного коммуникационного оборудования.

Проблемы исследования риск-ориентированного подхода получили новый толчок после отмены

Бретонн-Вудских соглашений. В это время происходило дальнейшее становление и формирование теории и инструментария финансовых рисков [6]. В первой половине 80-х годов бурное развитие вычислительной техники привело к ревизии рабочих концепций и методов расчетов в области принятия решений в условиях риска. Применялись все более изощренные модели учета рисков, разрабатывались методы, основанные на технологиях искусственного интеллекта. В это же время нарастало понимание необходимости интегрального подхода при рассмотрении феномена риска.

Десятилетие принесло понимание необходимости интегрального подхода при рассмотрении феномена риска. Идеи системного анализа, междисциплинарные исследования, обогатили практику управления рисками методами, пришедшими из таких областей как психология, программирование, медицина, охрана окружающей среды, инжиниринг, одним словом, из всех областей человеческой деятельности, где возникла необходимость решать сложные проблемы, связанные не только с традиционными экономическими интересами, но также техническими, экологическими, социальными, политическими. Возросшая взаимосвязь и взаимозависимость, непрерывно ускоряющийся темп жизни, усложняющееся организационное окружение, порождающее многообразные виды рисков, привело к изменению парадигм управления. Эффективное и результативное управление потребовало использования адаптивных комплексных подходов, базирующихся на системной философии и методологии.

Активные академические дискуссии, имевшие место в первой половине 80-х и вспыхнувшие с новой силой в начале 90-х, а также настоятельная потребность коммерческих и правительственных организаций, привели к систематизации знаний о выборе в условиях риска и разработке процедур управления риском. Наиболее известными работами в этой области считаются национальные стандарты Австралии и Новой Зеландии (AS/NZS 4360:1995 и его вторая редакция - AS/NZS 4360:1999); национальный стандарт Канады CAN/CSA-Q850-97; требования нормативных документов Агентства Охраны Окружающей Среды США (EPA 40CFR68). Многие крупные консалтинговые компании также разработали различные модели для управления риском в своих областях приложений, ставшие своего рода стандартами для различных ассоциаций профессионалов в учете, аудите, финансах, страховании, управлении проектами.

Следует отметить, что в вопросе управления рисками нет единых универсальных решений. Каждая организация обладает определенной направленностью деятельности и имеет специфически уникальное окружение, поэтому, конкретные шаги по управлению рисками могут быть довольно разнообразными и должны выбираться индивидуально. Однако, практика,

выработанная ведущими мировыми державами, позволяет говорить о некоторой общности подходов к вопросам управления рисками.

Расширение влияния риска на различные сферы человеческой деятельности нашло свое отражение и в деятельности инвестиционно-строительного комплекса. Реализация инвестиционного проекта в строительной сфере сопряжена с вероятностью потери инвестируемых средств, что в конечном итоге отразится на качестве функционирования или устойчивости всего проекта.

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью настоящего исследования является обоснование необходимости применения риск-ориентированных методов для обеспечения устойчивости инвестиционно-строительного проекта. В рамках поставленной цели в работе решены следующие задачи: выявлены и классифицированы факторы риска в инвестиционно-строительной деятельности; рассмотрены методы оценки рисков строительных проектов; для обеспечения устойчивости инвестиционно-строительного проекта обоснована необходимость применения специальных методов управления рисками.

## **ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ**

Риск-ориентированный подход к обеспечению устойчивости инвестиционно-строительного проекта, в первую очередь, подразумевает классификацию и выявление факторов риска. Эффективность организации управления риском в процессе реализации проектов во многом определяется его классификацией. Под классификацией риска следует понимать распределение риска на конкретные группы по определенным признакам для достижения поставленных целей. Существует множество различных систем классификации проектных рисков – в зависимости от выбора критерия. Они рассмотрены в работах по проектному анализу [7,8], подробно рассмотрены финансовые риски в работах [2, 5]. При этом авторы отмечают, что способ классификации отвечает потребностям того, кто её производит, и обладает той или иной спецификой в зависимости от области её применения. Также отмечается, что виды рисков определяются фазами реализации проекта и предметом анализа, и, соответственно, методы управления рисками будут зависеть от этапа ЖЦ проекта. В таблице 1 приведена классификация рисков, наиболее часто используемая на практике [9, 10]. Для ИСП такая классификация является наиболее подходящей, т.к. в ней сделана попытка учесть основные факторы риска, а также дать им характеристику. Приведенные в таблице факторы, условно разделены на внешние и внутренние. Однако «чисто внешними факторами» их назвать нельзя, т.к.

внутренние причины предприятий инвестиционно-строительного комплекса могут обуславливать появление внешних рисков.

Таблица 1  
Классификация факторов риска ИСП

Тип фактора риска	Характеристика
Внешние факторы риска	факторы, обусловленные причинами, не связанными непосредственно с реализацией ИСП, зависящие от экономического и политического состояния страны. Это вероятность жестких правительственных мер, которые могут вызвать изменения финансово-экономического состояния инвестора, налоговой политики, развития неконтролируемых инфляционных процессов. На момент формирования плана ИСП необходимо оценить воздействие внешних факторов с помощью экспертных оценок, методов количественного прогнозирования и моделирования
Факторы научно-технического риска	факторы, которые могут возникать при приобретении патентов, лицензий, новой техники и технологий, необходимых для реализации ИСП
Факторы природно-климатического риска	факторы, обусловленные влиянием природных и климатических изменений на реализацию ИСП, проявляются в технологических сложностях при осуществлении проекта
Факторы внешнеэкономического риска	факторы, которые могут возникнуть в процессе взаимодействия с зарубежными партнерами-поставщиками строительных материалов и оборудования, а также вследствие внутренних причин партнеров: изменение затрат на производство, остановка производства и т.п.
Внутренние факторы риска	факторы, проявление которых порождается деятельностью самих субъектов, участвующих в реализации проекта, т.е. риски, связанные непосредственно с предприятиями инвестиционно-строительного комплекса
Факторы риска основной производственной деятельности	факторы, связанные с недостаточным уровнем технологической дисциплины, простоями, авариями другими обстоятельствами, которые могут возникать при выполнении проектно-изыскательных, строительно-монтажных работ, эксплуатационных и других работ
Факторы риска вспомогательной производственной деятельности	факторы, вызванные перебоями энергоснабжения, удлинением, по сравнению с плановыми, сроков выполнения работ, аварии вспомогательных систем (вентиляционных устройств, систем водо- и теплоснабжения и т.п.) и др.
Факторы риска обслуживающей производственной деятельности	факторы, которые могут возникать при сбоях в работе служб, обеспечивающих бесперебойное функционирование основного и вспомогательного производства
Факторы кадрового риска	риски, связанные с ошибками, возникающими при управлении человеческими ресурсами. К ним можно отнести: неверную оценку необходимого периода подготовки и переподготовки кадров, отток квалифицированной рабочей силы вследствие локальных этнополитических конфликтов, природных катаклизмов, появление предприятий с более выгодными условиями оплаты труда в регионе и т.п.
Факторы риска сферы обращения	факторы, которые связаны с нарушением предприятиями-смежниками согласованных графиков поставок материалов, сырья, комплектующих и т.п., с банкротством или самоликвидацией предприятий-контрагентов или деловых партнеров
Факторы информационного риска	факторы, которые появляются при неправильной организации информационных потоков у предприятия, реализующего ИСП

В анализе рисков после этапа их выявления проводится количественная оценка их влияния. Причем риски характеризуются двумя параметрами – величиной возможного ущерба и вероятностью реализации риска [2, 11]. Наиболее вероятный убыток (максимально возможный риск) определяется как наибольшие финансовые потери, которые могут случиться при возникновении совокупности факторов риска.

Для  $i$ -го риска размер случайного убытка  $x_i$  изменяется в пределах неравенства (1):

$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad (1)$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – соответственно минимальный и максимальный возможный убыток по  $i$ -му риску.

Размер общего (суммарного) случайного убытка изменяется в пределах неравенства (2):

$$\sum_{i=1}^n a_i \leq X \leq \sum_{i=1}^n b_i = B \quad (2)$$

где  $n$  – число оцениваемых рисков (факторов риска)

Ожидаемый убыток от реализации некоторого неблагоприятного события определяется по формуле (3):

$$X_{ож} = EX = \sum_{i=1}^n Ex_i \quad (3)$$

где  $EX$  – математическое ожидание общего ущерба, а  $Ex_i$  – математическое ожидание по  $i$ -му фактору риска.

Между ожидаемым суммарным ущербом и максимально возможным ущербом  $B$  соблюдается соотношение (4):

$$Y_{ож} = EY \leq B = \sum_{i=1}^n b_i \quad (4)$$

Наиболее вероятный убыток  $Y_{н.в.}$  может быть определен на основе плотности распределения (5):

$$\max_Y f(Y) = f(Y_{н.в.}) \quad (5)$$

Плотность распределения  $f(Y)$  случайной величины  $Y$  определяется стандартным образом по совместной плотности распределения  $f(y_1, \dots, y_n)$  случайных убытков  $x_1, \dots, x_n$ .

Непосредственное использование наиболее вероятного убытка  $Y_{н.в.}$  для оценки суммарного убытка  $Y$  затруднено тем фактом, что хотя убыток  $Y_{н.в.}$  и является «наиболее вероятным» в указанном выше смысле, сама эта «наибольшая вероятность» может быть крайне мала, т.е. возможность наблюдения реального значения убытка в малом диапазоне

$[Y_{н.в.} - \varepsilon, Y_{н.в.} + \varepsilon]$ ,  $0 < \varepsilon \leq 1$  может иметь пренебрежительно малую вероятность.

Поэтому для оценки вероятностей значений случайного убытка  $Y$  можно предложить использовать известный метод рискового капитала, определяемого соотношением (6):

$$P(\{Y_{н.в.} < VaR\}) = \gamma \quad (6)$$

где  $\gamma$  – фиксированная (достаточно большая вероятность) того, что случайный убыток не превысит значения  $VaR$ . Таким образом, через понятие рискового капитала  $VaR$  определяется правая граница диапазона  $[A, VaR]$  для наиболее вероятных значений случайного убытка  $Y$ , где  $A$  – минимальный возможный общий убыток. В данном случае наряду с наиболее вероятным убытком используется ещё и рисковая надбавка  $Y_p$ , определяемая исходя из того, какую вероятность

непревышения убытков над величиной  $Y$  выбрал специалист по управлению проектом.

Совокупность выделенных в табл. 1 факторов рисков ИСП требует применения различных методов их оценки. В работах [7, 12] подробно описаны наиболее часто применяемые для этого методы. В табл. 2 приведены методы оценки риска ИСП и их характеристики.

Применение того или иного метода оценки рисков ИСП зависит от наличия тех или иных данных. Условно можно выделить ситуации, когда в распоряжении аналитиков имеется накопленная статистика по возможным проявлениям факторов, и ситуация когда нет статистической информации. В зависимости от этого применяются и различные методики оценки частоты проявления риска и ущерба от его реализации, а также методы управления рисками.

К числу важнейших параметров рисков, определяющими выбор метода управления рисками, относятся частота реализации риска, т.е. частота наступления ущерба ( $P$ ) и размер возможного ущерба ( $X$ ), а также число (количество) рисков.

По частоте выделяют: высокие риски, средние и малые. По размеру возможного ущерба риски делятся на катастрофические, большие, средние и малые. По совместному значению частоты и размера ущерба различают риски однородные (имеют примерно равные значения частоты и размера ущерба) и неоднородные (различные значения частоты и размера ущерба). По совместному значению однородности и числу рисков различают массовые риски (однородны и их много) и единичные риски (однородны или неоднородны, но их мало).

На практике могут быть использованы различные способы снижения уровня рисков [13-15], основные из которых представлены в таблице 3. При выборе того или иного метода управления рисками следует руководствоваться концепцией приемлемого риска – риск, неприемлемый для фирмы, приемлемым стать не может. Если же риск приемлемый, то выбор метода управления риском оправдан, если затраты по нему меньше, чем эффект от использования этого метода.

Риск-ориентированное управление реализацией ИСП позволяет адекватно реагировать на факторы риска, используя бизнес-потенциал проекта, для осуществления эффективной деятельности по проекту. Способность ИСП сохранять свою эффективность, с учетом управления по возмущениям составляет сущность устойчивости проекта. Устойчивость проекта предполагает нахождение компромисса проектным менеджером между динамически и статическим развитием, т.е. динамической и статической устойчивостью ИСП.

Таблица 2  
Методы оценки риска ИСП

Методы	Характеристика
Статистические методы [13]	<p>Метод целесообразно применять при оценке рисков, которые часто повторяются и являются однородными, т.е. имеют одинаковый размер ущерба. При этом должны быть известны вероятности наступления определенных состояний среды и их последствия для ИСП. Данные методы широко применяются для оценки финансовых рисков реализации ИСП. На основе вероятности наступления рисков события, как входной величины, рассчитываются стандартные характеристики рисков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- математическое ожидание (средне ожидаемое значение) – средневзвешенное всех возможных результатов, где в качестве весов используются вероятности их достижения:</li> </ul> $E = \sum (res_j \cdot p_j),$ <p>где <math>res_j</math> - результат (событие или исход, например, величина дохода); <math>p_j</math> - вероятность получения результата <math>res_j</math>;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дисперсия – средневзвешенное суммы квадратов отклонений случайной величины от её математического ожидания, т.е. отклонение действительных результатов от ожидаемых – мера разброса:</li> </ul> $S^2 = D = \sum ((x_j - E)^2 \cdot p(x_j)).$ <p>Причем чем выше показатель дисперсии, тем выше уровень риска ИСП. Аналогично, квадратный корень из дисперсии - стандартное отклонение, также характеризуется и является абсолютной мерой рисков;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- коэффициент вариации – измеряет риск в относительном выражении: <math>c = S/E</math>;</li> <li>- коэффициент корреляции – показывает связь между переменными, состоящую в изменении средней величины одного из них в зависимости от изменения другого:</li> </ul> $R(x_1, x_2) = Cov(x_1, x_2) / s_{x_1} s_{x_2},$ $Cov(x_1, x_2) = E[(x_1 - Ex_1)(x_2 - Ex_2)].$ <p>Положительный коэффициент корреляции означает положительную связь между величинами, и, чем ближе к единице, тем сильнее эта связь. <math>R = 1</math> означает, что связь между переменными линейная.</p>
Методы экспертных оценок [14]	<p>Методы применяют на начальных этапах работы с ИСП, если объем исходной информации является недостаточным для количественной оценки эффективности и рисков проекта. Достоинствами экспертного анализа рисков являются: отсутствие необходимости в точных исходных данных и дорогостоящих программных средствах, возможность проводить оценку до расчета эффективности проекта, а также простота расчетов. К основным недостаткам следует отнести: трудность в привлечении независимых экспертов и субъективность оценок. Т.е. экспертный метод может применяться для оценки любых видов рисков, для оценки которых другими методами нет достаточной информации.</p> <p>При проведении экспертного оценивания каждым экспертом дается бальная оценка каждому <math>i</math> – фактору из предопределенного множества факторов риска. Оценка факторов осуществляется по бальной системе: высший балл присваивается наиболее вероятному фактору. В результате проведения экспертного оценивания получается матрица экспертных оценок факторов риска: <math>R = \  r_{ij} \ _{i=1..n; j=1..m}</math>.</p> <p>Уровень компетентности <math>i</math>-го эксперта определяется по формуле:</p> $a_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{jk}}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{jk}},$ <p>где <math>K_{jk}</math> – матрица оценок компетентности <math>i</math>-го эксперта <math>j</math>-м экспертом (<math>j=1..m; k=1..m</math>).</p> <p>Общая бальная оценка каждого фактора риска рассчитывается по формуле:</p> $r_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_j r_{ij}}{m}$ <p>Интегральная бальная оценка рисков определяется по формуле: <math>R = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}</math></p>

Методы	Характеристика
Метод анализа сценариев [14]	<p>Применяется для редких и уникальных событий, например, аварий, не имеющих репрезентативной статистики, использует теоретический анализ проектных процессов, имеющий целью выявить возможный ход развития событий и определить их последствия. Целью анализа сценариев является рассмотрение экстремальных результатов и вероятность распределения чистой текущей стоимости ИСП. Этот анализ обычно осуществляется по трем сценариям: ожидаемому, оптимистическому, пессимистическому.</p> <p>Наилучший, или оптимистический, сценарий отображает представление аналитика о том, насколько улучшаются условия реализации ИСП в том случае, когда все обстоятельства будут благоприятными, чем было запланировано. Наихудший, или пессимистический, сценарий показывает, насколько неудачным окажется ИСП, если условия его реализации будут намного хуже, чем было предвидено. Эти два дополнительных сценария должны быть внутренне последовательными. При выборе метода сценариев для оценки рискованности ИСП используют специальную последовательность. Строятся цепочки событий, связанных причинно-следственными связями, для каждой из которых определена соответствующая вероятность. В начале цепочки находится группа исходных событий - «причины», в конце - группа событий - «последствия». Для каждого сценария задается вероятность его наступления <math>P^i</math>. Затем по каждому сценарию задаются переменные <math>x_1, x_2, \dots, x_n</math>, неожиданное изменение которых может негативно повлиять на реализацию ИСП, а также их новое значение.</p> <p>Сценарный подход может быть реализован с помощью сетевых методов и методов имитационного моделирования. Применение имитационных методов позволяет учитывать любые распределения переменных и получать распределение результирующего показателя (например, чистой текущей стоимости).</p>

Проблема устойчивости и неустойчивости широко освещена в теории динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями. При этом понятие устойчивости определяется по-разному - по Лагранжу, Пуассону и Ляпунову, в зависимости от аспекта рассмотрения динамического поведения фазовой траектории или множества близлежащих траекторий [16, 17].

Согласно теории устойчивости систем по Ляпунову, система представляется некой непрерывной эволюционной структурой, развитие которой может быть в общем виде описано системой дифференциальных уравнений [18] (7):

$$\dot{x}_i(t) = f_i(t, x_1, \dots, x_n), i = \overline{1, n} \quad (7)$$

здесь  $x_i$  - искомые функции, зависящие от переменной  $t$ , которая в общем виде выражает все те параметры жизнедеятельности системы, от неё не зависящие.  $x_i$  представляет собой искомые параметры деятельности системы, этим показателем может быть прибыль, социальное положение работников, признание компании в обществе и многое другое, т.е.  $x_i$  - это векторный показатель, который может заключаться как в количественном, так и в качественном выражении. При этом известно начальное положение системы  $x_i(t_0) = x_{i0}, i = \overline{1, n}$

При исследовании устойчивости процессов управления решаются две задачи:

1. Заданы все параметры и, следовательно, известны коэффициенты характеристического уравнения. Требуется проанализировать устойчивость процесса управления при заданных значениях параметров.

2. Заданы не все параметры, а только некоторые из них. Требуется определить области значений неизвестных параметров, при которых управляемый процесс будет устойчивым [19].

В теории устойчивости Ляпунова исследуется на устойчивость какое-нибудь одно решение. Пусть  $z(t, t_0, z_0)$  - решение системы, причём оно существует на  $[t_0, \infty)$ . Тогда, при наличии ещё некоторых условий, решение  $z(t, t_0, z_0)$  называется устойчивым, если для любого  $\varepsilon (0 < \varepsilon < H)$ , где  $H$  - радиус шара в евклидовом пространстве  $R_n$ , в котором действует система, существует  $\delta = \delta(\varepsilon, t_0) > 0$  такое, что все решения  $x(t, t_0, x_0)$  задачи бесконечно продолжимы вправо, как только  $|x_0 - z_0| \leq \delta(\varepsilon, t_0)$ , и для этих решений справедливо неравенство

$$|x(t, t_0, x_0) - z(t, t_0, z_0)| \leq \varepsilon, t_0 \leq t < \infty \quad (8)$$

Устойчивое развитие системы представлено на рис. 1. При таком определении устойчивости имеет смысл устойчивость определённого класса решений, но не всех. Если говорить непосредственно об инвестиционно-строительном проекте, то устойчивость будет напрямую зависеть от сферы, направления принимаемых решений. В частности, если принять систему дифференциальных уравнений линейной, то устойчивость одного решения порождает устойчивость любого другого и можно утверждать устойчивость всей системы.

Таблица 3  
Рис-ориентированные методы управления ИСП

Методы	Характеристика
Метод избежания рисков или отказа от них	Метод применяется к рискам, влекущим за собой катастрофический или высокий ущерб и избежать которых невозможно. Целью использования метода управления рисками является создание таких производственно-хозяйственных условий, при которых шанс возникновения подобных рисков заранее ликвидирован. Такой метод эффективен, когда велика вероятность наступления рисков ( $P \rightarrow \max$ ) и возможный размер убытка ( $X \rightarrow \max$ ). Метод применяется к однородным и неоднородным, единичным и массовым рискам.
Метод принятия риска на себя	Покрытие убытков осуществляется за счет собственных финансовых возможностей компании. Метод применяется, если частота наступления убытков невысока ( $P \rightarrow \min$ ) и потенциальный убыток не высокий ( $X \rightarrow \min$ ).
Метод предотвращения убытков	Суть метода состоит в проведении мероприятий, направленных на снижение вероятности их наступления. Применяется если вероятность наступления риска велика ( $P \rightarrow \max$ ), размер ущерба небольшой ( $X \rightarrow \min$ ). Используется для однородных и неоднородных, массовых и единичных рисков.
Метод снижения размера убытков	Метод подразумевает проведение мероприятий, направленных на снижение размера возможных убытков. Применяется в случае большого размера ущерба ( $X \rightarrow \max$ ) и невысокой вероятности его наступления ( $P \rightarrow \min$ ). Среди программ по уменьшению величины убытков наиболее распространенным является метод разделения. Например, при определении оптимального размера склада, учет риска возникновения пожара может продиктовать целесообразность строительства двух складов в разных местах вместо одного большого.
Страхование	Применение данного метода оправдано в следующих случаях: если вероятность реализации риска невысока ( $P \rightarrow \min$ ), но ущерб большой ( $X \rightarrow \max$ ). Применяется для однородных, единичных и массовых рисков. В случае если риски однородные и их много, фирма может управлять ими на основе самострахования. Если риски неоднородны, то и для массовых и единичных видов рисков оправдано страхование. Если вероятность реализации риска высока ( $P \rightarrow \max$ ), но размер ущерба небольшой ( $X \rightarrow \min$ ). Страхование оправдано, если риски однородные или неоднородные и их много. Если риски однородные и массовые, фирма может управлять ими на основе самострахования.
Самострахование	Метод основан на создании собственных страховых фондов, предназначенных для покрытия убытков, по типу фондов страховых компаний. Самострахование может рассматриваться как метод принятия риска на себя, но отличается тем, что применяется для большого числа однородных рисков. Метод применяется, если вероятность реализации риска невысокая ( $P \rightarrow \min$ ), но ущерб большой ( $X \rightarrow \max$ ).
Метод передачи риска – иной, чем страхование	Метод применяется для специфических видов рисков, в т.ч. финансовых, если вероятность реализации риска невысокая ( $P \rightarrow \min$ ) и возможен большой ущерб ( $X \rightarrow \max$ ). К таким методам относятся: <ul style="list-style-type: none"> <li>- хеджирование – передача ценового риска, направленная на его минимизацию, его суть сводится к ограничению прибылей и убытков, обусловленных изменением на рынках цен товаров, валют и т.д.;</li> <li>- аренда – позволяет арендатору передать риск устаревания собственности, взятой в аренду, ее владельцу;</li> <li>- контракты типа hold-harmless (безвредные для держателя) заключаются до возникновения убытков и представляют собой договоры, по условиям которых одна сторона на определенных условиях соглашается принять на себя ответственность второй стороны в случае возникновения убытков;</li> <li>- договор поручительства, имеет трех участников: первый - лицо, в отношении выполнения обязательств которого заключен договор, второй – выгодоприобретатель, обязательства перед которым имеет первый участник, третий – поручитель, который берет на себя ответственность по выполнению обязательств первого участника перед вторым.</li> </ul>

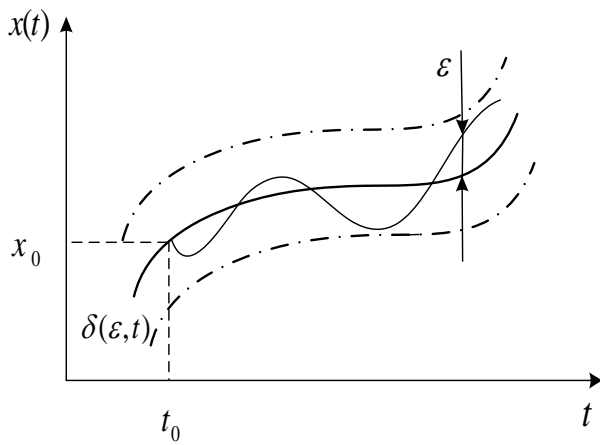


Рис. 1. Представление устойчивого развития системы

*Устойчивость по Лагранжу.* Для систем автономной системы, описываемой дифференциальным уравнением вида  $\frac{dx}{dt} = F(x)$ ,

где  $x(t)$  -  $N$  - мерный вектор состояния,  $F(x)$  - векторная функция, отображающая  $N$  - мерное пространство в себя, точка  $x_0$  и исходящая из нее фазовая траектория  $x(t)$  называются устойчивыми по Лагранжу, если состояние  $x(t)$  всегда, при всех  $t > 0$ , остается в некоторой ограниченной области фазового пространства. Иначе говоря, существует такая константа  $R$ , что для всех  $t > 0$  имеем  $\|x(t)\| < R$ .

*Устойчивость по Пуассону.* Точка фазового пространства  $U$  называется  $\omega$  - предельной точкой фазовой траектории  $x(t)$ , если можно указать

такую последовательность моментов времени  $t_k \rightarrow \infty$ , что  $\lim_{k \rightarrow \infty} x(t_k) = y$ . Точка  $z$  называется  $\alpha$  - предельной точкой, если можно указать такую последовательность времени  $t_k \rightarrow -\infty$ , что  $\lim_{k \rightarrow \infty} x(t_k) = z$ . Множество  $\omega$  - предельных точек образует  $\omega$  - предельное множество данной траектории  $\Omega_x$ , а множество всех  $\alpha$  - предельных точек -  $\alpha$  - предельное множество  $A_x$ . Траектория  $x(t)$  называется устойчивой по Пуассону, если каждая ее точка является  $\alpha$  - предельной и  $\omega$  - предельной:  $x(t) \in \Omega_x \cap A_x$ .

При этом очевидно, что любой установившийся режим колебаний нелинейных систем представляется траекториями, устойчивыми по Пуассону. Однако, не всякая устойчивая по Пуассону траектория представляет режим динамики, который с физической точки зрения может считаться установившимся, т.к. свойство устойчивости по Пуассону ничего не говорит о том, как ведут себя соседние траектории - притягиваются они или уходят от исходной траектории. Заведомо известно, что траектории, отвечающие процессам установления (переходным процессам), устойчивыми по Пуассону не являются.

Важной характеристикой устойчивой траектории при этом является ее свойство возвращаться в сколь угодно малую окрестность каждой своей точки бесконечное число раз. Возврат траектории в  $\epsilon$  - окрестность произвольно выбранной на ней начальной точки называют возвратом Пуанкаре.

Наглядная качественная иллюстрация устойчивости по Лагранжу, Пуассону и Ляпунову приведена на рис. 2.

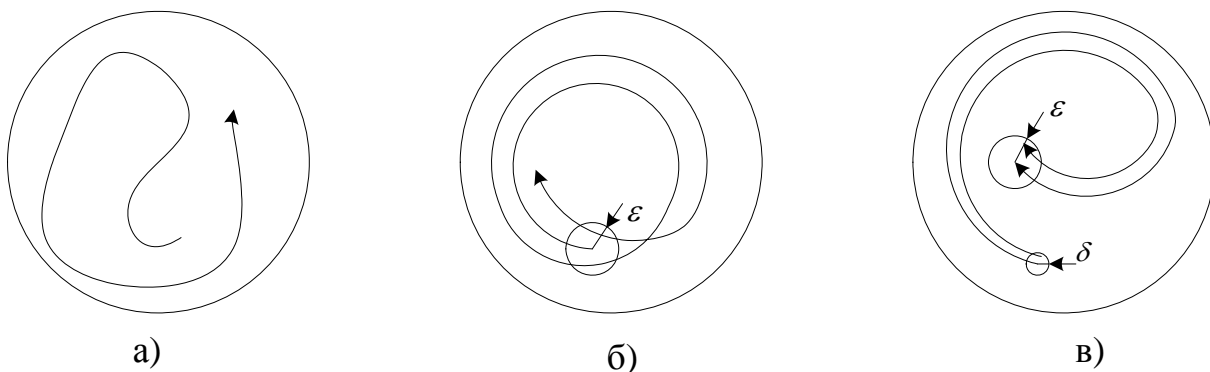


Рис. 2. Иллюстрация устойчивости: а) по Лагранжу, б) по Пуассону, в) по Ляпунову

Однако, приведенные понятия устойчивости систем автоматического управления, динамика которых описывается системой дифференциальных уравнений, и их математические критерии анализа устойчивости достаточно сложно применить к процессам разработки и реализации ИСП, которые по своей сути являются детерминированными или вероятностными событийными процессами. Однако основные идеи такого подхода нашли продолжение в теории устойчивости организационных систем, где устойчивость организационной структуры напрямую связывается с устойчивостью самой системы. Из устойчивости системы следует, что организационная структура, её достигшая, также устойчива и переход к другой структуре управления системой лишь вопрос степени качества функционирования или устойчивости. Однако, обратное утверждение, в общем случае, не верно. Поэтому можно предположить, что устойчивость организационной структуры проекта заключается не в устойчивости форм её осуществления, а в устойчивости управляемости системы, в степени качества реакции организационной структуры системы управления на изменения внешней среды с целью недопущения развала управляемой системы, выхода параметров её функционирования за первоначально определённые рамки. При этом, организационная структура представляется динамической системой, способной изменяться под влиянием внешней среды.

Объектом изучения в проблеме устойчивости ИСП является внутренняя организационная структура системы. Организационная структура системы после своего появления действует для достижения своих целей, обеспечивает устойчивость развития; но, на определённом моменте эволюции, необходимо не только приспособить структуру управления, но и полностью изменить сами принципы управления, что влечёт за собой ликвидацию старой организационной структуры и построение новой, что требует выполнения принципов устойчивости при ликвидации и появлении организационной структуры, т.е. в граничных точках существования структуры. Таким образом, организационная структура системы – это структурное формирование взаимодействий подсистем ИСП с целью достижения управляемости системы, которое выражается в способности перевода системы из одного положения А в другое положение В за определённый заданный набор  $t$ ; качество организационной структуры выражается через устойчивость и эффективность управляемости системы. Организационную структуру системы можно считать устойчивой, если система управления, распределения полномочий для принятия решений способна оперативно реагировать на изменения окружающей среды, обеспечивать устойчивую управляемость системы и её реорганизацию [18].

Формальную систему для оценки устойчивости организационной структуры можно построить

следующим образом. Пусть существует система подмножеств  $(E, T)$ , где  $E = \{e_1, \dots, e_m\}$  – конечное множество элементов,  $T$  – некоторая совокупность непустых подмножеств множества  $E$ , которая выполняет роль объёма полномочий на конкретных организационных элементах. Уровни организационной системы представляются в виде рангов распределяемых полномочий. Связь деятельности системы и организационной структуры обеспечивается посредством системы векторных весовых функций, которые изменяются в зависимости от устойчивого развития системы и представляют собой значимость тех или иных полномочий, их влияние на деятельность системы:

$$w(e) = (w_1(e), \dots, w_r(e)) \in R^r, r \geq 1 \quad (9)$$

где  $r$  – количество рангов организационной структуры.

Для того чтобы организационная структура системы  $Z'(W)$  была устойчивой достаточно выполнения равенства  $P(W) = S(W)$ .

где  $Z'(W)$  – радиус устойчивости организационной структуры,

$P(W)$  – множество Парето весовых векторных функций, представляющих значимость полномочий элементов организационной структуры (оптимальное множество полномочий Парето);

$S(W)$  – полуэффективное множество распределений.

Для радиуса устойчивости организационной структуры системы  $Z'(W)$  верна оценка:

$$\rho(W) \geq \Phi(W) = \min_{t^0 \notin P(W)} \max_{t^* \in P(t^0, t^*, W)} \min_{i \in N_r} \frac{\tau_i(t^0, t^*, W)}{\Delta_i(t^0, t^*)}$$

Недостатком такого подхода является то, что при оценке устойчивости ИСП и организационной структуры, её обеспечивающей, получают некоторое  $n$ -мерное пространство, которое сможет ответить, какими должны быть некоторые параметры развития ИСП (например, уровень заёмных средств, соотношение в их структуре долговых и недолговых ценных бумаг и т.п.) при заданных иных параметрах (например, величина оборотных активов, и т.д.); и что изменится при увеличении какого-либо элемента из этой группы на некоторую величину, какие будут последствия этого для всего проекта в целом.

Степень устойчивости проекта часто характеризуется показателями границ безубыточности и предельных значений таких параметров ИСП, как объем производства, цена за 1 кв. метр т.д. Кроме этого для оценки устойчивости проекта часто используется анализ чувствительности, который заключается в исследовании изменений интегральных показателей эффективности проекта в зависимости от изменения отдельных параметров (инвестиционных затрат,

объема производства, издержек производства, процента за кредит, индексов цен или инфляции, задержки платежей, длительности расчетного периода и т.д.). В качестве результирующих показателей реализации ИСП могут использоваться: показатели эффективности (чистая текущая стоимость, внутренняя норма доходности, индекс доходности, срок окупаемости, рентабельность инвестиций) и ежегодные показатели проекта (балансовая прибыль, чистая прибыль, сальдо накопленных реальных денег).

Проведение анализа чувствительности предусматривает расчет базовой модели на основе допустимых значений входных переменных проекта, для которой определяется величина чистой текущей стоимости NPV. Эта величина является основой для сравнения с допустимыми возможными изменениями, которые необходимо проанализировать. Используя данный метод, оценка устойчивости проводится путем последовательно-единичного изменения переменных, на основе чего происходит пересчет новой величины используемого критерия эффективности, например NPV. После этого оценивается процентное изменение критерия по отношению к базисному случаю и рассчитывается показатель чувствительности, представляющий собой отношение процентного изменения критерия к изменению значения переменной на один процент [20].

Следующий шаг проведения анализа чувствительности – это определение предельных значений параметров проекта  $F_{пред}^i$ , т.е. таких, при которых чистая текущая стоимость становится равной нулю:  $NPV(F_{пред}^i) = 0$ .

$$E_{NPV}^i = \frac{(NPV_1 - NPV_2)}{(NPV_1 + NPV_2) / 2} \Bigg/ \frac{(F_1^i - F_2^i)}{(F_1^i + F_2^i) / 2} \quad (10)$$

где  $E_{NPV}^i$  - эластичность чистой текущей стоимости по  $i$  – му фактору;

$F_1^i$  - начальное значение  $i$  – го фактора;

$F_2^i$  - конечное значение  $i$  – го фактора.

После определения критического значения каждой переменной проводится анализ её важности для проекта и выделяются наиболее и наименее рискованные переменные. Чем меньше проект чувствителен к изменению переменных, тем он устойчивее.

Несмотря на все свои, метод анализа чувствительности имеет существенный недостаток – однофакторность, т.е. ориентация на изменение только одного фактора проекта, что приводит к недоучету возможной связи между отдельными факторами или к недоучету их корреляции.

Мера устойчивости при этом интерпретируется как запас прочности между планируемой величиной изменяемого параметра и ее предельным значением, т.е. значением, при котором величина чистой текущей стоимости проекта становится равной нулю. В этом случае задача оценки устойчивости сводится к оценке безубыточности проекта при вариации его параметров. Проведенный анализ подходов к определению устойчивости ИСП показал, что в них недостаточно внимания уделено устойчивости самих процессов разработки и реализации проекта. В соответствии с международными стандартами управления качеством серии ISO 9001/2000 процессы реализации проекта рассматриваются как взаимосвязанная сеть основных, вспомогательных процессов, процессов организационного управления, механизмов управления рисками и других бизнес-процессов. Устойчивость при этом предполагает наличие механизмов адаптации, в первую очередь, к влиянию факторов внешних и внутренних рисков.

В данной работе устойчивость инвестиционно-строительного проекта предлагается определять с позиций достижения заданных результатов, соблюдения директивных сроков выполнения проекта при заданных финансовых ограничениях. Результирующими проектными рисками могут быть риски несвоевременного завершения проекта, превышения его стоимости и недостижения заданного качества результатов. Значит, для обеспечения устойчивости ИСП необходимо своевременно решить следующие задачи:

обеспечить резервы в минимально необходимых объемах, создать запасы для ликвидации последствий проявления факторов риска;

при определении сроков выполнения проектов учитывать не только технологические взаимосвязи и длительности выполнения основных работ, но и процессы организационного управления проектом, ликвидации последствий проявления факторов риска, а также возвраты, связанные с необходимостью повторения ряда работ проекта при возникновении несоответствий получаемых результатов заданным требованиям;

определить объемы, источники и динамику финансирования реализации ИСП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угольницкий, Г.А. Оптимизационные и теоретико-игровые модели управления инвестиционно-строительными проектами [текст] / Г.А. Угольницкий // Управление большими системами. – 2009. – № 26.1. – С. 348-365.
2. Цопа, Н.В. Особенности выявления рисков и оценки их страхования [текст] / Н.В. Цопа // Экономика промышленности. – 2007. – Т. 36. № 1. – С. 65-72.
3. Vincent T. Collo and Jeril Mumpower, "Risk Analysis and Risk Management: An Historical Perspective", Risk Analysis, Vol. 5, No. 2, 1985.

4. Knight, F.T. Risk, Uncertainty and Profit. Boston: Houghton Mifflin, 1921.
5. Шарп, Уильям Ф. и др. Инвестиции: пер. с англ. [текст] / Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. Александер, Джинфри В. Бэйли. – М.: Изд. дом “ИНФРА-М”, 2001. – 1028 с.
6. David McNamee Risk Assessment and Internet Resources <http://www.mc2consulting.com/riskart9.htm>.
7. Voropajev V.I. Project management in Russia. – USA: PMI, 1997. – 240 p.
8. Мазур, И.И. Управление проектами [текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др. Справочное пособие / под редакцией И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
9. Федосова, З.Н. Риски и страхование [текст] / З.Н. Федосова, А.И. Волков, А.К. Москалёв. – Владимир: Наука, 2000. – 250 с.
10. Перелет Р.А., Сергеев Г.С. Технический риск и обеспечение безопасности производства [текст]. – М.: Знание, 1998. – 62 с.
11. Лапуста М.Г., Шаршукова Л.Г. Риски в предпринимательской деятельности [текст]. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 224 с.
12. Дубров, А.М. Моделирование рисков ситуаций в экономике и бизнесе [текст] / А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталева. – М.: Прогресс, 1999. – 218 с.
13. Петраков, Н.Я. Фактор неопределённости и управление экономическими системами [текст] / Н.Я. Петраков, В.И. Ротарь. – М.: Наука, 1977. – 191 с.
14. Клейнер Г.Б. Риски промышленных предприятий (как их уменьшить и компенсировать) [текст] / Г.Б. Клейнер // Российский экономический журнал. – 1994. – № 5-6. – С. 85-92.
15. Теличенко, В.И. Основы управления инвестиционно-строительными программами в условиях мегаполиса : [монография] / В. И. Теличенко [и др.]. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2008. – 240 с.
16. Афанасьев, В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления: Учеб. для вузов; 2-е изд., доп. – М.: Высш. Шк., 1998 [текст]. – 574 с.
17. Диниц, Е.А. О решении двух задач о назначении. Исследования по дискретной оптимизации [текст] / Е.А. Диниц. – М.: Наука, 1976. – 368 с.
18. Лепа, Р.Н. Теоретическая парадигма потенциала развития промышленного предприятия [текст] / Р.Н. Лепа, Н.В. Цопа, М.Ф. Гончаренко // Экономика промышленности. – 2010. – Т. 3. № 51. – С. 86-93.
19. Варганиян, В. Экономико-математическое обеспечение управленческих решений в менеджменте [текст] / В. Варганиян. – Х.: ХГЭУ, 2001. – 288 с.
20. Ермолаев, Е.Е. Управление инвестиционно-строительными программами и проектами [текст] / Е.Е. Ермолаев, С.Б. Сборщиков, Н.В. Путнина. – М.: Стройинформиздат, 2014. – 280 с.
21. Федоркин С.И., Цопа Н.В. Инфраструктурное обеспечение развития строительного комплекса // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов №1(53), 2015. – С.111-122..

Tsopa N.V.

## NECESSITY OF APPLICATION OF RISK-ORIENTED METHODS FOR PROVIDING THE SUSTAINABILITY OF INVESTMENT-BUILDING PROJECT

**Annotation.** In the article the necessity of application risk-oriented methods in order to ensure the sustainability of the investment and construction project argued. Theoretical bases of application of the risk-oriented approach within the framework of the project management concept are considered. The classification of the factors influencing appearance of external and internal risks of the project is made. The main methods of risk assessment in the implementation of investment and construction project are summarized. The use of effective ways to reduce the level of investment and construction project risks is justified. The stability of investment and construction project is considered from the standpoint of the theory of stability of organizational systems. The indicators that characterize the degree of sustainability of the project are defined.

**Key words:** risk, risk-oriented methods, risk factors, sustainability, investment and construction project.



## ИЗЫСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЕ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРОГРАММЕ «ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ» ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МАГИСТРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ

Шаленный В.Т.

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

**Аннотация.** Представлена разработанная и утвержденная программа профессиональной подготовки магистров-строителей по профилю «теория и практика организационно-технологических решений». Эта программа, в своей вариативной части, не только всесторонне раскрывает научно-технические проблемы проектирования и возведения современных строительных объектов и их систем, но и комплексно, во взаимосвязи с технологией и организацией строительных работ, акцентирует внимание обучающихся на актуальных проблемах безопасности жизнедеятельности людей на всем протяжении жизненного цикла строительных объектов. Необходимое внимание сосредоточено также на опубликованных ранее результатах научно-технических разработок преподавателей, участвующих в разработке и реализации представленной программы, а также перспективах развития анонсированных работ. Отдельные курсы и разделы представленных дисциплин вариативной части программы предлагаются нами для изучения и в других вузах, и по другим программам, включая проекты академической мобильности обучающихся строительного профиля профессиональной подготовки магистров и аспирантов.

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, технология строительства, программа подготовки.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Воссоединение Республики Крым с Российской Федерацией, ее вхождение в законодательное поле России, потребовало переориентировать, а в большинстве случаев, просто по-новому организовать учебный процесс в нашей академии, в том числе и по бакалаврским, магистерским и аспирантским программам подготовки направлений «строительство», «техника и технологии строительства». Руководством университета в конце 2014 - начале 2015 года мне, как руководителю, было поручено подготовить к лицензированию и аккредитации магистерские программы очной и заочной форм обучения по профилю «промышленное и гражданское строительство». Позже, после лицензирования, начиная с 2016-17 учебного года, эти программы были разделены сразу на четыре направления, ориентированные на большинство востребованных видов профессиональной деятельности выпускников. Естественно, что определяющими при этом являлись и являются постоянно изменяющиеся требования Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС ВО).

И, во всех известных нам редакциях ФГОС ВО подготовки магистров, предусматриваются производственно-технологический и научно-исследовательский виды профессиональной деятельности с требованиями приобретения компетенций, обеспечивающих разработку и внедрение в практику строительства исключительно безопасных технологий жизнедеятельности. В настоящей работе мы намерены представить реализуемую в нашей академии программу «теория и практика организационно-технологических решений» с точки зрения сущности и методологии

приобретения обучающимися необходимых компетенций в части безопасности жизнедеятельности работников строительной отрасли, заявленной как одно из направлений работы IV Международной научно-практической конференции «Методология безопасности среды жизнедеятельности».

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучив упомянутый ФГОС ВО, выявились существенные различия в магистерских профессиональных образовательных программах подготовки в Украине и Российской Федерации. Например, сроки обучения – 1 год в Украине, включая всего семестр теоретического обучения и семестр на подготовку и защиту выпускной квалификационной работы (диссертации); в Российской Федерации – 2 и даже 2,5 года обучения, минимум, с тремя семестрами теоретического обучения и значительно большим количеством учебных, производственных и научно-исследовательских практик. Кроме того, в научных публикациях российских специалистов [1-5], официальных сообщениях государственных органов [6] и нормативных документах в области строительства [7-10] все больший акцент ставится на приоритетах жизни и здоровья наших граждан над всеми иными, также безусловно важными, задачами существования настоящего и будущих поколений. Концепция устойчивого развития мировой цивилизации конца прошлого века трансформируется в нынешнем веке в

международную программу «зеленого» строительства [11-14].

**Цель настоящей работы** заключается в освещении содержания и запланированных результатов освоения магистерской программы профессиональной подготовки «теория и практика организационно-технологических решений» в части методологии приобретения компетенций обеспечения производственной и экологической безопасности строительства, а также последующих этапов жизненного цикла построенных объектов.

**Задачи исследования** - на основе анализа состояния вопроса безопасности жизнедеятельности в строительной и смежных отраслях, а также освещения результатов наших ранее выполненных научно-проектных разработок, представить вариативную часть магистерской программы строительного направления подготовки профиля «теория и практика организационно-технологических решений» с точки зрения комплексности освещения в ней проблем безопасности жизнедеятельности для приобретения обучающимися запланированных профессиональных компетенций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

В результате разработана, утверждена и уже второй учебный год реализуется основная профессиональная программа магистерской подготовки под упомянутым названием «теория и практика организационно-технологической подготовки», как нам представляется, сбалансированно учитывающая необходимость всестороннего и качественного освещения анонсированных ранее вопросов безопасности жизнедеятельности. И, поскольку одним из видов будущей деятельности выпускников задекларирована научно-исследовательская, то, как нам представляется, изучаемый материал должен базироваться не только на опубликованных работах других известных ученых и специалистов, а и на результатах исследований преподавателей, реализующих нашу программу. А поэтому, при реферативном освещении особенностей этой программы, покажем достигнутые ими результаты и перспективы дальнейших изысканий.

Кроме традиционных дисциплин базовой части программы, осваиваемыми обучающимися по всем четырем магистерским программам направления подготовки 08.04.01 «строительство», наша программа включает оригинальный комплекс взаимосвязанных дисциплин вариативной части, составными частями включающих проблемы «зеленого» строительства и безопасности жизнедеятельности. В части организационно-технологического проектирования и реализации запроектированных конструктивно-технологических решений, предусмотрен блок дисциплин, отражающих научно-технические проблемы и наши решения в части общепринятых стадий строительства промышленных и гражданских объектов, а именно:

1. Инновационные технологии производства работ нулевого цикла – 5 зачетных единиц (з.е.), включая лекций – 24 часа, практических занятий – 30 часов, курсовое проектирование возведения подземной части гражданского здания преимущественно по прогрессивной технологии многоэтажного подземного строительства по методу «сверху вниз» [15]. К настоящему времени, с участием обучающихся по данной программе, патентуются в Российской Федерации конструктивно-технологические решения по устройству сталежелезобетонных свай-колонн, а также технологии бетонирования перекрытий многоэтажной подземной части зданий гражданского назначения, изданы необходимые учебно-методические материалы [16], запланирована и выполняется магистерская диссертация студентом Рамазановым С.Ю.

2. Сборно-монолитное домостроение – 5 з.е., лекций – 14 часов, практических занятий – 38 часов, курсовое проектирование по технологии и организации строительства надземной части гражданского здания по одной из прогрессивных сборно-монолитных многоэтажных систем. Подготовлена рукопись учебника, запланировано издание методической литературы по технологии и организации производства работ. Показана актуальность и социально-экономическая эффективность развития и внедрения в РФ и Крыму конструктивно-технологических систем сборно-монолитного строительства гражданских зданий, удачно сочетающих преимущества монолитного и полносборного строительства и устраняющих слабые стороны этих видов домостроительного производства. Рассматриваются аспекты эволюции отечественных и зарубежных систем каркасного сборно-монолитного строительства, последовательно излагаются особенности конструктивных, а также организационно-технологических основ строительства по прогрессивным отечественным системам КУБ, АРКОС, УДС, а также устройства сборно-монолитных конструкций стен и перекрытий с использованием мелкоштучных блоков, панелей и других изделий для сокращения ресурсоемкости строительства и эксплуатации построенных гражданских зданий. Приводятся примеры организационно-технологического проектирования и строительства конкретных объектов, в том числе, и сейсмоактивных зонах, к которым относится и Республика Крым.

Рабочей программой курса представляются пути дальнейшего развития и совершенствования сборно-монолитного домостроения в части конструкций, технологии их изготовления и монтажа, качества и безопасности выполнения работ. Определенным вкладом в развитие таких технологий считаем полученные в текущем году патент РФ на изобретение «Способ возведения сборного многоэтажного железобетонного каркаса здания с предварительным напряжением» [17], патент на полезную модель [18], а также несколько, подготовленных с участием обучающихся, заявок на выдачу охранных документов, направленных на повышение качества, безопасности производственных процессов, а также

сокращения ресурсоемкости сборно-монолитного домостроения. Как уже достигнутые результаты, следует отметить работу обучающегося Мальшева С.Н. [19], отмеченную дипломом 1 степени на выставке научно-технических достижений КФУ им. В.И. Вернадского, а также успешно защищенную магистерскую диссертацию Саницкого В.Э. В ней, с использованием программного комплекса Лира-САПР, подтверждаются запатентованные теоретические предположения об эффективности и безопасности нового способа монтажа многоспустотных плит перекрытий на временные пространственные опорные конструкции с винтовыми домкратными системами.

3. Технологии утепления и отделки строительных конструкций – 5 (з.е.), лекций – 14 часов, лабораторно-практических занятий – 38 часов, расчетно-графическая работа в первый год обучения. В 2014 г. нами было издано учебное пособие [20], а 2016 г. – монография [21], отражающие основное содержание данной дисциплины. Выполнена и успешно защищена в 2016г. с рекомендацией ГЭК для продолжения обучения в аспирантуре магистерская диссертация Лесниковой Е.И., результаты исследования которой опубликованы в [22], доложены на международной конференции [23] и запатентованы [24]. Предложена новая конструкция крепления блоков из пеностекла при помощи оригинальных кронштейнов из углепластика при наружном утеплении и отделке с оштукатуриванием гражданских объектов.

В составе обще Крымского инновационного кластера «Повышение энергетической эффективности производства и ЖКХ с использованием возобновляемых источников энергии» на заседании Научно-экспертного совета технологической платформы «Устойчивое развитие Крыма» 19 мая 2017 года представлено и утверждено направление «Организация сбора, хранения и переработки боя стекла в пеностекло – долговечный, огнестойкий и экологически чистый материал для наружного утепления и отделки гражданских зданий в Крыму». Кроме использования пеностекла в виде стеновых блоков, предполагается разработка технологии наружного утепления и отделки монолитным пеностеклом. Эту задачу с правовой защитой предложенного технологического оснащения решают магистранты Вознюк С.С. и Кузнецов В.В., а в декабре прошлого года успешно защищена магистерская диссертация обучающегося заочно Куринова А.В., результаты которой опубликованы в [25] с рекомендацией использовать разработанную методику сравнения конструктивно-технологических решений по наружному утеплению и отделке зданий и на других объектах.

4. Современные технологии при модернизации промышленных и гражданских зданий 8 з.е., включая 26 часов лекций и 52 часа практических занятий. Поскольку основные фонды промышленного и жилищно-коммунального сектора российской экономики продолжают стареть, объективно необходима их модернизация, а частично, и ликвидация. Эти проблемы жизненного цикла

строительных объектов сопряжены с особыми видами работ, не присущих новому строительству, часто требуют не традиционных организационно-технологических решений, в том числе, и с точки зрения безопасности производства работ, их влияния на окружающую среду. Комплексно эти проблемы отражены в нашем учебном пособии, изданном еще с грифом Министерства образования и науки Украины [26]. За прошедшее время выполнены и выполняются диссертации с публикацией результатов в части безопасной технологии достройки гражданских зданий с новыми отдельно стоящими и ленточными фундаментами [27], восстановления объектов городской водопроводной системы [28], замены конструкций покрытия промышленных объектов [29], а также пристройки дополнительных строительных объемов и площадей [30]. За счет последних можно сократить и сроки окупаемости, так необходимых «зеленому» строительству, энергосберегающих мероприятий [31].

В упомянутом учебном пособии впервые обращено внимание и обобщены разработки по безопасной перепланировке гражданских зданий, особенно их нижних этажей. Такие работы достаточно часто предполагают устройство большеразмерных проемов в несущих каменных стенах, что безусловно изменяет расчетную схему несущего остова здания и требует особых мероприятий для обеспечения безопасности жизнедеятельности. Сущность наших научно-технических разработок заключается в применении для этих целей современного алмазного режущего оборудования с гидравлическим приводом, к сожалению, в большинстве случаев, импортного происхождения. Одна магистерская диссертация уже защищена в 2014 г. студентом Покотило Д.С. [32], а в текущем учебном году запланирована защита научно-проектной работы магистрантом Загородним В.С.

5. Особенности сейсмостойкого строительства в Крыму – 3 з.е. Эту дисциплину мы сознательно передали на другую выпускающую кафедру для всестороннего освещения ее содержания доцентом Алексеенко В.Н., имеющим большой научно-практический опыт работ в заявленном направлении [33]. Безопасность жизнедеятельности и сейсмостойкость и технологичность строительства в Крыму – проблемы взаимосвязанные и рассматриваются они здесь также комплексно.

6. Современные подходы к организации и управлению строительством или «правовое регулирование и управление инновационными проектами» – 3 з.е. Обе эти дисциплины, по выбору обучающихся, курирует заведующая нашей выпускающей кафедрой технологии, организации и управления строительством, д.э.н., профессор Цопа Н.В., имеющая необходимый опыт и научно-исследовательские работы в части организации и управления производством [34]. Трудно переоценить важность оценки состояния производственной безопасности в строительной организации, необходимость контроля и своевременного принятия целесообразных управляющих воздействий для сохранения жизни и здоровья участников

строительства, защиты и охраны окружающей среды на всех стадиях жизненного цикла строительных проектов. Что и находит отражение в рабочей программе и результатах освоения каждой из упомянутых дисциплин.

7. Интеллектуальная собственность в строительстве – 3 з.е. Имеющийся практический более чем 35 летний опыт правовой защиты объектов интеллектуальной собственности в бывшем СССР, Украине и Российской Федерации, а также имеющиеся в ФГОС ВО компетенции по умению выявлять и навыкам оформлять заявки на выдачу государственных охранных документов, позволили нам включить в рабочую программу указанный курс с шестью лекциями и двенадцатью практическими занятиями для приобретения упомянутой компетенции. Уже в настоящее время, почти половина обучающихся по нашей программе имеет заявки на выдачу охранных документов, а будущем таких должно быть большинство. Считаем, что такой курс должен присутствовать и в других магистерских программах строительного, да и других, профилях подготовки специалистов технических специальностей.

8. Наконец, своеобразным обобщающим акцентом в теоретическом обучении по запланированной программе, нам представляется курс по выбору обучающихся – «техносферная безопасность строительства» или «производственная безопасность в строительстве» - по 3 з.е. Как следует из названий, первая дисциплина является более общей, включающей основное содержание второй. В зависимости от планов на будущую профессиональную деятельность, обучающиеся самостоятельно выбирают дисциплину, где конкретизируются вопросы безопасности только строительного производства либо в комплексе обозначаются все проблемы безопасности жизнедеятельности общества во взаимосвязи со строительством.

В соавторстве с к.т.н., доцентом Ковалевым А.А., которому поручено реализовать рабочие программы названных дисциплин, с нашим участием, в 2012г. был издан учебник [35], имеются другие совместные разработки [36]. На последней публикации остановимся более детально, поскольку она обозначает одно из развивающихся направлений наших научных изысканий. В 2014 г. защитила кандидатскую диссертацию «Повышение эффективности монтажа стальных силосных корпусов методом подрачивания с учетом энергетических затрат строителей» аспирантка Кислица Л.В., а в 2016 г. принят в аспирантуру Леоненко К.А. с утвержденной темой «Интенсификация производства каменно-монтажных работ с учетом требований эргономики». Его ранее защищенная магистерская диссертация в 2016 году была отмечена дипломом 1 степени на выставке научно-технических достижений молодых ученых КФУ им. В.И. Вернадского, а также Премией Госсовета Республики Крым.

Как нам представляется, провозглашенные мировым сообществом приоритеты жизни и здоровья

нынешних и будущих поколений, в строительном секторе экономики, несмотря на его важность и влияние на упомянутые приоритеты, должной разработки и внедрения в Российской Федерации, да и в большинстве стран, до сих пор не получили. На важность этой проблемы впервые обратил внимание профессор Ершов Н.М. в своей известной монографии [37]. Путем механизации, прежде всего малой, на примере наиболее распространенных каменно-монтажных работ, мы планируем обосновать, разработать и внедрить организационно-технологические решения, снижающие напряженность и тяжесть труда рабочих [38]. Тогда так безусловно необходимый обществу труд рабочих-строителей станет более привлекательным и безопасным.

## ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЫ

Разработанная и утвержденная программа профессиональной подготовки «теория и практика организационно-технологических решений», в своей вариативной части, не только всесторонне раскрывает научно-технические проблемы проектирования и возведения современных строительных объектов и их систем, но и комплексно, во взаимосвязи с технологией и организацией строительных работ, акцентирует внимание обучающихся на актуальных проблемах безопасности жизнедеятельности людей на всем протяжении жизненного цикла объектов. Необходимое внимание сосредоточено также на опубликованных ранее результатах научно-технических разработок преподавателей, участвующих в разработке и реализации представленной программы, а также перспективах развития анонсированных работ.

Отдельные курсы и разделы аннотированных дисциплин вариативной части программы предлагаются нами для изучения и в других вузах, и по другим программам, включая проекты академической мобильности обучающихся. Для чего планируется также подготовка и публикация необходимой учебно-методической литературы, как минимум, с размещением вначале в доступных электронно-библиотечных сетях [39].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.А., Гускаева З.Р. Эргономичность и экологическая безопасность - факторы, необходимые для повышения конкурентоспособности отечественной строительной техники //Вестник МГСУ. – 2017. – Т.12. – Вып. 3(102). – С.308-316.
2. Гамаюнова О.С., Ершов В.В., Ильин А.А., Ли С.И., Соколов Б.В. Образование в сфере техники безопасности в строительстве //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 5. С. 31–35.
3. Кофанов А.В. Безопасность труда в строительном комплексе России //Строительство: наука и образование. 2011. № 2.С. 1–8.
4. Травуш В.И., Емельянов С.Г., Колчунов В.И. Безопасность среды жизнедеятельности – смысл и

- задачи строительной науки //Промышленное и гражданское строительство. – 2015. - №7. – С.20-27.
5. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л., Мамаев А.Е. BIM технологии в оценке уровня охраны труда //Инженерно-строительный журнал. 2017. №1(69). С.77–88.
6. Доклад о реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2014 году /Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/24> (дата обращения: 17.04.2017).
7. СНиП 12-04-2002. «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство». Утверждены постановлением Госстроя России от 17.09.2002 г. № 123, зарегистрированы Минюстом России 18.10.2002 г. № 3880. Изд. ФГУП ЦПП.
8. СП 12-136-2002. «Безопасность труда в строительстве. Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ». Утвержден и введен в действие постановлением Госстроя России от 17.09.02 г. № 122. Изд. ФГУП ЦПП.
9. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Утверждено руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 29.07.2005 г.
10. МДС 12-28.2006. «Методическое руководство по проведению экспертной оценки безопасности нестационарных рабочих мест на строительных объектах» М.: 2007.
11. Теличенко В.И. От экологического и «зеленого» строительства – к экологической безопасности строительства //Промышленное и гражданское строительство. 2011, №2, С.47-51.
12. Теличенко В.И. От принципов устойчивого развития к «зеленым» технологиям //Вестник МГСУ. – 2016. - №11. –С.5-6.
13. Теличенко В.И. «Зеленые» технологии среды жизнедеятельности: понятия, термины, стандарты //Вестник МГСУ. – 2017. – Т.12. – Вып. 4(103). – С.364-372. DOI: 1022227/1997-09.35.2017.4.364-372.
14. Теличенко В.И. Строительная наука в формировании среды жизнедеятельности //Academia. Архитектура и строительство. 2017, №1, С.98-100.
15. Верстов, В.В., Гайдо А.Н., Иванов Я.В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий: [учебное пособие] /Под ред. В.В. Верстова. СПб.: Издательство «Лань», 2014. - 368 с.
16. Методические указания к выполнению курсового проекта «Технология и организация возведения подземной части многоэтажных гражданских зданий методом «сверху-вниз» для студентов направления 08.04.01 «Строительство», магистерской программы «Теория и практика организационно-технологических решений» /Шаленный В.Т., Акимов Ф.Н., Балакчина О.Л. ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». – Симферополь, 2017. – 43с.
17. Пат. №2617813С2, Российская Федерация, МПК E04B 1/22 (2006.01). Способ возведения сборного многоэтажного железобетонного каркаса здания с предварительным напряжением /В.Т. Шаленный, И.В. Головченко. — заявка №2015132770. – Заявл. 05.08.2015; опубл. 27.04.2017, Бюл. №12, 5с. с ил.
18. Пат. №167063U1, Российская Федерация, МПК E04G11/20 (2006.01). Площадка обслуживания блочной переставной опалубки для возведения вертикальных конструкций /В. Т. Шаленный, А.К. Куренько, С.Н. Малышев. — заявка №2016110295/03. – Заявл. 21.03.2016; опубл. 20.12.2016, Бюл. №35.
19. Шаленный В.Т., Малышев С.Н. Технико-экономическое обоснование выбора технологических схем и приборов контроля отклонений от вертикали при возведении железобетонных конструкций //Экономика строительства и природопользования. – 2016. - №1. – С.99-104.
20. Ресурсозбереження в технології влаштування та відновлення властивостей зовнішніх стін цивільних будівель: Навчальний посібник /В.Т. Шаленний, А.М. Березюк, І.Ф. Огданський, К.Б. Дікарев, А.О. Скокова. - Дніпропетровськ: “Акцент ПП”, 2014. - 264с. (ISBN 978-617-7109-19-7).
21. Романенко Т.Н., Федоркин С.И., Шаленный В.Т. Утепление ограждающих конструкций: Монография /Романенко Т.Н., Федоркин С.И., Шаленный В.Т.; Под редакцией Шаленного В.Т. - “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria, 2016. - 365с.
22. 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.
23. Шаленный В.Т., Романенко Т.Н., Лесникова Е.И. Сравнительная эффективность технологии утепления стен блоками из пеностекла с креплениями из углепластика //Материалы 1X междунар. науч.-практич. конф. «Строительство в прибрежных курортных регионах», - 23-27 мая 2016г. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ». – 2016. – С.98-102.
24. Пат. № 162256 U1, Российская Федерация, МПК E04B01/76, E04F13/75 (2006.01). Система теплоизоляции стеновых конструкций /Т.Н. Романенко, В. Т. Шаленный, Е.И. Лесникова. - заявка №2015154841/03. – Заявл. 21.12.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. №16.
25. Шаленный В.Т., Куринов А.В. Целесообразность выбора вида теплоизоляционного материала и средств подмащивания, применяемых в

устройстве системы вентилируемого фасада при строительстве многоквартирного жилого дома по ул. Руднева, 15 в г. Севастополь //Экономика строительства и природопользования. – 2017. - №2. – С.96-100.

26. Реконструкція промислових та цивільних будівель: підр. для будів. вузів /[А.М. Березюк, В.Т. Шаленний, К.Б. Дікарев, О.О. Кириченко]. – Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2010. – 184 с.

27. Шаленный В. Т. Обоснование и предложение по совершенствованию конструкции разборно-переставной опалубки для непрерывного бетонирования многоступенчатых ленточных фундаментов /И.С. Сенник, В.Т. Шаленный, О.А. Бицоева //Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь: НАПКС, 2012. — Вып. 42. - С. 63—68.

28. Шаленный В., Кощев Н. Обоснование и разработка технологии и организации восстановительных работ по реконструкции водонапорной башни «Белый бассейн» в г. Феодосия //Строительство и техногенная безопасность, 2017. №6(58). С.117-122.

29. Шаленный В.Т., Балакчина О.Л. Интенсификация использования вертолетов для замены конструкций покрытия зданий промышленного назначения //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. - №3-4 (218-219). – С.29-31.

30. Шаленный В.Т. Особенности технологии реконструкции незавершенных строительством жилых домов пристройкой монолитных железобетонных балконов для эвакуации /В.Т. Шаленный С.Ф. Акимов, О.А. Бицоева О.А., А.Ю. Лаврентьев, А.О. Никулин //Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов.- Днепропетровск: ПГАСА.-2011.-Вып.62.- С.381-385.

31. Шаленный В.Т., Мороз В.В. Возможность сокращения сроков окупаемости инвестиций в энергосбережение путем учета и совершенствования и других ресурсосберегающих мероприятий при реконструкции //Строительство и реконструкция. – 2016. - №6(67). - С.108-115.

32. Шаленный В.Т. Расширение технологических возможностей алмазного оборудования для резки конструкций путем его монтажа на средствах подмащивания /В.Т. Шаленный, Д.С. Покотило //Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь: НАПКС, 2014. - Вып. 49. - С.84-88.

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

34. Цопа Н.В. Особенности управления энергосбережением в инвестиционно-строительном комплексе //Строительство и техногенная безопасность, 2016. -№2(54).-С.54-59.

35. Охорона праці, технічна та пожежна безпека будівництва і реконструкції об'єктів. /Лівінський О.М., Єсипенко А.Д., Шаленний В.Т. та інші. Підручник. – К.: «МП Леся», 2012. – 440с.

36. Шаленный В. Т. Оценка опасных и вредных производственных факторов при возведении металлических силосов методом подрачивания с применением шевров /В.Т. Шаленный, А.А. Ковальов, А.Г. Попов, М.Л. Чёрная, Л.В. Кислица //Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС, 2013. №49. С.120-128.

37. Ершов М.Н. Эргономика строительных процессов: доступные решения. – М.: Издательство АСВ, 2010. –248с.

38. Шаленный В.Т., Леоненко К.А. Улучшение эргономики каменной кладки за счет поэтапного снижения энерго- и трудозатрат рабочих-каменщиков //Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. –2016.-№4(16).-С.64-70.

39. Шаленный В.Т. Тенденции современного книгоиздания и возможности для его использования в инженерно-строительном образовании и науке /Материалы Третьего Международного профессионального форума «Книга. Культура. Образование. Инновации» («Крым-2017»), 3-11 июня 2017г.–Электрон. текстовые дан. – ГПНТБ России: Ассоц. ЭБНИТ, 2017.

Shalenny V. T.

## RESEARCH AND REFLECTION IN THE LIFE SAFETY ISSUES PROGRAM "THEORY AND PRACTICE OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS" FOR MASTER-BUILDERS

**Annotation.** The developed and approved program of professional training of master-builders on the profile "theory and practice of organizational and technological solutions" is presented. This program, in its variative part, not only fully reveals the scientific and technical problems of designing and erection of modern building objects and their systems, but also in a complex way, in interrelationship with technology and the organization of construction works, focuses the attention of students on the actual problems of human life safety throughout the life cycle of construction projects. Necessary attention is also focused on the previously published results of scientific and technical developments of professors participating in the development and implementation of the presented program, and on the prospects for the development of the announced works. Distinct courses and sections of the presented disciplines of the variable part of the program are offered by us for study in other universities and on other programs, including projects of academic mobility of students studying the construction profile of professional training for masters and graduate students.

**Key words:** life safety, construction technology, training program.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК МЕЖДУЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Перминов Д.А.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
e-mail: dmitriy714@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается анализируется техническое состояние деревянных балок междуэтажного перекрытия, по результатам выполненного обследования. Рассмотрены причины появления дефектов и выполнен расчет несущей способности деревянных балок перекрытия.

**Ключевые слова:** деревянная балка, обследование, техническое состояние, продольные трещины.

### ВВЕДЕНИЕ

Выполнено обследование деревянного перекрытия главного корпуса средней школы в г. Севастополь. Здание 1940 года постройки. Конструктивная схема здания – безкаркасное, с несущими стенами. Стены представляют собой кладку из штучных блоков известняка (инкерманское месторождение) толщиной 400мм. Здание II - образной формы в плане. Перекрытие выполнено по деревянным балкам.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка технического состояния деревянных перекрытия первого этажа главного корпуса, проверочный расчет и рекомендации.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Обследование проводится в три этапа: подготовка к проведению обследования; визуальное обследование; инструментальное обследование.

Подготовка к проведению обследования:

- ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением;

- подбор и анализ проектно-технической документации;

- составление программы работ на основе полученного от заказчика задания;

- ознакомление с проектной и исполнительной документацией на конструкции и строительство здания.

Предварительное (визуальное) обследование с целью предварительной оценки технического состояния строительных конструкций по внешним признакам и для определения необходимости детального инструментального обследования:

- сплошное визуальное обследование конструкций здания и выявление дефектов и повреждений по внешним признакам с необходимыми замерами и их фиксация путем фотографии, зарисовки и описания дефектных

участков, составления схем и ведомостей дефектов и повреждений;

- проверка наличия характерных деформаций здания и отдельных строительных конструкций (прогибы, крены, перекосы, разломы и т.д.);

- установление аварийных участков, если таковые имеются;

- по результатам визуального обследования делается предварительная оценка технического состояния строительных конструкций и определяется необходимость проведения инструментального обследования.

Детальное (инструментальное) обследование:

- инструментальное определение параметров дефектов и повреждений;

- определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов;

- камеральная обработка и анализ результатов обследования и поверочных расчетов;

- анализ причин появления дефектов и повреждений в конструкциях;

- составление итогового документа – отчета с выводами по результатам обследования;

- разработка рекомендаций по обеспечению требуемых величин прочности и деформативности конструкций с рекомендуемой, при необходимости, последовательностью выполнения работ.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ

При обследовании деревянных перекрытий было разобрано в двух помещениях два участка – на опоре и в пролете (рис. 1). Перекрытие состоит из деревянных балок сечением 160х250мм пролетом примерно 6000мм, расположенных с шагом 800-900мм (рис. 2, 3). Края балки обернуты руберойдом и заведены в стены на глубину 200-300мм. По балкам устроен настил пола из строганных шпунтованных 32х100. Снизу по боковой поверхности к балкам прикреплены черепные бруски 40х50мм. К ним с шагом 600-700мм с запилем на концах прикреплены бруски 60х80мм, к которым прикреплен дощатый накат из досок 32х100мм. Между балками на накате сделана

глинопесчаная смазка 20-30мм, поверх которой насыпан шлак вместе со строительным мусором. Снизу по дощатому накату (потолок 1-ого этажа) выполнена штукатурка по дранке.



Рис. 1 – Вскрытие перекрытие по деревянным балкам.



Рис. 2 – Деревянные балки, поперечные бруски, черепные бруски, накат.



Рис. 3 – Геометрические размеры деревянной балки.

В балках обнаружены продольные трещины по все длине шириной 10-15мм (рис. 3). В некоторых местах трещины сквозные, в результате чего произошло расслоение балки по высоте на два элемента. Визуально виден прогиб пола в помещениях.

Наличие трещин на боковых гранях деревянных поясов балок, обуславливает увеличение деформаций сдвига в зонах, непосредственно примыкающих к ослабленному трещинами продольному сечению, где действуют повышенные напряжения скалывания. В результате этого в балках появляются дополнительные напряжения, вызванные смещениями верхней половины элемента относительно нижней. Действительная работа

изгибаемого элемента с трещинами может рассматриваться в качестве промежуточной между двумя схемами работы всего элемента в целом на определенную часть нагрузки и работа двух ее половин - верхней и нижней на оставшуюся часть нагрузки. Здесь имеется аналогия с оценкой сдвига по швам составных элементов в случае податливых связей.



Рис. 4 – Продольные трещины деревянной балки.

Проверочный расчет был выполнен по [9], как балки на податливых связях с учетом ослабления сечения трещинами. Для расчетов были приняты следующие исходные данные: пролет балки 6100мм; расчетная схема – стержень с жестким защемлением концов; сечение балки 250x170мм; материал – сосна II сорта. Так как по всей длине балки имеются продольные трещины, то расчет велся как для балки на податливых связях.

## ВЫВОДЫ

Выполнено комплексное обследование объекта. Операции инструментальных измерений подтверждены контрольными вскрытиями всех ответственных конструктивных элементов. Установлена конструктивная схема и прочность материалов несущих конструкций. Полученные результаты выявили элементы и конструкции здания по уровню накопленных дефектов требующих демонтажа.

На момент обследования техническое состояние перекрытий по деревянным балкам квалифицируется как аварийное, так как существуют продольные трещины снижающие значительно несущую способность балок и имеются заметные прогибы перекрытия. По результатам проверочных расчетов нормальные напряжения превышают предельные значения на 9%.

По результатам выполненного обследования строительных конструкций здания рекомендуется - заменить перекрытие по деревянным балкам, выполнив перекрытие как жесткий горизонтальный диск и обеспечить совместную работу перекрытия со стенами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила обследования и мониторинга технического состояния : ГОСТ 319374-2011. –

Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартиформ, 2014. – 54 с. – (Межгосударственный стандарт).

2. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений : СП 13-102-2003. – Введ. 2003-08-21. – М. : Госстрой России, 2003. – 32 с. – (Свод правил).

3. Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования : ВСН 58-88(р). – Введ. 1989-07-01. – М. : Госстрой, 1990. – 25 с. – (Ведомственные строительные нормы).

4. Методика обследования железобетонных конструкций. Сб. // НИИЖБ Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1975. – Вып. 21. – С. 5–34.

5. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. – М. : ЦНИИПромзданий, 1989. – 111 с.

6. Рекомендации по обследованию и оценке качества с применением неразрушающих методов возводимых и эксплуатируемых конструкций/ НИИЖБ Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1987. – 98 с.

7. Бойко М. Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / Бойко М.Д. – Л. : Стройиздат, 1975. – 336 с.

8. Методические рекомендации по обследованию некоторых частей зданий (сооружений) и их конструкций / НИИСП. – Киев: Держбуд, 1998. – 35 с.

9. Деревянные конструкции : СП 64.13330.2017. – Введ. 2017-08-28. – М. : Минрегион России, 2017. – 87 с. – (Свод правил).

10. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* : СП 20.13330.2011. – Введ. 2011-05-20. – М. : Минрегион России, 2011. – 80 с. – (Свод правил).

11. Гузнецов В. Н. Компьютерное моделирование как основа геометро-графической подготовки в техническом университете / Гузнецов В. Н., Журбенко П. А. // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». – Симферополь, 2016. – Вып. 4. – С.64–65.

12. Морозова Е. В. Перспективные направления реконструкции зданий средней этажности с обеспечением заданного уровня сейсмостойкости / Морозова Е. В., Морозов В. В. // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». – Симферополь, 2016. – Вып. 4. – С.79–86.

Perminov D. A.

## RESULTS OF INSPECTION OF WOODEN BEAMS OF INTERFLOOR OVERLAPPING

**Annotation.** In article is considered technical condition of wooden beams of interfloor overlapping, by results of the executed inspection is analyzed. The reasons of emergence of defects are considered and calculation of the bearing ability of wooden beams of overlapping is executed.

**Key words:** wooden beam, inspection, technical condition, longitudinal cracks.



## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ

Перминов Д.А.

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

Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181

e-mail: dmitriy714@mail.ru

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

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

Основными преимуществами применения конструкций из замкнутых гнутых профилей, являются следующие:

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

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

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Сквозные строительные конструкции, стержни которых выполнены из замкнутых гнутых

профилей, принципиально ничем не отличаются от традиционных конструкций из горячекатаных профилей. Однако у них есть ряд особенностей, вытекающих из их геометрических характеристик и связанных прежде всего с их тонкостенностью.

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

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

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

В работе И. В. Левитанского и др. приведены результаты испытания узлов стропильной раскосной фермы, выполненных из замкнутых прямоугольных гнутых профилей с примыканием к поясу сжатого и растянутого раскосов К-образных узлам. Исследовались узлы с непосредственным примыканием раскосов к поясу и узлы с различными видами усиления, выполненными таким образом, чтобы передать нагрузку от раскосов на большую часть периметра сечения пояса в узле. Применение этих усилений увеличило несущую способность узлов в среднем на 15%

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

- 1) местное деформирование вертикальных стенок пояса;
- 2) разрушение раскоса по зоне примыкания к поясу.

Определены также основные факторы, влияющие на несущую способность узла:

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

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

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

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

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

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

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

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

Общие указания по конструированию узлов сводятся к следующему:

- 1) Для примыкающих профилей (диагонали, раскосы, ригели) следует выбирать наименьшую толщину стенки при большем периметре.
- 2) Для сквозных профилей (пояса, стойки) выгодна повышенная толщина стенки.
- 3) Угол примыкания должен быть не менее  $30^{\circ}$ .
- 4) Толщина стенок должна быть не менее 2.9 мм.
- 5) Отношение ширины примыкающего профиля к ширине стойки или пояса должно быть не менее 0.4.

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

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

Исследования коробчатых сечений посвящен ряд работ, в том числе работы Р.Де Бёра, К. Клёппеля и

др., Э.Рейсснера, Дж. Хаджи-Арджириса и Г.Л. Кокса, Дж. Хорсвилла, С.А. Ильясевича.

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

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

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

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

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

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

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

которых соответствуют местам установки вертикальных ребер.

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

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

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

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

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель заключается в исследовании напряженного состояния рамных узлов, выполненных из замкнутых гнутых профилей.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ

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

Таким образом, для проведения исследования были созданы численные модели узлов (рис. 1, 2). Узлы выполнялись при каждом типе поперечного сечения в нескольких вариантах конструктивного решения: Г-образные узлы, в которых сечение ригеля и стойки было одинаковым или близким к друг другу:

- с непосредственным примыканием одного стержня узла к другому;

- с соединением стержней в узле на “на ус” без усиления;

- с соединением “на ус” и усилением (диафрагмой или подкосом).

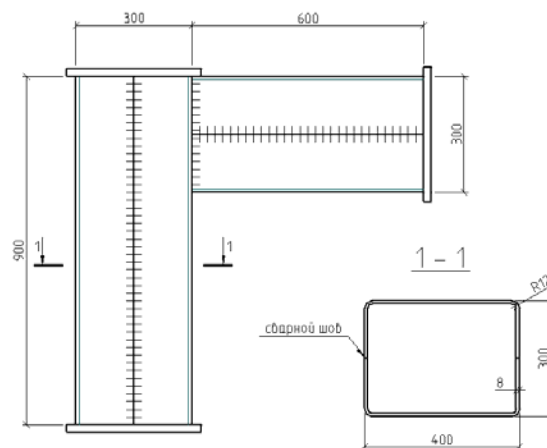


Рис. 1 – Узел №1.

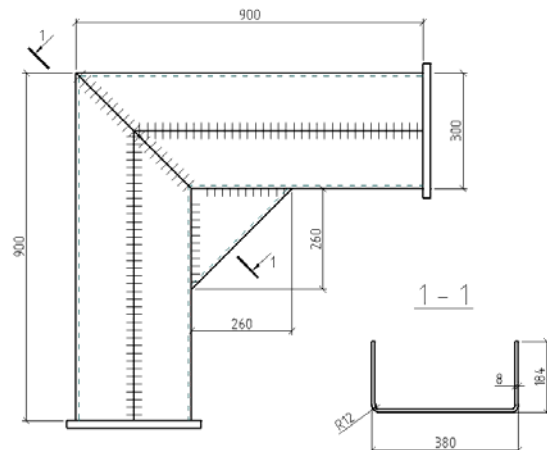


Рис. 2 – Узел 2

Отличительной особенностью узлов является то, что в узле №2 был установлен подкрепляющий элемент в виде гнутого швеллера с высотой стенки 380мм, с полками, вырезанными в виде прямоугольных треугольников с длиной катета 260мм, прямые углы которого входили во внутренний угол Г-образного рамного узла.

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

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

Ниже приводятся данные о распределении продольных напряжений в наиболее напряженных

сечениях узла (рис. 3 -:- 10).

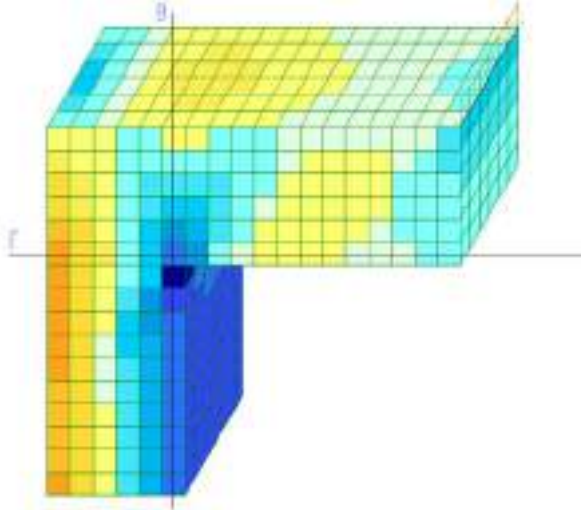


Рис. 3 – Мозаика распределение напряжений  $\sigma_x$  в узле №1

Концентрация напряжений происходит у входящего угла (пересечения линий А-Б и В-Г). При этом продольные напряжения по линиям А и В имеют большую величину, чем соответствующие по линиям Б и Г. Объясняется особенностями работы поперечного сечения стойки в месте примыкания ригеля меньшей ширины (по линиям А и Б в соседних точках на ригеле и стойке значения напряжений имеют сначала одинаковый порядок цифр, а затем разница все

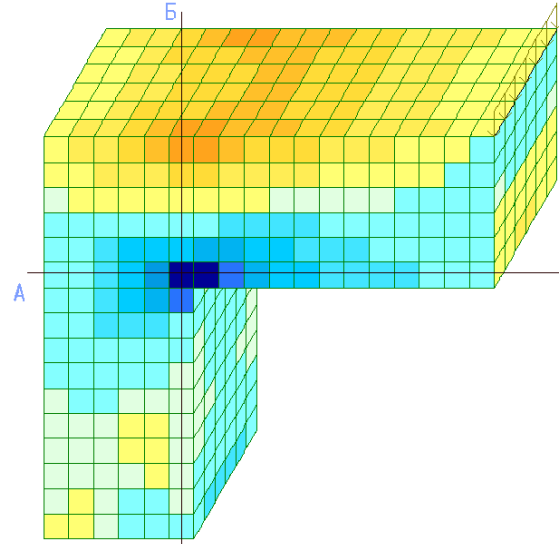


Рис. 4 – Мозаика распределение напряжений  $\sigma_y$  в узле №1

увеличивается). Пики напряжений по линиям А и Г локализируются до нуля очень быстро (на длине 10-12 см). Пики по линиям Б и В, локализируются на длине 18-20 см. В поперечном направлении (от линии А вверх и т.п.) пики локализируются почти по всей ширине пластинки (от линии А до внешней пластинки ригеля и от В к внешней пластинке стойки переходят за ноль, от Б к внешней пластинке и от Г к внешней пластинке ригеля напряжения немного не доходят до нуля).

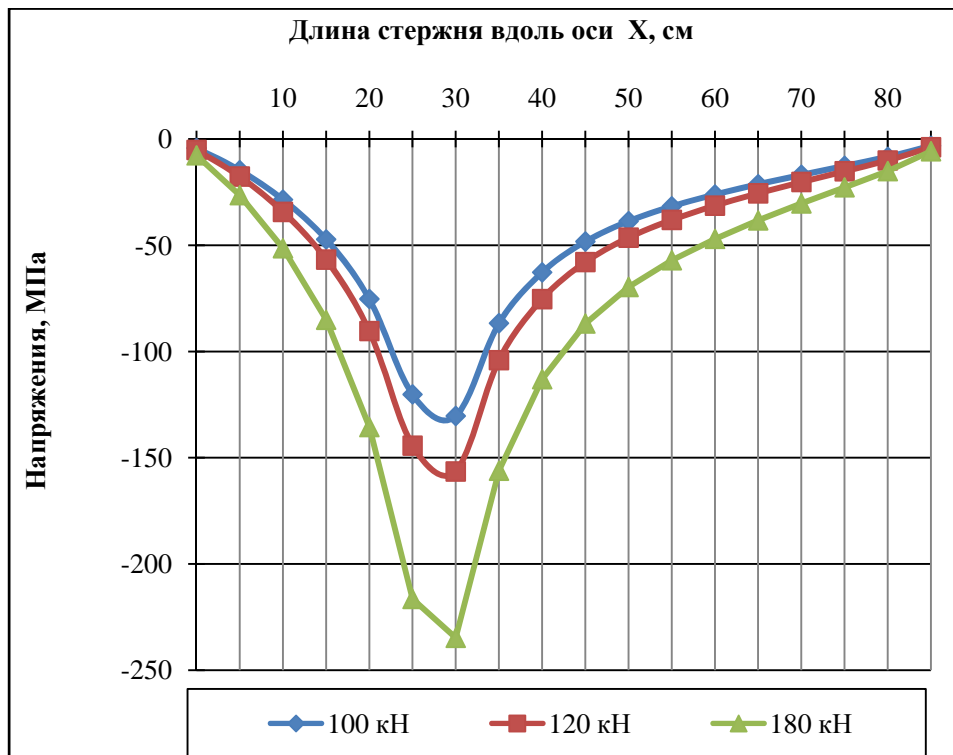


Рис. 5 - Эпюра распределения напряжений  $\sigma_x$  узле №1

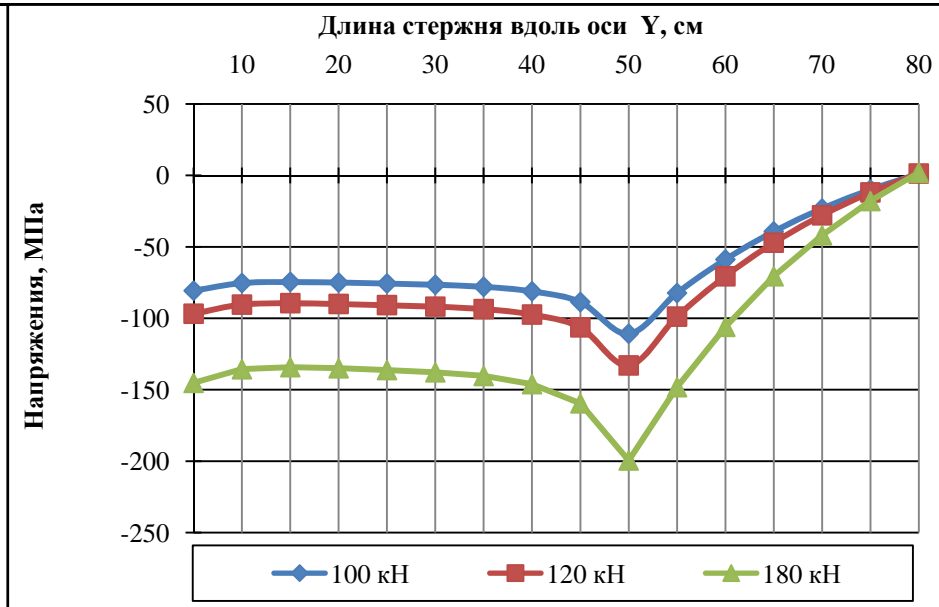


Рис. 6 – Эпюры распределения напряжений  $\sigma_y$  в узле №1

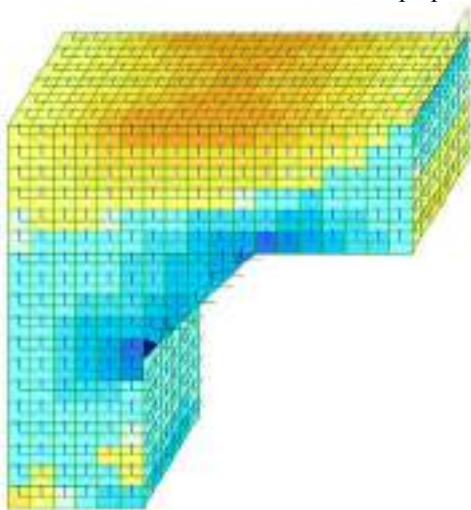


Рис. 7 – Мозаика распределение напряжений  $\sigma_x$  в узле №2

У узлов с подкосами пик расположен у внутреннего входа входящего угла, однако он меньше по величине, чем у узлов без подкоса, и около пика есть «уступ» напряжений, протяженный по стороне подкоса. В сторону стыка пик

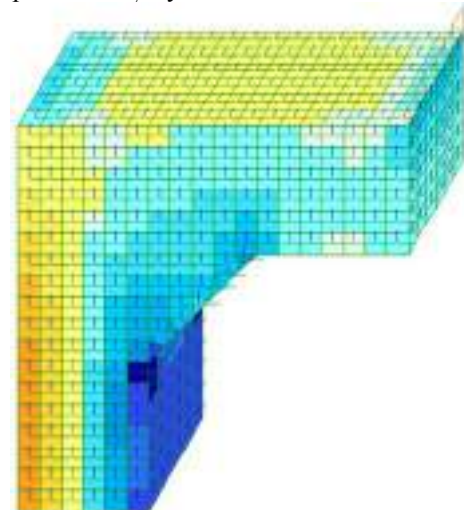


Рис. 8 – Мозаика распределение напряжений  $\sigma_y$  в узле №2

локализуется на длине 5-10 см, в сторону ригеля или стойки на длину подкоса. Поперек локализуются на половине ширины пластинки (15 см).

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

Таблица 1.

Сводная таблица расположения пиков продольных нормальных напряжений в узлах

№ Узла	Место расположения пика напряжений	Локализация пика напряжений по периметру сечения элемента узла	Локализация пика напряжений вдоль по пластинке	Примечание
Узел №1	У входящего узла	30 см-по всей ширине боковой пластинки	10-12 см вдоль ригеля, 18-20 см вдоль стойки	
Узел №2	У входящего узла с уступом вдоль подкоса	15 см-половина ширина пластинки	5-10 см (в сторону стыка)+26 см (длина подкоса)	

Из таблицы 1 видно следующее:

1). У Г-образных узлов прямоугольного полого сечения с соединением “на ус”, без усиления, самым напряженным местом является внутренний входящий угол.

2). Применение подкосов в Г-образных узлах снижает концентрацию напряжений, распространяя напряжения вдоль подкоса.

Рассмотрение полученных экспериментальных данных показывает, что градиенты концентрации напряжений по горизонтальной и вертикальной осям имеют у Г-образных узлов один порядок величин,

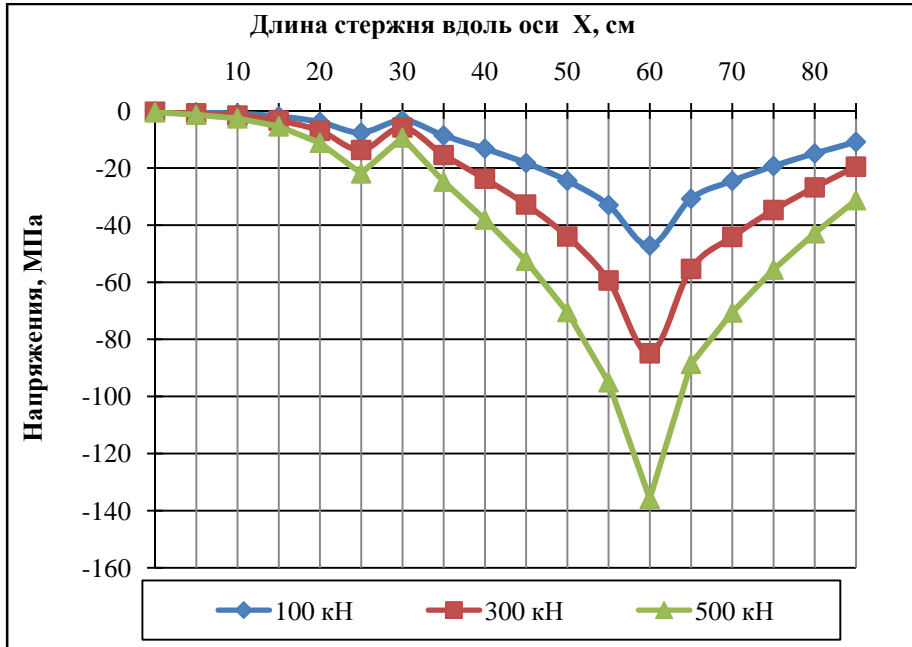


Рис. 9 - Эпюра распределения напряжений  $\sigma_x$  узле №2

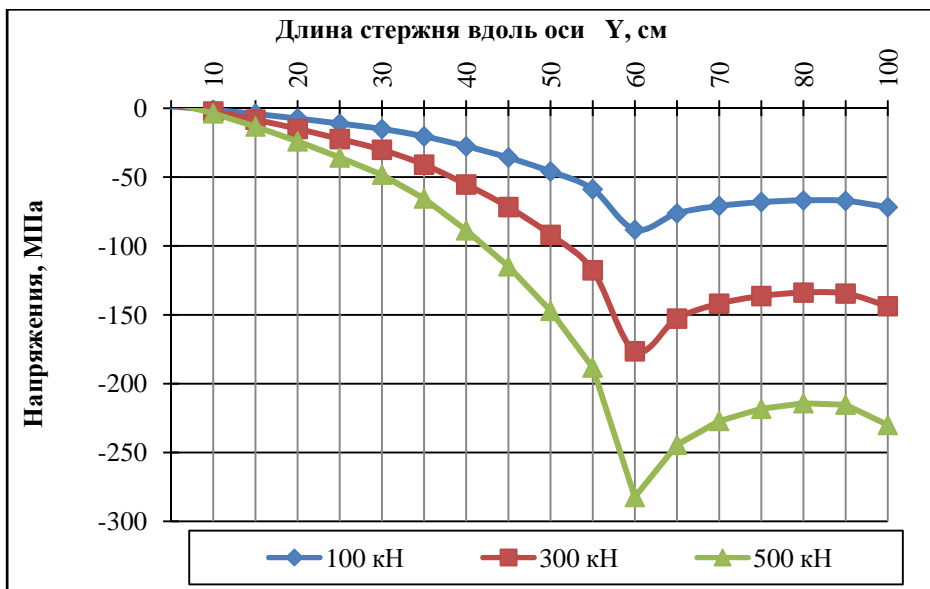


Рис. 10 – Эпюра распределения напряжений  $\sigma_y$  в узле №2

### ВЫВОДЫ

Характер разрушения узлов следующий. Деформация узла №1 заключалась во вдавливании элемента с меньшим поперечным сечением в сквозной элемент.

В узле №2, отличающегося от узла №1 наличием подкосов, характер деформации имеет много общего с деформациями узла №1, но зона выпучивания растянута вдоль подкоса.

так, рассмотрение характера разрушения рамных узлов дает возможность сделать следующие выводы:

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

2). Потеря местной устойчивости произошла в узлах №1, 2. Потеряла устойчивости пластинка стыка и примыкающие к ней участки других пластинок.

Исследования узлов позволили оценить эффективность усиления узлов различными конструктивными элементами или их сочетаниями (подкосами открытого или замкнутого сечения, выполнением непосредственного примыкания ригеля к неослабленной вырезом стойке, диафрагмой, двумя подкосами, сочетанием подкоса с диафрагмой).

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

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ажермачев Г. А. Конструктивное решение рамного узла, обеспечивающее снижение влияния концентраторов напряжений / Г. А. Ажермачев, Д. А. Перминов // *Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. – Symferopol-Lublin : 2009. – Том 11А. – С. 94–100.
2. Ажермачев Г. А. Экспериментальное исследование узловых соединений рамных каркасов / Г. А. Ажермачев, Г. М. Остриков // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. – 1972. – № 9. – С. 2–6.
3. Перминов Д. А. Численные исследования узлов стальных каркасов / Д. А. Перминов, Е. Г. Перминова // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов*. – Дн-вск : ПГАСА, 2012. – Вып. 65. – С.441–445.
4. Лира 9.4. Примеры расчета и проектирования : Учебное пособие / [Боговис В. Е., Гензерский Ю. В.,

Гераймович Ю. Д. и др.]. – Киев: Факт, 2008. – 280 с.

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

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

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

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

9. Гузнецов В. Н. Компьютерное моделирование как основа геометро-графической подготовки в техническом университете / Гузнецов В. Н., Журбенко П. А. // *Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»*. – Симферополь, 2016. – Вып. 4. – С.64–65.

10. Морозова Е. В. Перспективные направления реконструкции зданий средней этажности с обеспечением заданного уровня сейсмостойкости / Морозова Е. В., Морозов В. В. // *Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов АСА ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»*. – Симферополь, 2016. – Вып. 4. – С.79–86.

11. Линченко Ю. П. Методики численного моделирования несущих систем зданий в сейсмических районах на программном комплексе «Ли́ра» / Ю. П. Линченко, В. А. Белавский, М. В. Васильев [и др.] // *Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць*. – Київ : НДІБК, 2006. – Вып. 64. – С. 727–730.

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

Perminov D. A.

### RESEARCH OF TENSION OF KNOTS FROM BENT PROFILES OF THE CLOSED SECTION

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

**Key words:** frame knots, the closed bent profile, tension, a strut.



## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ И ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

Чепурненко А.С., Сайбель А.В.\*

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»  
Адрес: г. Ростов-на-Дону, Социалистическая, 162  
E-mail: angelica\_70@mail.ru\*

**Аннотация.** В работе приводится вывод разрешающих уравнений для реологического расчета железобетонных плит и пологих оболочек. Для бетона принимается вязкоупругая реологическая модель, в соответствии с которой полные деформации представляют сумму упругих деформаций и деформаций ползучести. Задача сводится к системе из двух дифференциальных уравнений, которая решается численно методом конечных разностей. Приведен пример расчета прямоугольной в плане полой оболочки в форме эллиптического параболоида.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, пластины и пологие оболочки, ползучесть, численные методы.

### ВВЕДЕНИЕ

Тонкостенные пространственные конструкции в виде пологих оболочек и пластин относятся к наиболее прогрессивным видам строительных конструкций, которые совмещают в себе несущие и ограждающие функции и при этом способны перекрывать большие пролеты. Исследование напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек часто связано с большими математическими трудностями.

Трудность расчета резко возрастает при учете физической нелинейности материала. Физическую нелинейность можно условно разделить на мгновенную, обусловленную нелинейной зависимостью между напряжениями и деформациями при кратковременном воздействии, а также проявляющуюся во времени (явление ползучести). Ползучесть характерна практически для всех строительных материалов, включая дерево, бетоны, полимербетоны, пластмассы и металлы при высоких температурах. Влияние ползучести на напряженно-деформированное состояние строительных конструкций носит неоднозначный характер. С одной стороны – это значительное увеличение перемещений, потеря предварительных напряжений в железобетонных конструкциях. С другой стороны, при ползучести возможно перераспределение и снижение напряжений, уменьшение ширины раскрытия трещин и т.д. Поэтому совершенствование методов расчета конструкций и их элементов с учетом фактора времени относится к одному из приоритетных направлений строительной механики.

### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам расчета пластин и оболочек посвящено большое количество публикаций, в том числе [1-12]. В указанных работах авторы ограничиваются упругой стадией работы конструкции.

В работе [13] приводятся математические модели деформирования изотропных и ортотропных ребристых оболочек с учетом ползучести материала, а также геометрической нелинейности. В качестве закона деформирования используется линейная теория наследственности. В статье [14] приводятся разрешающие уравнения для расчета пологих железобетонных оболочек и пластин в условиях термоползучести. В основу также положена линейная теория наследственности.

В статьях [15-16] рассматриваются вопросы расчета с учетом ползучести полимерных пластин и оболочек.

В большинстве случаев исследователи ограничиваются каким-то конкретным уравнением связи между деформациями ползучести и напряжениями. Существует необходимость в универсальной методике расчета, подходящей для произвольных законов ползучести.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Элемент рассматриваемой полой железобетонной оболочки показан на рис. 1. Изгибающие моменты и продольные силы представляют сумму усилий, воспринимаемых бетоном и арматурой:

$$\begin{aligned} M_x &= M_{bx} + M_{sx}; & M_y &= M_{by} + M_{sy}; \\ N_x &= N_{bx} + N_{sx}; & N_y &= N_{by} + N_{sy}. \end{aligned} \quad (1)$$

Крутящие моменты  $H$  и сдвигающие силы  $S$  полностью воспринимаются бетоном. Уравнения равновесия полой оболочки имеют вид [17]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} &= 0; & \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} - k_x N_x - k_y N_y + q &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $k_x$  и  $k_y$  – главные кривизны оболочки.

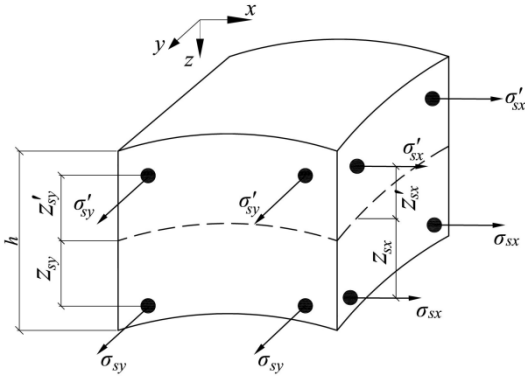


Рис. 1. Элемент пологой оболочки

Первые два уравнения в (2) могут быть удовлетворены, если ввести функцию напряжений  $\Phi$  по формулам:

$$N_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}; \quad N_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}; \quad S = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}. \quad (3)$$

Деформации бетона представляют сумму деформаций срединной поверхности и деформаций, вызванных изменением кривизны:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{bx} &= \varepsilon_x^0 + z\chi_x; & \varepsilon_{by} &= \varepsilon_y^0 + z\chi_y; \\ \gamma_{bxy} &= \gamma^0 + 2z\chi_{xy}. \end{aligned} \quad (4)$$

Изменения кривизн пологой оболочки определяются по формулам:

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \chi_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (5)$$

Связь между напряжениями и деформациями в бетоне с учетом ползучести запишется в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{bx} &= \frac{E_b}{1-\nu^2} (\varepsilon_{bx} + \nu\varepsilon_{by} - (\varepsilon_{bx}^* + \nu\varepsilon_{by}^*)); \\ \sigma_{by} &= \frac{E_b}{1-\nu^2} (\varepsilon_{by} + \nu\varepsilon_{bx} - (\varepsilon_{by}^* + \nu\varepsilon_{bx}^*)); \\ \tau_{bxy} &= \frac{E_b}{2(1+\nu)} (\gamma_{bxy} - \gamma_{bxy}^*), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\varepsilon_{bx}^*$ ,  $\varepsilon_{by}^*$ ,  $\gamma_{bxy}^*$  – деформации ползучести.

Внутренние усилия, воспринимаемые бетоном, вычисляются следующим образом:

$$M_{bx} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{bx} z dz = -D_b \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - M_x^*;$$

$$M_{by} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{by} z dz = -D_b \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) - M_y^*;$$

$$H = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{bxy} z dz = -D_b (1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - H^*;$$

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{bx} dz = \frac{E_b h}{1-\nu^2} (\varepsilon_x^0 + \nu\varepsilon_y^0) - N_x^*;$$

$$N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{by} dz = \frac{E_b h}{1-\nu^2} (\varepsilon_y^0 + \nu\varepsilon_x^0) - N_y^*;$$

$$S = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{bxy} dz = \frac{E_b h}{2(1+\nu)} \gamma^0 - S^*;$$

где  $D_b = E_b h^3 / (12(1-\nu^2))$ ,

$$M_x^* = \frac{E_b}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\varepsilon_x^* + \nu\varepsilon_y^*) z dz,$$

$$M_y^* = \frac{E_b}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\varepsilon_y^* + \nu\varepsilon_x^*) z dz,$$

$$N_x^* = \frac{E_b}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\varepsilon_x^* + \nu\varepsilon_y^*) dz,$$

$$N_y^* = \frac{E_b}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\varepsilon_y^* + \nu\varepsilon_x^*) dz,$$

$$H^* = \frac{E_b}{2(1+\nu)} \int_{-h/2}^{h/2} \gamma_{bxy}^* z dz, \quad S^* = \frac{E_b}{2(1+\nu)} \int_{-h/2}^{h/2} \gamma_{bxy}^* dz.$$

Деформации арматуры определяются из условий совместной ее работы с бетоном:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sx} &= \varepsilon_x^0 + z_{sx}\chi_x; & \varepsilon_{sy} &= \varepsilon_y^0 + z_{sy}\chi_y; \\ \varepsilon'_{sx} &= \varepsilon_x^0 - z'_{sx}\chi_x; & \varepsilon'_{sy} &= \varepsilon_y^0 - z'_{sy}\chi_y. \end{aligned} \quad (8)$$

Внутренние усилия, воспринимаемые арматурой, записываются в виде:

$$M_{sx} = \sigma_{sx} \mu_{sx} h z_{sx} - \sigma'_{sx} \mu'_{sx} h z'_{sx};$$

$$M_{sy} = \sigma_{sy} \mu_{sy} h z_{sy} - \sigma'_{sy} \mu'_{sy} h z'_{sy};$$

$$N_{sx} = h(\sigma_{sx} \mu_{sx} + \sigma'_{sx} \mu'_{sx}); \quad N_{sy} = h(\sigma_{sy} \mu_{sy} + \sigma'_{sy} \mu'_{sy}),$$

где  $\mu_{sx(y)}$ ,  $\mu'_{sx(y)}$  – коэффициенты армирования.

В случае симметричного армирования ( $\mu_{sx} = \mu'_{sx}$ ,  $\mu_{sy} = \mu'_{sy}$ ,  $z_{sx} = z'_{sx}$ ,  $z_{sy} = z'_{sy}$ ):

$$\begin{aligned} M_{sx} &= 2E_s h \mu_{sx} z_{sx}^2 \chi_x = D_{sx} \chi_x; \\ M_{sy} &= 2E_s h \mu_{sy} z_{sy}^2 \chi_y = D_{sy} \chi_y. \end{aligned} \quad (9)$$

Полные изгибающие моменты запишутся в виде:

$$\begin{aligned} M_x &= -D_1 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - M_{bx}^*; \\ M_y &= -D_2 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) - M_{by}^*, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $D_1 = D_b + D_{sx}$ ,  $D_2 = D_b + D_{sy}$ ,  $\nu_2 = D_b \nu / D_1$ ,

$$\nu_1 = D_b \nu / D_2.$$

Подставляя (10), а также выражение для крутящего момента из (7) в третье уравнение равновесия в (2), получим первое разрешающее уравнение:

$$\begin{aligned} D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + k_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \\ + k_y \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = q - \left( \frac{\partial^2 M_x^*}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H^*}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y^*}{\partial y^2} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $D_3 = (D_1 \nu_2 + D_2 \nu_1) / 2 + 2D_k$ ,  $D_k = \frac{E_b h^3}{24(1+\nu)}$ .

Деформации срединной поверхности выражаются через внутренние усилия следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^0 &= \frac{1}{E_1 h} (N_x + N_x^*) - \frac{\tilde{\nu}_2}{E_2 h} (N_y + N_y^*); \\ \varepsilon_y^0 &= \frac{1}{E_2 h} (N_y + N_y^*) - \frac{\tilde{\nu}_1}{E_1 h} (N_x + N_x^*); \\ \gamma^0 &= \frac{S + S^*}{G_b h}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $G_b = E_b / (2(1+\nu))$ ,

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{E_b}{1-\nu^2} \left( 1 - \frac{\nu^2 E_b}{E_b + (1-\nu^2) E_s (\mu_{sy} + \mu'_{sy})} \right) + \\ &\quad + E_s (\mu_{sx} + \mu'_{sx}), \\ E_2 &= \frac{E_b}{1-\nu^2} \left( 1 - \frac{\nu^2 E_b}{E_b + (1-\nu^2) E_s (\mu_{sx} + \mu'_{sx})} \right) + \end{aligned}$$

$$+ E_s (\mu_{sy} + \mu'_{sy}),$$

$$\tilde{\nu}_1 = \frac{\nu E_1 E_b}{E_2 (E_b + (1-\nu^2) E_s (\mu_{sx} + \mu'_{sx}))},$$

$$\tilde{\nu}_2 = \frac{\nu E_2 E_b}{E_1 (E_b + (1-\nu^2) E_s (\mu_{sy} + \mu'_{sy}))}.$$

Для деформаций срединной поверхности справедливо уравнение совместности деформаций:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y^0}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma^0}{\partial x \partial y} + k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (13)$$

Подставляя (12) в (13) с учетом (3), получим второе разрешающее уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{1}{h} \left( \frac{1}{E_2} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} \left( \frac{1}{G} - \frac{\tilde{\nu}_2}{E_2} - \frac{\tilde{\nu}_1}{E_1} \right) + \frac{1}{E_1} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} \right) - \\ - k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{1}{h} \left( \frac{1}{G} \frac{\partial^2 S^*}{\partial x \partial y} - \frac{1}{E_1} \frac{\partial^2 N_x^*}{\partial y^2} + \right. \\ \left. + \frac{\tilde{\nu}_2}{E_2} \frac{\partial^2 N_y^*}{\partial y^2} - \frac{1}{E_2} \frac{\partial^2 N_y^*}{\partial x^2} + \frac{\tilde{\nu}_1}{E_1} \frac{\partial^2 N_x^*}{\partial x^2} \right). \end{aligned}$$

Таким образом, задача расчета пологой железобетонной оболочки свелась к системе из двух дифференциальных уравнений четвертого порядка относительно прогиба и функции напряжений. В частном случае при  $k_x = k_y = 0$  получим уравнения для плиты.

Решение данной системы выполнялось методом конечных разностей. Для определения деформаций ползучести вводилась равномерная сетка по времени. На первом шаге решалась упругая задача, по напряжениям вычислялись скорости роста деформаций ползучести. Далее деформации ползучести на следующем шаге определялись по известным значениям предыдущего шага при помощи метода Эйлера.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Был выполнен расчет прямоугольной в плане пологой оболочки, поверхность которой представляет эллиптический параболоид (рис. 2). Уравнение этой поверхности имеет вид:

$$z = f \left[ \frac{f_1}{f} \left( 2 \frac{x}{a} - 1 \right)^2 + \frac{f_2}{f} \left( 2 \frac{y}{b} - 1 \right)^2 - 1 \right], \quad (14)$$

где  $f = f_1 + f_2$  – стрела подъема оболочки.

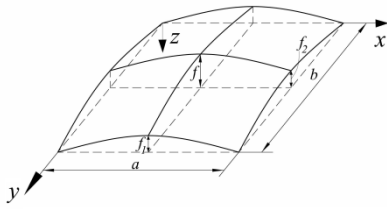


Рис. 2. Пологая оболочка

При расчете принимали, что по краям оболочка соединена с диафрагмами, абсолютно жесткими в их плоскости и гибкими из нее. В качестве закона ползучести принималось уравнение вязкоупругой модели наследственного старения бетона [18], имеющее вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t \sigma(\tau) \frac{\partial C(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau, \quad (15)$$

где  $C(t, \tau)$  – мера ползучести, имеющая вид:

$$C(t, \tau) = C \frac{e^{\alpha t} - e^{\alpha \tau}}{e^{\alpha t} - 1} + B(e^{-\gamma \tau} - e^{-\gamma t}).$$

Данное уравнение записано для одноосного напряженного состояния. Переход к плоскому напряженному состоянию выполняется на основе принципа суперпозиции. Далее интегральное уравнение представляется в дифференциальной форме.

Расчет выполнялся при  $h = 15$  см,  $q = 10$  кПа,  $a = 4$  м,  $b = 6$  м,  $E_b = 2 \cdot 10^4$  МПа,  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu = 0.2$ ,  $\alpha = 0.032$  сут<sup>-1</sup>,  $\gamma = 0.062$  сут<sup>-1</sup>,  $C = 3.77 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/кН,  $B = 5.68 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/кН,  $\mu_{sx} = 0.005$ ,  $\mu_{sy} = 0.007$ .

На рис. 3 показан полученный в результате график роста максимальной величины прогиба. Прогиб в процессе ползучести вырос в 1.62 раза.

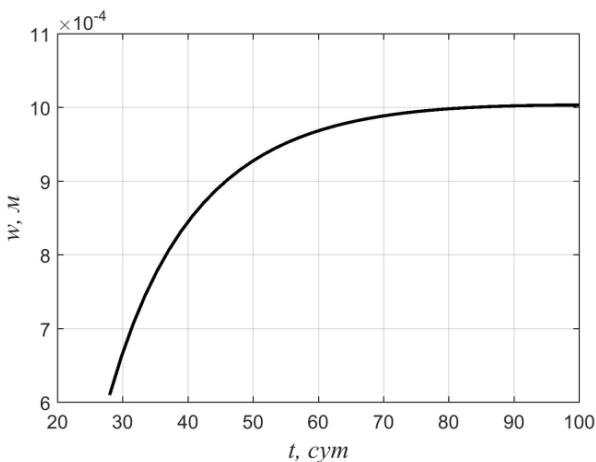


Рис. 3. График роста прогиба

На рис. 4 приведен график изменения напряжений  $\sigma_{bx}$  в центре оболочки у верхней поверхности. Знаку «+» на данном графике

соответствует сжатие. Рис. 5 показывает изменение во времени максимальных растягивающих напряжений  $\sigma_{sx}$  в арматуре. Из представленных графиков видно, что в процессе ползучести происходит существенное перераспределение напряжений между арматурой и бетоном. В бетоне напряжения снизились в 2.7 раз, а в арматуре выросли в 4.9 раз.

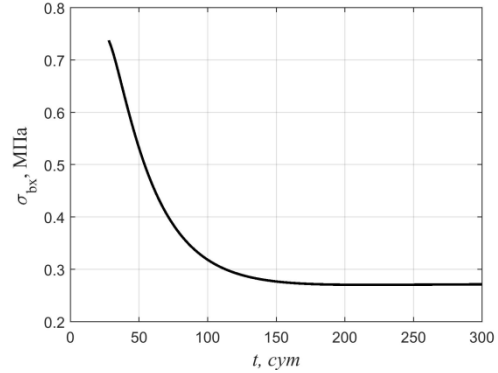


Рис. 4. Изменение напряжений  $\sigma_{bx}$  в центре оболочки у верхней поверхности

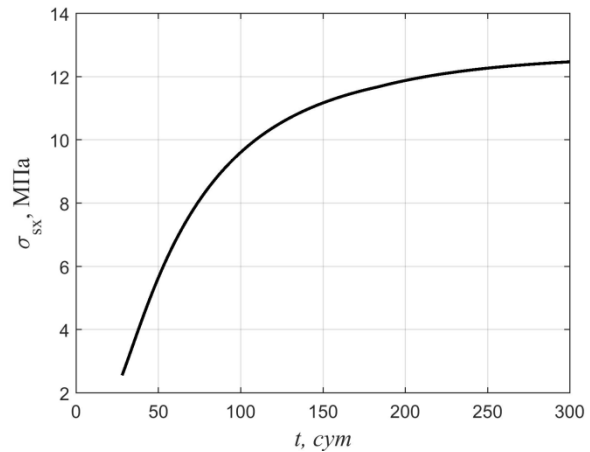


Рис. 5. Изменение максимальных растягивающих напряжений в арматуре

## ВЫВОДЫ

Получена система из двух дифференциальных уравнений относительно прогиба и функции напряжений для расчета с учетом ползучести бетона железобетонных плит и пологих оболочек. Данные уравнения универсальны и позволяют использовать произвольный закон ползучести. Исследовано напряженно-деформированное состояние пологой прямоугольной в плане оболочки в форме эллиптического параболоида при ползучести. Установлено, что в процессе ползучести происходит существенное перераспределение напряжений между арматурой и бетоном: в бетоне напряжения убывают, а в арматуре возрастают.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калафатов, Д.А. Результаты исследований численных моделей двухслойных железобетонных плитных фундаментов каркасных зданий / Д.А. Калафатов // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – № 4 (56). – С. 66-69.
2. 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.
3. Чемодуров, В.Т. Оценка прочности цилиндрических баков с жидким наполнителем при динамических нагрузках / В. Т. Чемодуров, Ю.С. Кузьмина // Строительство и техногенная безопасность. – 2016. – № 2 (54). – С. 31-34.
4. Калафатов, Д.А. Планирование экспериментальных исследований работы двухслойных железобетонных плитных фундаментов / Д.А. Калафатов // Строительство и техногенная безопасность. – 2014. – № 50. – С. 94-99.
5. 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.
6. 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.
7. Чемодуров, В.Т. Расчет многослойной пластины с приведенной жесткостью / В.Т. Чемодуров, П.М. Канцеров // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 42. – С. 18-25.
8. 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.
9. Чемодуров, В.Т. Выбор параметров многослойной пластины методом случайного поиска / В. Т. Чемодуров, М.С. Сейтжелилов // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 42. – С. 31-36.
10. Трегунова, И.А. Выбор систем координат при численном описании конечно-элементной модели оболочки // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 41. – С. 222-224.
11. 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.
12. 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.
13. Жгутов, В. М. Математические модели деформирования ортотропных и изотропных ребристых оболочек при учете ползучести материала/ В.М. Жгутов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – №. 7. – С. 46-54.
14. Тамразян, А.Г. Термоползучесть пологих железобетонных оболочек и плоских пластин при высоких температурах / А.Г. Тамразян, А.С. Кожанова // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 10. – С. 15-20.
15. Андреев В.И. Расчет трехслойной пологой оболочки с учетом ползучести среднего слоя / В.И. Андреев, Б.М. Языев, А.С. Чепурненко, С.В. Литвинов // Вестник МГСУ. – 2015. – № 7. – С. 17-24.
16. Языев, Б.М. Расчёт трёхслойной пластинки методом конечных элементов с учётом ползучести среднего слоя / Б.М. Языев, А.С. Чепурненко, С.В. Литвинов, С.Б. Языев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2014. – Т. 33. – № 2. – С. 47-55.
17. Mailyan, L.R. Calculation of shallow polymer shell taking the creep into account / L. R. Mailyan, A.S. Chepurnenko, S. V. Yazyev, B. M. Yazyev // MATEC Web of Conferences. – 2017. – № 106. – Режим доступа: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/mateconf\\_spbw2017\\_04010/mateconf\\_spbw2017\\_04010.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/mateconf_spbw2017_04010/mateconf_spbw2017_04010.html)
18. Тамразян, А.Г. Механика ползучести бетона: монография/ А.Г. Тамразян, С. Г. Есян. – Москва: МГСУ, 2012. – 490 с.

Chepurenko, A. S., Saybel A.V.

## CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE PLATES AND SHELTER SHELLS WITH THE ACCOUNT OF CREATURE OF CONCRETE

**Annotation.** In the work the derivation of the resolving equations for rheological calculation of reinforced concrete slabs and sloping shells is given. For concrete, a viscoelastic rheological model is adopted, in accordance with which the total deformations represent the sum of elastic deformations and creep strains. The problem is reduced to a system of two differential equations, which is solved numerically by the method of finite differences. An example is given of calculating a rectangular, planar shell in the form of an elliptical paraboloid.

**Key words:** reinforced concrete structures, plates and gently sloping shells, creep, numerical methods



## АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ КРЫМА С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

Николенко И.В., Крымов Р.С., Жилин К.А.

Академия строительства и архитектуры  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181.  
e-mail: nikoshi@mail.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ методов исследования показателей надежности трубопроводных сетей систем водоснабжения. Рассмотрена методология восстановления и реконструкции трубопроводных сетей систем водоснабжения в городах Крыма на примере Симферополя и Алушты. Выполнен анализ отказов трубопроводных сетей систем водоснабжения этих городов. Предложено для обоснования параметров реконструкции выполнять увязку гидравлических и технологических параметров с применением геоинформационной системы «Zulu». Выполнен анализ полученных результатов и даны предложения по обоснованию параметров реконструкции трубопроводных сетей систем водоснабжения для рассмотренных городов Крыма.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, водопроводная сеть, надежность, экологическая безопасность, дефект, геоинформационная система.

### ВВЕДЕНИЕ

Важными элементами жизнеобеспечения человека являются качество воды и устойчивая работа систем водоснабжения. Вопросы доступа к источникам питьевой воды и недопущения ее дефицита становятся актуальными в настоящее время из-за ограниченности мировых запасов пресной воды. Поэтому в XXI веке вода превращается в стратегический сырьевой ресурс, а задачи безопасной транспортировки, распределения очистки питьевой и сточных вод все больше становятся приоритетными задачами общества, так как напрямую связаны с жизнью и здоровьем людей, качеством и комфортабельностью условий проживания населения.

Рациональное использование водных ресурсов требует анализа всех элементов систем водоснабжения и водоотведения (СВВ) и на его основе принятия эффективных решений, как по использованию качественной воды, так, и по недопущению ее дефицита. СВВ являются одними из наиболее капиталоемких коммунальных служб современного населенного пункта. Объективные и субъективные причины привели к кризисному состоянию коммунального хозяйства, в том числе СВВ за счет физического и морального износа большинства инженерных систем, сооружений и оборудования.

Надежная работа и экологическая безопасность СВВ населенных пунктов обеспечивается различными методами предупреждения старения и ликвидации выхода из строя трубопроводов, а также устранения и локализации последствий их проявления. Особую актуальность эти проблемы имеют для курортных городов России, так как существенно влияют на условия экологического равновесия зон рекреации, могут отрицательно воздействовать на здоровье людей и окружающую среду, что в целом будет оказывать негативное

влияние на социально-экономическую обстановку в таких населенных пунктах.

Поэтому создание научно-обоснованной методологии прогнозирования реконструкции водопроводных сетей на основе информации об их текущем состоянии с учетом возможностей компьютерного моделирования условий работы, является актуальной задачей для обеспечения экологической безопасности и надежности СВВ.

### ОБЗОР МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высокая степень изношенности действующих водопроводных сетей является одним из источников угроз для экономического, экологического и социального развития современного города. Проблема обеспечения надежности при эксплуатации трубопроводов СВВ является наиболее сложной, решение которой достигается на стыке многих научно-технических дисциплин и учета множества факторов, влияние которых можно только оценивать.

Вопросы исследования надежности СВВ рассматривались во многих работах отечественных и зарубежных авторов. Н.Н.Абрамовым были проведены первые отечественные фундаментальные исследования по проблеме надежности систем водоснабжения, в которых впервые они были определены, а также сформулированы основные задачи и рассмотрены пути их решения [1]. В работах Ильина Ю.А. наиболее полно отражены вопросы надежности систем водоснабжения, в которых представлены пути решения проблем надежности систем и сооружений водоснабжения, решаемые на основе теории надежности сложных технических систем, а также обоснована формулировка требований к надежности подачи воды [2,3]. В этих работах приведена классификация и изложены способы определения показателей безотказности и ремонтпригодности

водопроводного оборудования по результатам их эксплуатации в системах и специальных испытаний на надежность. Для учета показателей надежности были рассмотрены методы определения производительности системы водоснабжения с учетом показателей безотказности и ремонтпригодности оборудования, входящего в их состав. В последнее время были представлены работы, направленные на использование методов теории и практики надежности сложных технических систем для разработки стратегии восстановления водопроводных сетей, на основе вероятностного подхода к описанию процесса старения и обновления трубопроводов [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

На основе сбора и обработки обширного статистического материала по функционированию и эксплуатации трубопроводов и оборудования водопроводной и водоотводящей сети города Москвы в работах С.В. Храменкова, О.Г. Примина, В.А. Орлова и Е.В. Орлова разработаны научно обоснованные методы оценки и обеспечения надежности и экологической безопасности городских сетей СВВ [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. В работах О.Г. Примина для прогноза объемов восстановления и обновления городской водопроводной сети предложены модели когортного выживания, согласно которой потребность в восстановлении и обновлении трубопроводов определяется общей протяженностью водопроводной сети города, чей полезный срок службы заканчивается в конкретно взятом году, а также математические модели старения и восстановления трубопроводов с оценкой сроков их полезной службы и ее реализации в виде стратегии планирования восстановления и обновления трубопроводов.

В работах Орлова А.В. рассмотрены вопросы системного подхода к поэтапному решению тактических и оптимизационных задач реновации водопроводных и водоотводящих сетей на основе оценки влияния факторов, дестабилизирующих их работу, ранжирования и составления математических моделей. На основе проведенных исследований был предложен универсальный вариант увязки гидравлических и технологических параметров. Универсальный вариант увязки дестабилизирующих факторов представлен в методике оценки технической уязвимости участков напорной сети, который выполняется на основе анализа внешних дестабилизирующих факторов и элементов их состояния, а также результатов комплексного мониторинга показателей, влияющих на состояние и эффективность работы трубопроводов.

Разработка физической и математической моделей работы трубопроводов представлена в статьях Орлова Е.В. на основе выявления и обоснования преобладающих дестабилизирующих факторов для условий МГУП «Мосводоканал» с определением функциональных зависимостей между ними в единой системе воздействия на

стальной трубопровод. Применение этих моделей позволяет разрабатывать мероприятия по оптимальному планированию восстановления водопроводных с водоотводящих трубопроводов на базе рейтинговой значимости отдельных дестабилизирующих факторов. На основе проведенных исследований Орловым Е.В. был предложен универсальный вариант увязки гидравлических и технологических параметров.

Потеря работоспособности трубопроводов и арматуры в СВВ, а прежде всего нарушение герметичности приводит к следующим последствиям:

- в системах водоснабжения к потерям питьевой воды при ее транспортировании и распределении, которые в городских сетях могут достигать 30% и более, из-за этого непродуктивные потери электроэнергии составляют не менее 25%, оказывается негативное влияние на тарифы, нарушаются режимы и параметры водоснабжения, вызывается подтопление территорий, которое влияет на процессы разрушения городской инфраструктуры;

- в системах водоотведения утечки негативно влияют на здоровье людей, а также экологическую безопасность территорий населенных пунктов из-за проникновения сточных вод в подземные горизонты, в поверхностные воды, в трубопроводы питьевой воды.

Основными причинами повреждений трубопроводов являются их физический износ, качество применяемых материалов, величина избыточного давления, коррозия, а также совокупность техногенных и природных факторов. Изношенное состояние труб в СВВ ведёт к снижению надежности, повышению энергозатрат, дополнительным утечкам, дополнительным затратам на ремонт и ликвидацию аварий. Все эти причины с одной стороны оказывают влияние на стоимость коммунальных услуг по водоснабжению и водоотведению при неудовлетворительном их качестве, а с другой стороны влияют на экологическую безопасность населенного пункта и приводят к дополнительным общественным издержкам.

Если рассматривать срок службы стальных труб 20...25 лет, то для сохранения их работоспособного состояния ежегодно необходимо заменять не менее 4...5% от объема всех эксплуатируемых трубопроводов. Ежегодное невыполнение этого условия ведет к накоплению объемов работ по ремонту и реновации трубопроводов. Во многих городах России и Украины в указанных объемах обновление и восстановление трубопроводов не выполнялись на протяжении нескольких десятилетий. Это привело к значительному износу и аварийному состоянию городских трубопроводов СВВ, что и обусловило в последнее десятилетие рост аварийности в 5 раз, что составило в среднем по РФ 70 случаев в год на 100 км трубопроводов [19]. В СВВ Украины среднее количество аварий находится в критическом диапазоне 100...400

аварий в год на 100 км трубопроводов. Этот показатель в странах Западной Европы составляет 10...20 аварий на 100 км трубопровода в год [18].

Таким образом, разработка и реализация теоретических и практических основ оценки и обеспечения надежности и экологической безопасности сетей водоснабжения в настоящее время выполнена в масштабах такого крупного города как столица России - город Москва. В других городах и населенных пунктах России информационное, методическое и нормативное состояние проблемы надежности городских сетей водоснабжения не отражает и не позволяет применять прогнозные оценки работы сооружений и элементов системы водоснабжения, так как не основывается на информации о фактических показателях их надежности, факторах экологического риска от аварий элементов этих систем, а также обеспечении минимизации возможных ущербов от их отказов.

Особую актуальность вопросы надежности и экологической безопасности приобретает для городов Крыма, где в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования СВВ достигли критических уровней - более половины, подземных трубопроводных коммуникаций уже исчерпали нормативный срок службы. Значительный износ и аварийное состояние трубопроводов СВВ многих городов Крыма обусловлен тем, что темпы их старения значительно превышал темпы восстановления на протяжении последних десятилетий. При принятии оперативных мер по повышению эффективности, работоспособности и модернизации СВВ ситуация может выйти из под контроля с многочисленными последствиями для населения и окружающей природной среды в рекреационных зонах Крыма. В этой связи, очевидно, что трубопроводы СВВ городов Крыма являются потенциальными источниками экологической опасности для окружающей среды и населения, а обеспечение их экологической безопасности и надежности является основными требованиями, предъявляемым к этим элементам системы жизнеобеспечения.

Следовательно, для решения данной проблемы необходимо создание и внедрение методологии восстановления и реконструкции трубопроводных сетей СВВ в городах Крыма. Для этого необходима: комплексная модернизация диагностики трубопроводных сетей, которая позволит оценить состояние и меру воздействия на объект условий эксплуатации, возможность прогнозирования показателей надежности; применение новых технологий и материалов при ремонте трубопроводов; а также совершенствование проектирования ремонтных работ с учетом гидравлической совместимости используемых материалов.

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Целью настоящей работы является анализ результатов наблюдений технического состояния и аварийности водопроводных сетей городов Крыма, а также применение автоматизированного геоинформационного обеспечения для реализации системного подхода при разработке рекомендаций по реновации путем увязки гидравлических и технологических параметров.

Для достижения поставленных целей потребовалось:

- определить факторы, оказывающих основное влияние на техническое состояние водопроводных сетей г. Симферополя и Алушты;

- выполнить систематизацию и анализ аварий на участках водопроводных сетей этих городов и получить общую информацию о состоянии трубопроводов;

- применить автоматизированное геоинформационное обеспечение, которое позволяет проводить расчеты и анализ гидравлических показателей водопроводных сетей городов с целью увязки гидравлических и технологических параметров сети;

- разработать обоснованные подходы к определению очередности объектов и методов реновации водопроводных сетей.

Информация о текущем состоянии водопроводных сетей при соответствующей обработке может служить основанием для создания методики прогнозирования реконструкции водопроводных сетей. При эксплуатации городской водопроводной сети важную роль имеет получение достоверной информации о техническом состоянии ее участков. Рост объема информации, непосредственно связан с надежностью работы трубопроводов водопроводной сети и требует ее немедленной обработки современными геоинформационными технологиями. Основой автоматизации информационно-технического обеспечения контроля и управления эксплуатацией водопроводной сети является: сбор, накопление и обработка данных по авариям на водопроводной сети, а также информационный материал о возрасте труб, грунтах, глубинах залегания, наличии подземных вод и т.д.

На сегодняшний день существующие водопроводные сети городов Крыма состоят из металлических труб 20...30-ти летней давности прокладки, которые массово выходят из строя, из-за истекшего срока службы. До настоящего времени реконструкции и замены трубопроводов в требуемых объемах не проводились, как следствие, высокая скорость старения трубопроводов на много выше объемов работ по их реновации.

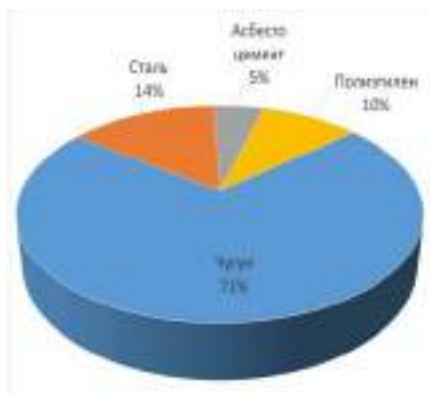
Возрастающая скорость износа и плохое состояние большого количества сетей водоснабжения Симферополя, бесперебойное снабжение водой населению и предприятиям города, гарантия экологической безопасности трубопроводов требуют обоснованного подхода к

решению задач реновации и модернизации трубопроводов. Также следует отметить, что значение имеет планирование восстановления городских водопроводных сетей, которые в свою очередь представляет важную государственную задачу как для оценки капитальных вложений по реновации трубопроводов систем водоснабжения, так и для формирования и утверждения тарифа на эти услуги.

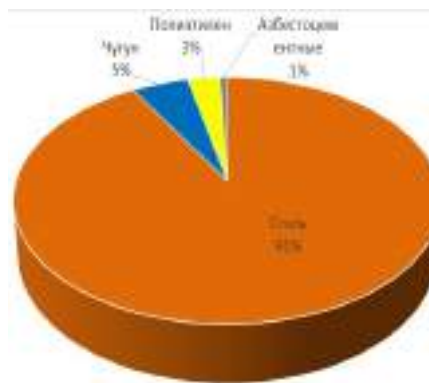
В данной работе проанализированы акты по авариям в системе водоснабжения г. Симферополя за 2015 год, а также г. Алушта за 2016 г. Для анализа данных по отказам составлены таблицы классифицирующие аварии и повреждений с подсчетом частоты их проявления на участках водопроводных сетей. Комплексное проведение работ по обнаружению мест повреждений водопроводной сети, а также их устранению относится к одному из этапов создания паспорта участков водопроводной сети, проводимых на действующих трубопроводах. Своевременное обнаружение повреждений сводит к минимуму непроизводительные расходы и подтопление окружающих территорий. Для поиска мест

повреждения трубопроводов используется современная аппаратура и приборный парк с применением течеискателей, шумомеров и т.д. Порядок проведения работ по выявлению мест повреждений состоит в выезде ремонтных бригад по заявке на основании признаков аварии, а также нахождению причин аварии, их ранжирование и принятия решения по ремонту вместе с представителями соответствующего района водопроводной сети.

Структура водопроводной сети городов Крыма по материалам показана на рис.1. На настоящий момент стальные трубопроводы городской водопроводной сети Симферополя составляют около 14%, чугунные около 71 %, асбестоцементные около 5%, полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы 10%. В г. Алуште стальные трубопроводы городской водопроводной сети Симферополя составляют около 14%, чугунные около 71 %, асбестоцементные около 5%, полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы 10%. Средний возраст стальных труб Симферопольского водопровода составляет 21 год, а, чугунных - 38 лет.

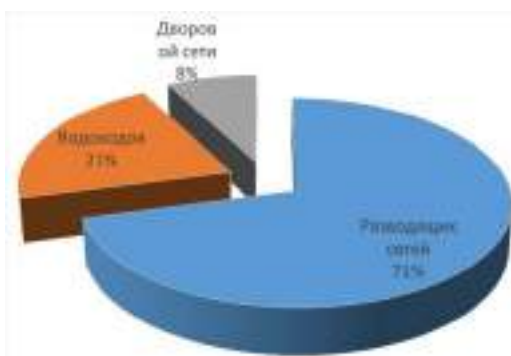


а

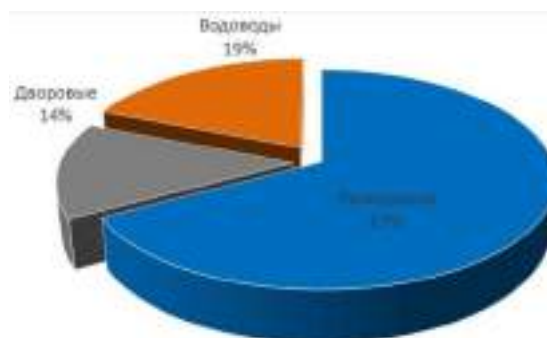


б

Рис.1. Структура водопроводной сети городов Крыма по материалам:  
а – Симферополь; б – Алушта.



а



б

Рис. 2. Структура протяженности трубопроводов по назначению водопроводной сети городов Крыма:  
а - Симферополя; б – Алушты.

Структура протяженности трубопроводов по назначению водопроводной сети городов Крыма показана на рис. 2. Основная доля водопроводных сетей Симферополя приходится на разводящие -

71%, на водоводы - 21 %, а на дворовые сети - 8%. Это связано с географической особенностью города Симферополь, который снабжается питьевой водой из четырех источников, находящихся на

относительно большом удалении от города: Симферопольское водохранилище – 154,7 км, а Партизанское – 26,8 км. Основная доля водопроводных сетей Алушты приходится на разводящие – 67%, на водоводы – 19 %, а на дворовые сети – 14%. Структура сетей Алушты также связана с удаленными источниками водоснабжения и с большим удельным числом потребителей из частного сектора.

Структура дефектов, нарушающих работоспособность водопроводной сети в рассмотренных городах Крыма, показана на рис. 3. Большая часть трубопроводов водопроводной сети Симферополя и Алушты имеют в существенный физический износ. Это связано с тем, что они введены в эксплуатацию десятки лет назад, зачастую без учета требований надежности. В

первую очередь это относится к металлическим трубопроводам

Структура дефектов, дестабилизирующих работу водопроводной сети в рассмотренных городах, существенно различаются. Дефекты, которые чаще всего встречаются в водопроводной сети Симферополя свищи, которые достигают 85%, трещины – 11%, остальные – нарушения сальников. Дефекты, которые чаще всего встречаются в водопроводной сети Алушты нарушения сальников, которые достигают 51%, свищи – 42%, остальные – трещины. Разности в структуре дефектов, дестабилизирующих работу водопроводной сети в Симферополе и Алуште, объясняется, прежде всего, в различиях структур водопроводных сетей этих городов по материалам.

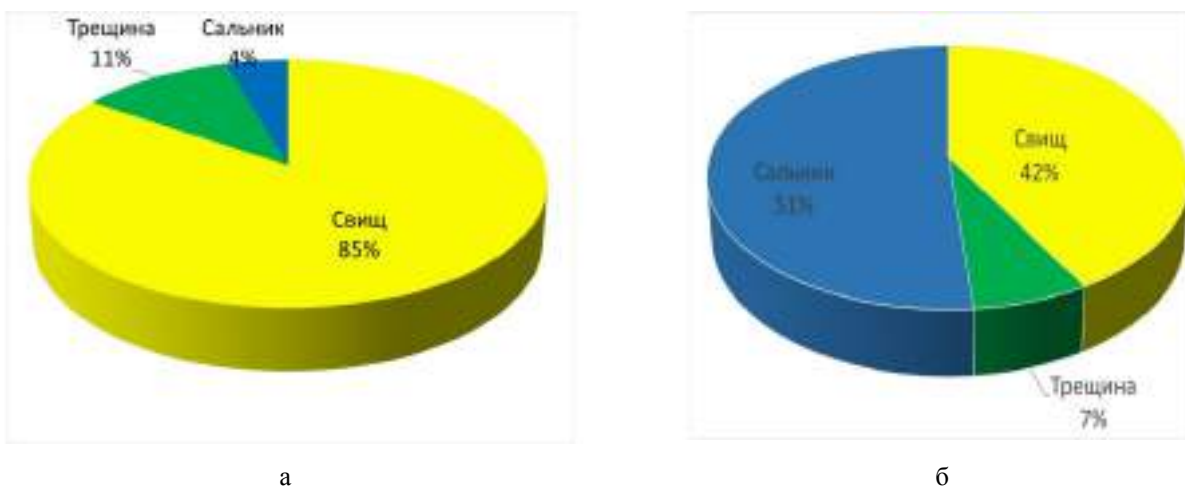


Рис. 3. Структура дефектов, дестабилизирующих работу водопроводной сети в городах Крыма: а - Симферополя; б – Алушты

Распределение количества аварий в зависимости от диаметра трубопровода по городам Крыма представлено на рис. 4. Основная часть аварий в них приходится на трубы малых диаметров 100...150 мм. Для Симферополя аварии на трубопроводах диаметром 100...150 мм составили 70%, а в Алуште – 80%. Эти повреждения зачастую появляются у домовых вводов. Аварии на трубопроводах диаметром 200...400 мм в Симферополе составили – 14%, а в Алуште - 17%. Основные причины, по которым возникают аварии трубопроводов следующие:

- внушительный срок службы трубопроводов, который обуславливает износ сетей более 65%;
- низкие темпы замены старых труб;
- значительные колебания напоров в сети;
- гидроудары при изменении режимов работы сети;
- внешняя и внутренняя коррозия труб;
- несоблюдение технологии производства работ по укладке и монтажу трубопроводов;
- неправильный выбор материала труб и их плохое качество.

Также надо отметить, влияние на количество отказов условий прокладки и эксплуатации труб:

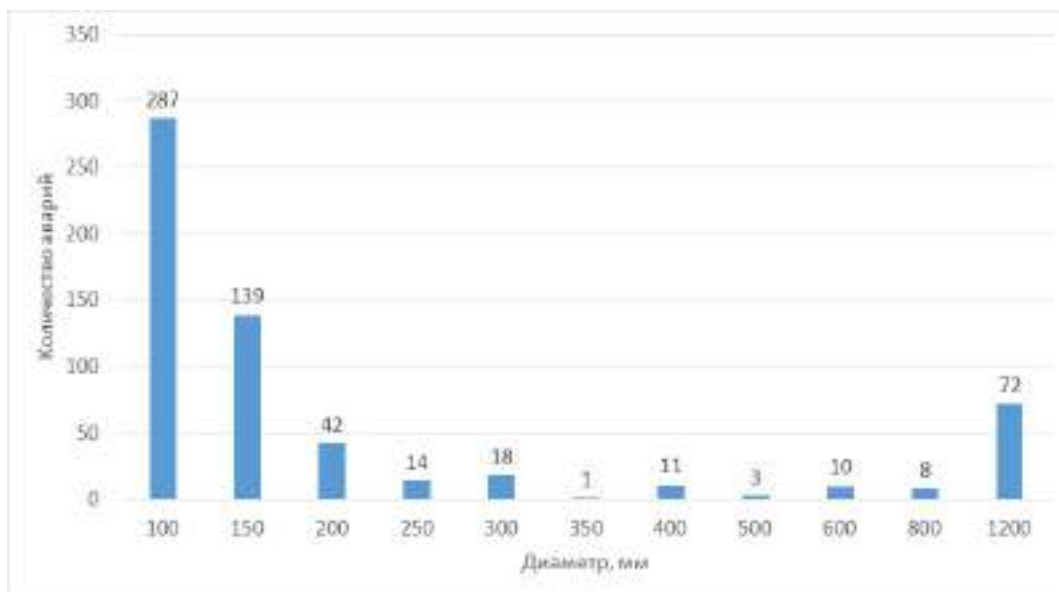
- блуждающие токи в грунте;
- агрессивные грунты;

- высокий уровень грунтовых вод и т.п.

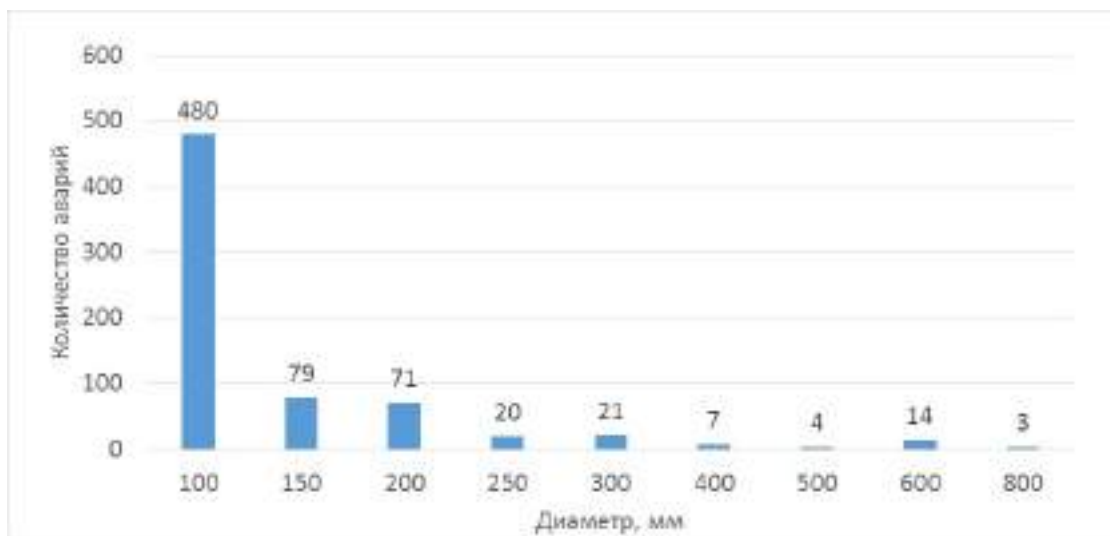
Важным показателем надежности является интенсивность отказов, которая определяется с учетом длины участков трубопроводов, на которых произошли отказы. На рис 5. показаны значения интенсивности отказов в зависимости от диаметра трубопровода для рассмотренных городов Крыма. Анализ результатов статистической обработки представленных на рис. 4 и рис. 5 показал, что интенсивность отказов может существенно отличаться от их количества. Это в основном обусловлено длинами трубопроводов, их техническим состоянием, условиями укладки и монтажа, а также гидравлическими параметрами, при которых происходит подача воды. Для г. Симферополя максимальная интенсивность отказов выявлена на трубопроводах диаметром 500 мм – 1, 25  $отк/год \cdot км$  и диаметром 100 мм – 0,96  $отк/год \cdot км$ , хотя количество отказов на трубопроводах диаметром 100 мм практически на два порядка больше. Минимальная интенсивность отказов в трубопроводах г. Симферополя установлена на диаметрах 350, 600 и 800 мм. Для г. Алушты максимальная интенсивность отказов выявлена на

трубопроводах диаметром 800 мм – 3,39 *отк/год·км* и диаметром 100 мм – 3,22 *отк/год·км*, хотя количество отказов на трубопроводах диаметром 100 мм в абсолютных значениях более чем на два порядка больше. Минимальная интенсивность отказов в

трубопроводах г. Алушты установлена на диаметрах 300, 400 и 500 мм. Абсолютные значения интенсивности отказов для трубопроводов г. Алушты втрое выше, чем интенсивность отказов в г. Симферополе.



а



б

Рис. 4. Распределение количества аварий в зависимости от диаметров трубопроводов по городам Крыма:  
а – Симферополь (2015 г.); б – Алушта (2016 г.)

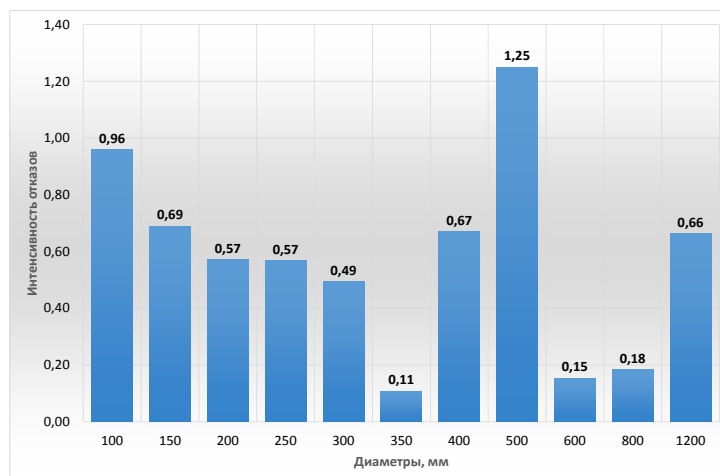
Если провести анализ по зависимости интенсивности отказов трубопроводов от сезонов года, можно сделать вывод, что сезон года не имеет влияния на общее количество аварий, возникающих в водопроводной сети Симферополя. К примеру, в зимние и осенние месяцы происходит незначительное увеличение аварий на стальных и чугунных трубопроводах, это связано с резкими перепадами температуры наружного воздуха. А в весенние и летние месяцы увеличивается количество повреждений труб, связанных с перемещением грунта.

Следовательно, в целом существенного изменения числа аварий в зависимости от сезонов года не наблюдается.

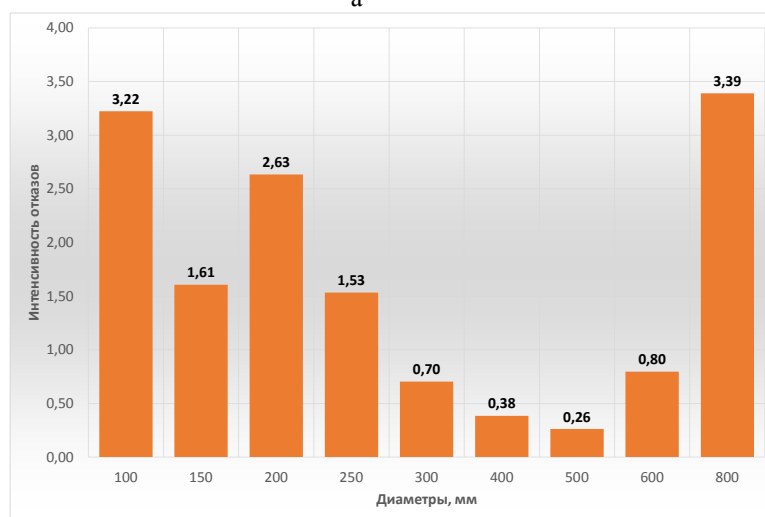
На рис. б показано распределение по сезонам года числа отказов трубопроводов в системе водоснабжения Алушты. Анализ отказов трубопроводов в системе водоснабжения Алушты показал существенную зависимость количества и интенсивности отказов от сезонности. Максимальное количество отказов зафиксировано весной, причем количество отказов в весну вдвое больше, чем осенью.

Эту сезонность можно объяснить особенностью работы СВВ курортного города Алушты, в котором число потребителей в период курортного сезона существенно увеличивается, а весной выполняются

подготовительные работы к подключению потребителей курортно-оздоровительного комплекса этому сезону. Осенью выполняется отключение этих потребителей от сетей СВВ.



а



б

Рис. 5. Распределение интенсивности отказов (*отк/год·км*) в зависимости от диаметров трубопроводов по рассмотренным городам Крыма: а – Симферополь (2015 г.); б – Алушта (2016 г.)

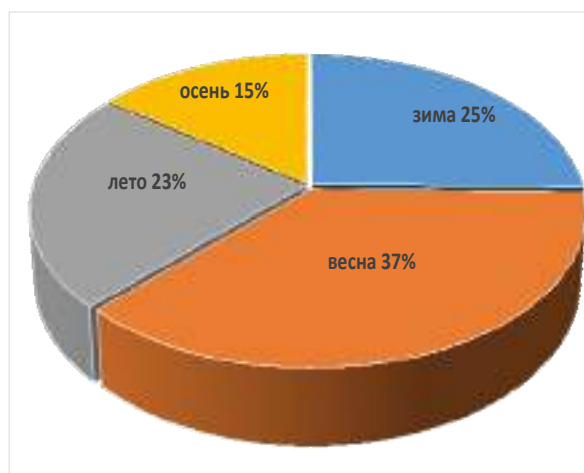


Рис. 6. Распределение по сезонам года числа отказов трубопроводов в системе водоснабжения Алушты.

Таким образом, техническое состояние водопроводных сетей рассмотренных городов Крыма приводит к множественным авариям, что обуславливает значительные затраты на их ликвидацию, потери материальных и энергетических ресурсов, экологический ущерб, общественные издержки по причинам неудовлетворительного качества услуг по водоснабжению. Наиболее объективным критерием оценки исправного состояния систем водоснабжения является круглосуточная бесперебойная подача воды потребителям с обеспечением требуемого уровня количественных параметров на сооружениях подачи и распределения воды по напору и расходу.

Системы водоснабжения городов Крыма с сотнями километров трубопроводов, большим числом энергетического, механического технологического оборудования являются сложными техническими системами, практически никогда не бывают полностью исправными. Распознавание технического состояния сложных технических систем в условиях ограниченной информации является основной задачей технического диагностирования. Состояние трубопроводов систем водоснабжения описывается некоторой совокупностью параметров или признаков. Распознавание технического состояния трубопроводов – это процесс определения отношения их технического состояния к одному из возможных диагнозов, количество которых зависит от особенностей задач и целей исследования. Большинство задач по диагностированию систем водоснабжения требует определения одного из двух состояний трубопровода – “исправный” или “неисправный”. Для более конкретного описания неисправного состояния необходимо локализовать неисправность его конкретными признаками. В большинстве случаев в задачах технического диагностирования возможные неисправности известны заранее, поэтому сущность таких задач сводится к выявлению признаков, которые позволяют выявить эти неисправности. Для систем водоснабжения эти признаки заключаются в определении предельных значений напоров и расходов на конкретных участках трубопроводных сетей.

Анализ состояния водопроводных сетей рассмотренных городов Крыма, с учетом важности вопросов прогнозирования их технического состояния, показывает, что актуальной является разработка методики системного подхода к реновации и модернизации трубопроводов водопроводной сети. Применение такой методики позволит использовать результаты оценки состояния трубопроводов для составления паспортов участков сети с указанием их рейтинга по необходимости ремонта или замены на основании которых, возможна разработка планирования ремонтно-восстановительных работ по модернизации и реконструкции трубопроводов водопроводной сети. Такая методика позволит снизить интенсивность отказов, уменьшить число аварий, снизить затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Сложной задачей является определение взаимосвязи между интенсивностью отказов, сроками укладки, материалом, величиной диаметра трубопровода, а также гидравлическими параметрами. Эту задачу можно решить только при оценке влияния на действующий

трубопровод всех влияющих факторов. Оценку состояния трубопроводов водопроводных возможно выполнить, с одной стороны на основе анализа технологических параметров, полученных из архивных данных для участков сети, а с другой стороны, на основе анализа гидравлических параметров, которые характеризуют их условия эксплуатации. Это позволит на основании полного анализа количественных параметров, оказывающих влияние на техническое состояние трубопроводов водопроводных сетей, составить балльную систему ущербности конкретных участков трубопроводов и выделить из них приоритетные для реновации. В результате можно обосновать рекомендации о реконструкции, реновации или модернизации конкретного участка трубопровода, который по рейтинговой системе является наиболее аварийным.

Выполнение перечисленных выше мероприятий, позволит вносить в паспорта участков трубопровода данные, по которым в любое время можно дать характеристику технического состояния и рекомендовать мероприятия по предотвращению аварий, а также методов реновации и модернизации работы сетей. Поэтому предметом исследований настоящей статьи является анализ и учет влияния гидравлических и технологических факторов на безотказность работы трубопроводов в целях создания паспортов участков водопроводных сетей, рассмотренных городов Крыма, для разработки рекомендаций по реновации этих участков трубопроводов.

Архивные данные, которые хранятся в эксплуатирующих организациях, содержат лишь технологические параметры участков трубопроводов, т.е. величины геодезических отметок, длины и диаметры участков, материал труб. Гидравлические показатели - расходы в узловых точках, скорости движения на участках водопроводной сети, средние напоры на участках имеют в основном расчетные значения, которые определялись по действующим на момент расчета нормативным документам. Для точной оценки технического состояния трубопроводов и обеспечения их надежной работы требуется увязка этих гидравлических и технологических параметров сети.

Таким образом, отсутствуют фактические данные по гидравлическим параметрам в различных точках сети, которые необходимы для точной оценки технического состояния трубопроводов и обеспечения их надежной работы. Данные по гидравлическим параметрам действующих трубопроводных сетей систем можно получить расчетными способами с использованием современных программных продуктов по расчету сетевых структур с применением геоинформационных систем.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты статистического анализа факторов, приводящих к отказам трубопроводов и снижающих их надёжность, показывают, что в различных условиях степень влияния на техническое состояние различна.

Наличие перечня факторов практически не позволяет произвести какие-либо последующие обоснованные действия по реновации трубопроводов, не связав факторы в единое целое и не назначив какого-либо количественного критерия в виде определенной оценки. Для выполнения условия увязки факторов в единую систему необходимо применение соответствующего математического аппарата. В работах Орлова Е. В. была предложена методика взаимной увязки технологических и гидравлических параметров трубопроводных сетей систем водоснабжения [13, 14, 20]. В качестве технологических параметров трубопроводных сетей приняты расчетный диаметр, протяженность участка сети, назначение - магистраль, перемычка, разводящая сеть. К гидравлическим параметрам отнесены напор и скорость течения в расчетных сечениях трубопровода. Подход, разработанный в этой методике, назван автором универсальной рейтинговой оценкой технической ущербности участков напорной сети. В этой методике, не нарушая законов технической механики жидкости, установлена связь между технологическими и гидравлическими параметрами трубопроводных сетей в виде зависимости:

$$\lambda = \frac{2gHD}{K_M LV^2}, \quad (1)$$

где - диаметр трубопровода и протяженность участка,  $H, V$  - напор и скорость в рассматриваемом сечении, - коэффициент потерь на местные сопротивления.

Безразмерный коэффициент  $\lambda$  в формуле (1) имеет иной физический смысл, так как он рассматривается в качестве «коэффициента связи» между напором, скоростью движения воды, а также диаметром и протяженностью участка при реализации комплексной оценки состояния трубопровода в единой системе. В результате, для оценки влияния гидравлических и технологических факторов на надежность различных участков трубопроводной сети получены расчетные зависимости [20]:

$\lambda_1^* = 10^{-4} \cdot 18,6 \cdot \frac{HD}{LV^2}$  - для магистралей и перемычек;

$\lambda_2^* = 10^{-4} \cdot 17,29 \cdot \frac{HD}{LV^2}$  - для распределительной сети;

$\lambda_3^* = 10^{-4} \cdot 7,85 \cdot \frac{HD}{LV^2}$  - для внутриквартальной распределительной сети.

Сущность методики назначения рейтинговых значений состоит в подсчете величины,  $\lambda_i^*$ , по одной из трех представленных формул для соответствующих участков сети. Для определения балльных значений очередности реновации по гидравлическим показателям используется понятие дискретного (плавающего) рейтинга, так как расчетная величина  $\lambda$  (даже при использовании понижающего коэффициента  $10^{-4}$ ), может выйти за рамки установленного балльного

диапазона (от 2 до 100 баллов). В результате в предложенной методике для определения рейтинговой оценки технической ущербности участков напорной сети по полученным результатам необходимо выполнение следующих преобразований:

-определение участка из числа рассматриваемых, которому соответствует максимальное значение  $\lambda_{max}$ , и присвоение этому участку максимального рейтинга по фактору «гидравлические характеристики» внутри установленного диапазона, т.е. 100 баллов;

-сортировка и составление списков других участков по мере снижения величины  $\lambda_i$ ;

-расчет для каждого последующего участка сети относительной величины  $Z_i$  по формуле  $Z_i = (\lambda_{max} - \lambda_i) / \lambda_i$  ;

-расчет рейтинга фактора для участка по формуле  $R_i = 100 - Z_i$ ;

-проверка выполнения неравенства  $R_i > 2$ .

Если неравенство выполняется, то фактору «гидравлические показатели» на соответствующем участке присваивается рейтинговое значение  $R_i$ , а если неравенство не выполняется, то фактору присваивается минимальное значение 2 балла. Результатом работы является список рейтинговых значений фактора «гидравлические показатели» для рассматриваемого количества участков трубопроводной сети.

Недостатком данной методики является то, что для оценки надежности участков трубопроводов необходимо использовать результаты физической диагностики в виде манометрической съемки и величин скоростей в различных точках сети и по ним производить оценку взаимовлияния гидравлических и технологических параметров по вышеприведенным зависимостям. В случае отсутствия данных по скоростям течения воды на участках и (или) необходимости оценки величины напоров в сети для определения рейтинговой значимости целесообразно использовать статистические данные по свободным напорам в определенных местах на сети, которые определяются по результатам манометрических съемок.

Для сложных водопроводных сетей получение результатов манометрической съемки и скоростей в различных участках трудоемкая и затратная задача, что усложняет применение этой методики. С учетом случайных процессов, которые происходят в трубопроводных сетях систем водоснабжения, точность получения гидравлических параметров существенно влияют на точность балльных значений очередности реновации по гидравлическим показателям. Весьма сложной является оценка влияния различных режимов работы трубопроводной сети на рейтинговые оценки технической ущербности участков.

Современные геоинформационные системы (ГИС) позволяют создать, хранить, преобразовывать на компьютере карту, связать с каждым объектом карты его описание, характеристику и параметры, которые внесены в базу данных [21]. Специализированные ГИС позволяют создавать различные карты в географических проекциях, включая схемы инженерных сетей с поддержкой их топологии, работать с большим количеством растров, проводить совместный семантический и пространственный

анализ графических и табличных данных, создавать различные тематические карты, осуществлять экспорт и импорт данных. Вложенные в ГИС подпрограммы либо модули позволяют создавать расчетно-математические модели инженерных коммуникаций с автоматизированным расчетом гидравлических параметров, анализом топологии сети, с обработкой входной и выходной информации, с возможностью изменения конструкции сетей и режимов работы ее элементов, моделируя тем самым, новые различные задачи гидравлических расчетов.

Для усовершенствования методов оценки технического состояния трубопроводов водопроводной сети, в данной работе использовалась ГИС Zulu, которая является современной компьютерной технологией для картографирования и анализа объектов водопроводной сети [22]. Для создания расчетно-математических моделей водопроводных сетей городов Крыма в ГИС Zulu, был использован модуль ZuluGidro, который обладает большим спектром возможностей по проведению гидравлических расчетов трубопроводов водопроводных сетей с использованием баз данных элементов систем водоснабжения, а также режимов их функционирования. Водопроводная сеть с инженерными коммуникациями рассчитывалась с учетом всех сооружений системы подачи и распределения воды, а также с любым набором объектов, характеризующих систему водоснабжения, в том числе и с несколькими источниками. Программный модуль ZuluHydro может рассчитывать водопроводные сети неограниченного объема, определять гидравлические параметры в их любых точках, по которым можно прогнозировать различные события, в том числе работоспособность системы водоснабжения в критических условиях, вероятность аварий на конкретных участках водопроводных сетей.

В данной работе ГИС Zulu с программным модулем ZuluHydro применялась для расчета гидравлических

параметров водопроводных сетей городов Крыма на основе которых автоматизированным способом выполнялась рейтинговая оценка технической ущербности участков напорной сети. Для этого в ГИС Zulu создавались карты городов и наносились на них водопроводные магистральные и распределительные сети, по которым производились гидравлические расчеты с определением следующих показателей: расходы, скорости, потери напора во всех участках сети, а также пьезометрические напоры во всех узлах водопроводной сети. С помощью поверочных расчетов в программном комплексе ZuluHydro также был произведен расчет системы на различные случаи работы, как в час наибольшего водопотребления, так и расчеты сети в связи с авариями на отдельных участках. Необходимость проведения этих расчетов, позволило оценить работоспособности системы в критических условиях, это дало возможность разработать мероприятия, исключающих снижение свободных напоров, а также снижение подачи ниже требуемых норм. На рис. 7 показан фрагмент расчета параметров водопроводной сети г. Симферополя. На представленном фрагменте в нижнем слое представлена карта рассмотренного участка сети, в таблицах представлены технологические и эксплуатационные параметры этого участка.

В результате полученных результатов расчета гидравлических параметров в расчетном модуле ZuluGidro с применением зависимостей упомянутых выше, автоматически определяются рейтинговые значения  $\lambda_i^*$  для всех участков трубопроводов распределительных и магистральных водопроводных сетей рассмотренных городов Крыма. Расчет рейтинговых значений участков трубопроводов городских сетей позволяют выполнить рейтинговую оценку их технической ущербности, а также установить схему очередности реновации участков сети.

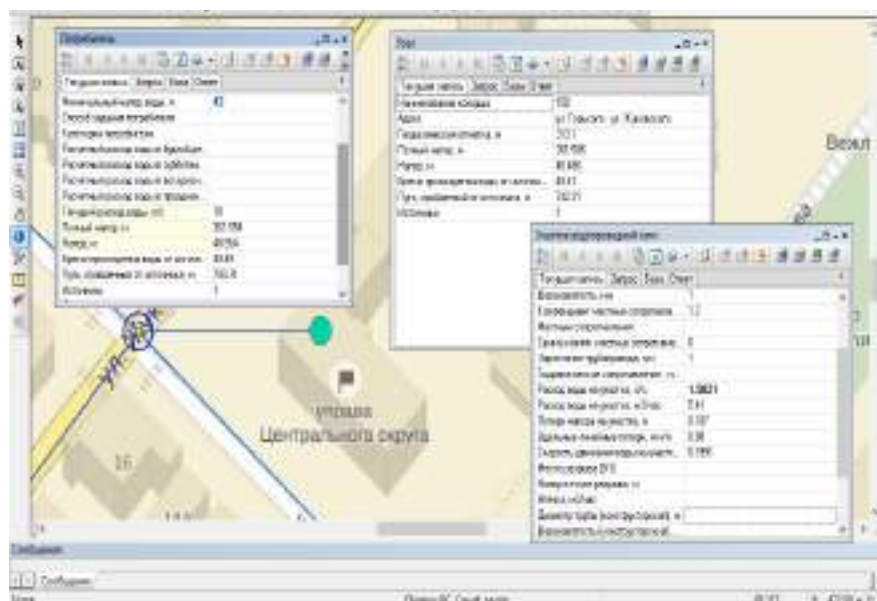


Рис. 7. Фрагмент расчета параметров водопроводной сети центральной части Симферополя в расчетном модуле ZuluGidro



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1980. – 231 с.
2. Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
3. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат, 1987 – 316 с.
4. Ермолин Ю.А., Алексеев М.И. О методологии исследования надежности стареющих элементов и систем водопровода и канализации // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 9.
5. Орлов Е.В., Саломеев В.П., Круглова И.С. Оценка остаточного ресурса напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. – 2005, №3-4. – С. 25 -31.
6. Примин О.Г., Орлов В.А. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, № 1. – С. 25-28.
7. Гальперин, Е. М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 104 с.
8. Найманов, А. Я. Особенности оценки надежности кольцевой водопроводной сети// Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, № 12. – С. 11–16.
9. Ткачук А.А. Структурно-функциональное усовершенствование систем подачи и распределения воды: автореф. дис. ... докт. техн. наук. спец.: 05.23.04 - водоснабжение, канализация. - Ровно: Национальный ун-т водного хозяйства, 2007. - 32 с.
10. Новохатный В. Г. Надежность функционирования подающе-распределительного комплекса систем водоснабжения: автореферат... д-р техн. наук, спец.: 05.23.04 - водоснабжение, канализация. – К.: Киевский нац. ун-т стр-ва и архитектуры, 2012. – 32 с.
11. Храменков С.В., Примин О.Г. Оценка надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998, № 7. – С. 4 - 7.
12. Храменков С.В., Примин О.Г. Стратегия восстановления городской водопроводной сети// Водоснабжение и санитарная техника. – 1999, №9. – С. 17 – 20.
13. Отставнов А.А., Орлов Е.В., Хантаев И.С. Первоочередность восстановления трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Строительный инжиниринг. – 2007, № 10. – С. 44 - 49.
14. Отставнов А.А., Орлов Е.В., Хантаев И.С. Определение приоритетных участков ремонта систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007, № 3. – С. 25-29.
15. Орлов В. А. Стратегия восстановления водопроводных и водоотводящих сетей. – М.: АСВ. – 2001. – 96 с.
16. Орлов В.А., Хантаев И.С. Функциональные зависимости между факторами, дестабилизирующими техническое состояние водоотводящих сетей// Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. – 2006, №13-2, – С. 30 - 39 .
17. Орлов В.А. / Тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей // Вестник МГСУ. – 2009, №2. – С. 167-171.
18. Асоціація водопровідно-каналізаційного господарства України. Щодо стану та проблем функціонування водопровідно-каналізаційного господарства України за підсумками роботи у 2006-2007 роках: Вісник Академії будівництва України.– К.: АБУ. – 2008, № 18. – С. 183 – 189.
19. Храменков С.В. Задачи развития водной отрасли для обеспечения населения России чистой водой// Водоснабжение и санитарная техника. – 2011, № 5. – С. 15 – 22.
20. Орлов Е.В. Разработка системного подхода к реновации напорных стальных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. спец.: 05.23.04 - водоснабжение, канализация. - М.: МГСУ, 2008. - 16 с.
21. В.Я. Цветков Геоинформационные системы и технологии: М.: ФиС, 1998.- 368 с.
22. Zulu Hidro/ Руководство пользователя. Режим доступа: <ftp://ftp.politerm.com.ru/zulu/ZuluHydro.pdf> (дата обращения 17.05.2017).

Nikolenko I. V., Krymov R. S., Zhilin A. K.

## FAILURE ANALYSIS OF PIPE NETWORKS OF WATER SUPPLY SYSTEMS OF IN THE CITIES OF CRIMEA IN ORDER TO JUSTIFY THE RECONSTRUCTION PARAMETERS

**Annotation.** The analysis of methods research indicators of reliability in pipe network water supply systems. Considered methodology for the recovery and reconstruction of pipeline networks of water supply systems in the cities of the Crimea by the example of Simferopol and Alushta. Performed failure analyses of pipe networks of water supply systems of these cities. Proposed to justify the reconstruction parameters to perform the linking of hydraulic and technological parameters with the use of GIS "Zulu". The analysis of the obtained results and the proposals for justification of the parameters of the reconstruction of pipeline networks of water supply systems for the cities of the Crimea.

**Key words:** water supply system, water supply network, reliability, environmental safety, defect, geoinformation system.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. СИМФЕРОПОЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЮ ОЧИСТКИ

Котовская Е.Е.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
e:mail: energia-09@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены материалы статистической обработки качественного состава воды по показателям мутности, цветности и церманганатной окисляемости данных центральной аккредитованной лаборатории ГУП РК «Вода Крыма» за многолетний период. Определены максимальные, минимальные значения, математическое ожидание, дисперсия, получены аналитические описания закономерностей распределения рассматриваемых показателей.

**Ключевые слова:** Источники централизованного питьевого водоснабжения, водопроводные очистные сооружения, дифференциальная функция плотности распределения.

### ВВЕДЕНИЕ

Водоснабжение г. Симферополя осуществляется из трех поверхностных источников централизованного водоснабжения (ИЦВ) Симферопольское (36,0 млн. м<sup>3</sup>), Партизанское (34,45 млн. м<sup>3</sup>) и Аянское (3,9 млн. м<sup>3</sup>) водохранилище. В период с 1989-2014 г. значительным источником являлось наливное Межгорное водохранилище (50 млн. м<sup>3</sup>), заполняемое водой Северо-Крымского канала (СКК), с 2014 года воды р. Днепр по СКК на территорию Республики Крым не подаются. На рис. 1 представлены контурные карты-схемы Симферопольского, Партизанского, Аянского и Межгорного водохранилищ.

Симферопольское водохранилище в санитарном состоянии не надежно, охраняется только плотина и водозабор. В водосборной площади расположены населенные пункты: мкр. Марьино, села Лозовое, Пионерское, Заречное, Доброе, Перевальное, Краснолесье, Мраморное, Кленовое, Теплое, Украинка, Константиновка, Петропавловка, Залесье, Горки, Сосновка, поселки депортированных народов и дачные садоводческие кооперативы. Села не благоустроенные, уборные поглощающего типа, не организована система санитарной очистки от бытового мусора. Поверхностный сток от этих

населенных пунктов поступает через р. Салгир в водохранилище.

В с. Перевальном многоэтажные жилые дома военного училища и военной части (в/ч) канализованы. Стоки сбрасываются на канализационные очистные сооружения (КОС) в/ч производительностью 400 м<sup>3</sup>/сутки. Очистные сооружения состоят из комплекса механической и биологической очистки с доочисткой в биологических прудах. Сброс очищенных сточных вод осуществляется в преднакопители и в дальнейшем используется на орошение. За качеством очистки ведется лабораторный контроль. В районе с. Доброе расположены поселковые КОС производительностью 200 м<sup>3</sup>/сутки с комплексом механической и биологической очистки. После очистки сточные воды сбрасываются в пруд – накопитель. Сооружения в запущенном состоянии. Лабораторный контроль не ведется. В с. Краснолесье очистные сооружения школы – интерната представлены септиком с песчано – гравийным фильтром. Канализационные очистные сооружения перегружены в 2,5 – 3 раза, сточные воды фактически без очистки сбрасываются в р. Тавельчук левый приток р. Салгир.



Рис. 1. Карта-схема водохранилищ: А - Симферопольского, Б - Партизанского, В - Аянского и Г - Межгорного

Выше с. Пионерское расположены очистные сооружения Пионерской противотуберкулезной

больницы на 200 м<sup>3</sup>/сутки. Состоят из циркуляционных окислительных каналов

(ЦОК), вторичных отстойников, хлораторной и иловых площадок. Проектом предусмотрен дегельминтизатор и в качестве доочистки песчано-гравийные фильтры, которые с момента ввода в эксплуатацию не работают. Сброс стоков осуществляется в пруд. В с. Лозовом расположены очистные сооружения школы – интерната в составе септика со сбросом в пруд – накопитель.

Все эти и другие загрязнители создают неблагоприятную эпидемиологическую обстановку для Симферопольского водохранилища.

Партизанское водохранилище имеет зону санитарной охраны благоприятную в санитарном отношении, I пояс выделен ограждающими знаками и охраняется вневедомственной охраной.

Санитарные условия Аянского водохранилища были благополучными до строительства на правом берегу дачного кооператива, способствующего загрязнению окружающей среды и водохранилища (применение ядохимикатов, туалеты с фильтрующими выгребями, рыболовство).

Межгорное водохранилище также имеет зону санитарной охраны, прибрежно-защитные полосы.

Показатели качества воды в ИЦВ являются входными параметрами работы водопроводных очистных сооружений (ВОС). На основании динамики изменения многолетних показателей качества воды, таких как: мутность, цветность, коли-индекс, фитопланктон, перманганатная окисляемость, можно делать выводы: о качественных показателях состояния ИЦВ, о прогнозировании работы действующих водопроводных очистных сооружений, принятие решений о необходимости изменения технологических параметров работы ВОС или их дооснащения дополнительными ступенями очистки.

В табл. 1 приведены данные качественного состава воды по показателям мутность, цветность, рН из ИЦВ и РЧВ г. Симферополя за период с 2006 по 2013 г, а также нормативные требования СанПиН 2.1.4.1074-01 [1] по соответствующим показателям. Информацию, представленную в табл. 1 можно показать графически на рис. 2, где приведены диапазоны изменения качественного состава (мутность, цветность, ПО) ИЦВ, указана производительность и схема очистки воды на ВОС г. Симферополя.

Таблица 1.  
Данные качественного состава воды из ИЦВ и РЧВ г. Симферополь

Показатели качества воды	Содержание в исходной воде				Содержание в РЧВ			Требования СанПиН 2.1.4.1074-01 к питьевой воде
	Симферопольское водохранилище	Партизанское водохранилище	Межгорное водохранилище	Аянское водохранилище	РЧВ Симферопольского гидроузла	РЧВ Партизанского гидроузла	РЧВ Межгорного гидроузла	
Мутность, мг/л	1...27	2,4...78	4...30	0,25...9	0,25...2	0,5...2,2	0,5...1,5	<1,5 (2)
Цветность, °ПК	1...40	7...70	20...40	2...25	5...11,4	5...13	7...15	<20 (35)
ПО, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2...9	2,94...5,5	5,8...7,6	0,6...4,8	1,9...6,56	2,18...4,9	5...7	<5
рН	7,2...8,7	7,75...8,2	7,9...8,3	7,28...8	7,1...8,5	7,44...8,15	7,6...7,8	6...9

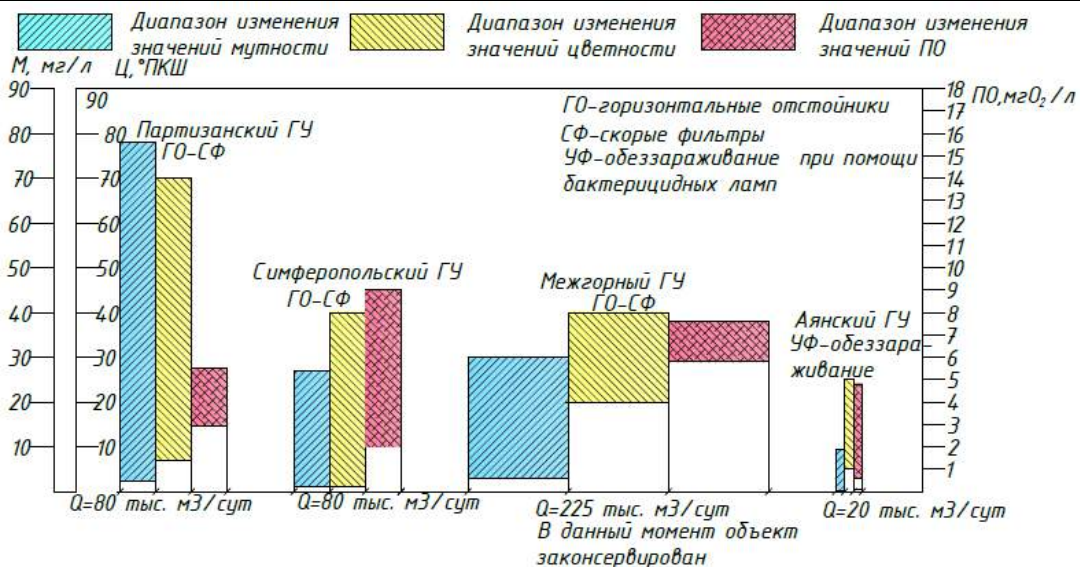


Рис. 2. Источники водоснабжения г. Симферополя

Проанализировав данные представленные в табл. 1 и на рис. 2 можно заключить следующее: воды Симферопольского и Межгорного водохранилищ являются маломутными и средней цветности, воды Партизанского водохранилища - средней мутности и средней цветности, а воды Аянского водохранилища маломутные и малоцветные.

Очистные сооружения Симферопольского, гидроузла представляют собой двухступенчатую схему очистки (рис. 3): горизонтальные отстойники и скорые фильтры, с применением коагулянтов

(сернокислый алюминий) и флокулянтов (полиакриламид). Для обеззараживания воды применяется хлорирование (установки гипохлорита Na, бактерицидные лампы). Вода Аянского гидроузла очистке не подвергается, применяется только обеззараживание при помощи бактерицидных ламп и подается на ВОС Симферопольского гидроузла, по пути следования вода отбирается для водоснабжения населенных пунктов Салгирской Долины. В летний период вода до ВОС Симферопольского гидроузла не доходит, так как полностью отбирается населенными пунктами Салгирской долины.

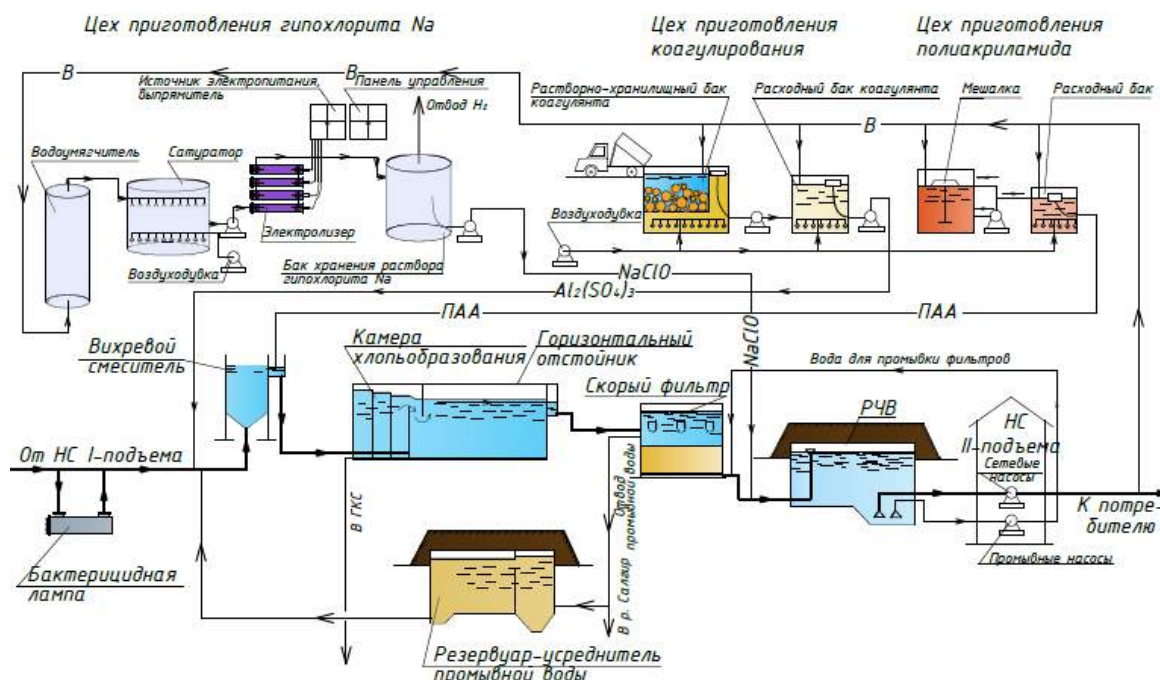


Рис. 3. Технологическая схема очистки воды на Симферопольском гидроузле «Петровские скалы»

Технологическая схема ВОС Партизанского гидроузла «Приютное свидание» также представляет двухступенчатый комплекс, с применением коагулянтов сернокислый алюминий, ПолиДАДМАХ, флокулянта Полиакриламид, цехом аммонизации. Технологическая схема представлена на рис. 4.

Комплекс ВОС Межгорного гидроузла «Жаворонки» также является двухступенчатой схемой очистки с реагентным хозяйством на пять реагентов: отделение коагулирования (сернокислый) алюминий, отделение флокулирования (Полиакриламид), отделение фторирования (кремнефтористый натрий), отделение подщелачивания (известь), отделение углевания (введение в контактную камеру угольной пульпы), цехом аммонизации. В данный момент объект ВОС «Жаворонки» законсервирован.

Показатели качества воды (табл. 1) по мутности, цветности после очистки (вода в РЧВ) практически соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [1]. Исключение составляют периоды пониженных температур, когда наблюдается процесс «вялой коагуляции», значения по мутности не

значительно превышают норматив. Эффективность ВОС по снижению органических соединений, определенных по показателю перманганатной окисляемости (ПО), значительно хуже в сравнении с другими показателями работы станции.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В технологии водоподготовки одной из важных задач является определение расчетных значений определяющих показателей качества воды в ИЦВ. В работах Ж. М. Говоровой обоснована целесообразность анализа многолетних наблюдений по динамике качества поверхностных вод в конкретном створе водисточника с последующим составлением статистических рядов и учетом параметра продолжительности пребывания ингредиентов в контрольном створе источника за анализируемый период времени [4]. В исследованиях А.О. Родиной представлены эмпирические формулы для расчета эффективности работы отдельных сооружений ВОС г. Вологды по основным показателям качества обрабатываемой воды [5].

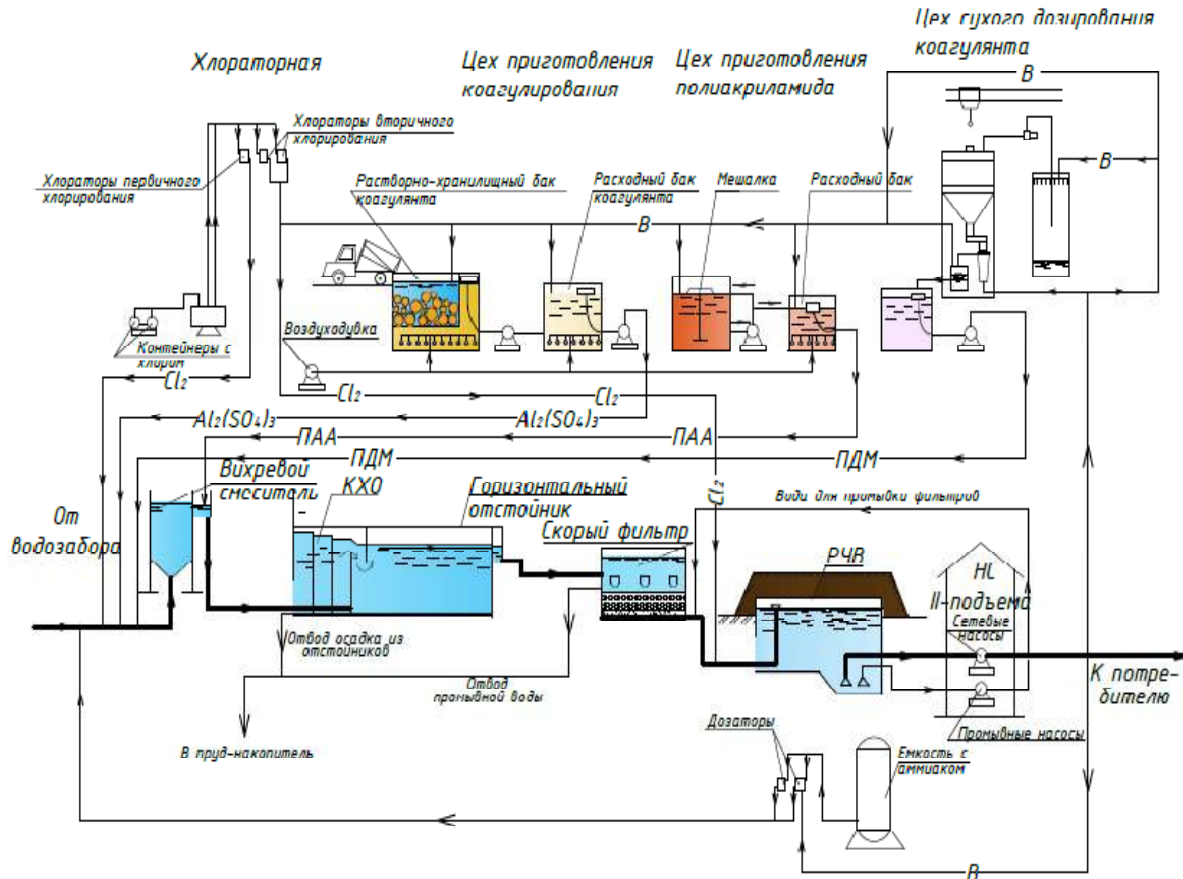


Рис.4. Технологическая схема очистки воды на Партизанском гидроузле «Приютное свидание»

В работе Л.И. Кантора [6], указано, что оценка эффективности водоподготовки по входным и выходным значениям оцениваемого показателя, используя единичные или усредненные за какой-либо период значения являются приближенными поскольку не учитывают динамику изменения показателя во времени. Так же представлены методы оценки эффективности водоподготовки по показателю перманганатная окисляемость Северного ковшового водопровода МУП «Уфаводоканал», которая составила 40,8 до 47%. При этом, используя анализ временных рядов, были выделены из данных аналитических наблюдений, качественного состава воды в ИЦВ тренд-циклическая, сезонная и случайная составляющие показателя ПО [6].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель данной работы – рассмотреть метод оценки качественного состава воды в ИЦВ по показателям, являющимися определяющими в технологиях водоподготовки. Подготовить анализ полученных результатов и показать их возможное практическое применение. Для достижения поставленной цели были сформулированы и выполнены следующие задачи:

- формирование банка многолетних данных качественного состава воды в ИЦВ, по материалам центральной аккредитованной лаборатории ГУП РК «Вода Крыма»;
- выбор метода статистической обработки;
- обработка банка данных;
- получения параметров статистической обработки, выявление закономерностей подтверждение принятых гипотез и составление аналитических выражений;
- интерпретация полученных результатов;
- выработка практических рекомендаций.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обработка данных велась статистическими методами с проверкой гипотезы по критерию Пирсона. По данным мутности, цветности, перманганатной окисляемости (ПО) за многолетний период в программе MathCAD строили гистограмму и полигон распределения, определяли наиболее подходящий закон распределения, рассчитывали математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, дисперсию, выполняли проверку на наличие промахов по критерию Шовене, выравнивали функцию с последующей проверкой по критерию согласия Пирсона [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

После обработки рядов многолетних данных были получены дифференциальные функции плотности распределения, представленные в таблицах 2-4. По полученным уравнениям были построены кривые распределения, которые позволяют графически показать с какой вероятностью ожидается наступление события - появления того или иного значения по мутности, цветности и окисляемости в трех ИЦВ. Так же на рисунках 5-13 приведены минимальное, максимальное, и математическое ожидание по каждому показателю. Представленный анализ позволяет, в долгосрочной перспективе, определить количество заказываемых реагентов (коагулянтов, флокулянтов), оценить ожидаемую нагрузку на ВОС по выбранным показателям, не ориентируясь на максимальные или минимальные значения, ожидаемый процент возникновения которых невелик. При помощи данной методики можно сравнить отдельные показатели между различными ИЦВ. Проведенный анализ позволяет определить параметры, на которых работает ВОС больший процент рассматриваемого периода наблюдений, и соответственно выявить наиболее оптимальную схему очистки.

В табл. 2 приведены результаты статистической обработки значений мутности для трех ИЦВ г. Симферополя, максимальное, минимальное значение, математическое ожидание, дисперсия, и аналитическое выражение закона распределения. Значения мутности для трех ИЦВ

распределены по экспоненциальному закону распределения. На рис. 5-7 приведены дифференциальные функции плотности распределения по показателю мутности, математическое ожидание, границы минимального и максимального значения для Симферопольского, Партизанского и Аянского водохранилища. В табл. 3 представлены результаты статистической обработки по цветности для трех ИЦВ соответственно. Значения цветности для Симферопольского и Партизанского водохранилища распределены по экспоненциальному закону распределения, а для Аянского водохранилища по закону Вейбулла-Гнеденко.

На рис. 8-10 приведены дифференциальные функции плотности распределения по показателю цветности, математическое ожидание, границы минимального и максимального значения для Симферопольского, Партизанского и Аянского водохранилища. В табл. 4 представлены результаты статистической обработки по показателю перманганатной окисляемости для трех ИЦВ соответственно.

Значения ПО для четырех ИЦВ распределены по нормальному (Гауссовому) закону распределения. На рис. 11-13 приведены дифференциальные функции плотности распределения по показателю ПО, математическое ожидание, границы минимального и максимального значения для Симферопольского, Партизанского и Аянского водохранилища.

Таблица 2.

Сводная таблица результатов обработки значений мутности для трех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя

$C_{\min}$	$C_{\max}$	$M(C)$	$\sigma_C$	Закон распределения
Симферопольское водохранилище				
1	27	6,29	7,456	$f(C) = 0,159 \cdot e^{-0,159C}$
Партизанское водохранилище				
2,4	78	16,522	13,073	$f(C) = 0,061 \cdot e^{-0,061C}$
Аянское водохранилище				
1	15	2,482	3,572	$f(C) = 0,43 \cdot e^{-0,43C}$

Таблица 3.

Сводная таблица результатов обработки значений цветности для трех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя

$Ц_{\min}$	$Ц_{\max}$	$M(Ц)$	$\sigma_{Ц}$	Закон распределения
Симферопольское водохранилище				
1	40	12,352	6,636	$f(Ц) = 0,081 \cdot e^{-0,081Ц}$
Партизанское водохранилище				
7	70	24,056	13,153	$f(Ц) = 0,042 \cdot e^{-0,042 \cdot Ц}$
Аянское водохранилище				
5	25	12,475	5,378	$f(Ц) = 0,176 \cdot \left(\frac{Ц}{14,079}\right)^{1,48} \cdot \exp\left[-\left(\frac{Ц}{14,079}\right)\right]^{2,48}$

Таблица 4.  
Сводная таблица результатов обработки значений ПО для четырех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя

$PO_{\min}$	$PO_{\max}$	$M(PO)$	$\sigma_{PO}$	Закон распределения
Симферопольское водохранилище				
2	9	4,646	1,591	$f(PO) = 0,219 \cdot \exp[-0,198 \cdot (PO - 4,646)^2]$
Партизанское водохранилище				
2,94	5,52	4,041	0,592	$f(PO) = 0,217 \cdot \exp[-1,43 \cdot (PO - 4,041)^2]$
Межгорное водохранилище				
5,8	7,6	6,656	0,346	$f(PO) = 0,346 \cdot \exp[-0,4167 \cdot (PO - 6,656)^2]$
Аянское водохранилище				
0,6	4,8	2,381	1,009	$f(PO) = 0,208 \cdot \exp[-0,491 \cdot (PO - 2,381)^2]$

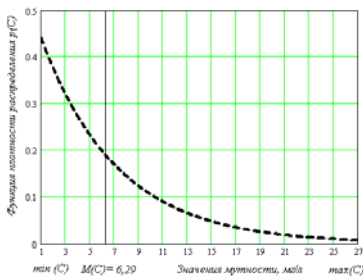


Рис.5 - Функция плотности распределения мутности для Симферопольского водохранилища

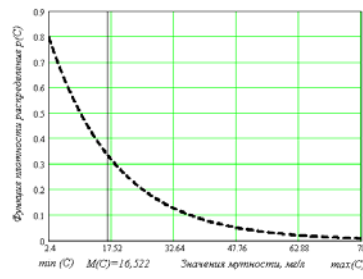


Рис.6- Функция плотности распределения мутности для Партизанского водохранилища

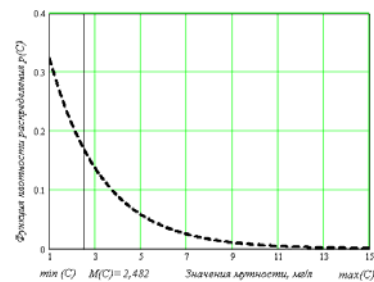


Рис.7- Функция плотности распределения мутности для Аянского водохранилища

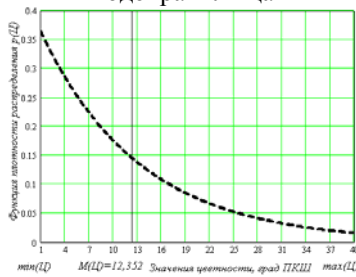


Рис.8 - Функция плотности распределения значений цветности Симферопольского водохранилища

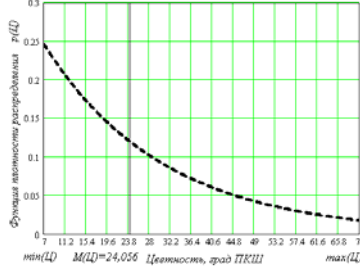


Рис.9 - Функция плотности распределения значений цветности Партизанского водохранилища

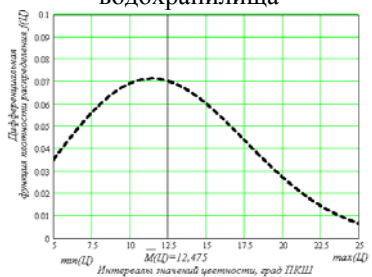


Рис.10 - Функция плотности распределения значений цветности Аянского водохранилища

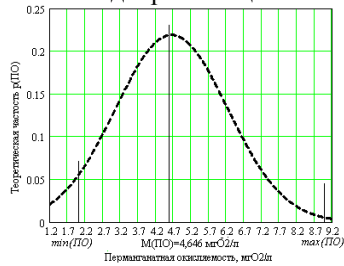


Рис.11 - Функция плотности распределения значений ПО Симферопольского водохранилища

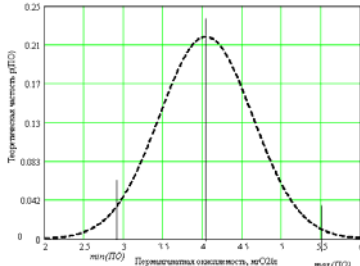


Рис.12- Функция плотности распределения значений ПО Партизанского водохранилища.

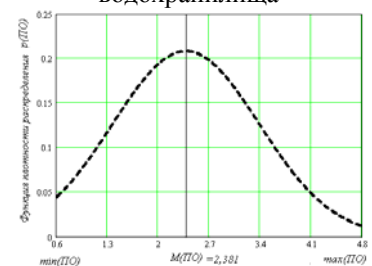


Рис.13 - Функция плотности распределения значений ПО Аянского водохранилища

Полученные результаты статистической обработки позволяют определить наиболее

ожидаемое значение по мутности, цветности и ПО. Практическим применением обработки значений

мутности и цветности может служить корректировка выражения для определения годовых потребностей коагулянта, которые определяются:

$$Э_{\text{мат}} = 0,85 \cdot 365 \cdot Q_{\text{макс.сут}} \cdot D_{\text{ср}} \cdot Ц, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{макс.сут}}$  - максимальный суточный расчетный объем воды на водоочистой станции;

$Ц$  - цена одной тонны реагентов, принято 30руб/кг.

$D_{\text{ср}}$  - средняя доза реагента зависит от качества исходной воды и определяется по формуле:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{max}} \cdot k, \quad (2)$$

$k$  - коэффициент, учитывающий качество исходной воды для вод средней мутности составляет 0,6;

$D_{\text{max}}$  - максимальная доза реагентов, определяется пробным коагулированием или по табл. 16 [3], или по следующим выражениям:

$$D_{\text{max}} = 4 \cdot \sqrt{Ц}, \quad (3)$$

$$D_{\text{max}} = 3,5 \cdot \sqrt{M}, \quad (4)$$

принимается большая из доз, данные расчетов для двух станций производительность  $Q_{\text{сут}}=80 \text{ тыс. м}^3$  сведены в табл. 5. Предлагается для расчетов принять среднюю дозу коагулянта по выражениям:

$$D_{\text{ср}} = 4 \cdot \sqrt{Ц}, \quad (5)$$

$$D_{\text{ср}} = 3,5 \cdot \sqrt{M}. \quad (6)$$

Результаты расчетов сведены в таблице 5, также показан экономический эффект, получаемый при закупке коагулянта серноокислый алюминий, стоимостью 30 руб/кг. Коагулянт, закупленный в избытке подвергается слеживанию, способен утрачивает свои химические свойства.

Экономия при закупке коагулянта по 0,94 г на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды приводит к годовому сбережению предприятием 699,9 тыс. руб.

Таблица 5.

Сводная таблица результатов расчетов по определению средней дозы коагулянта и экономический эффект

Наименование гидроузла	Доза, мг/л определенная по выражению:						Годовой экономический эффект, тыс. руб.
	СНиП 2.04.02-84	$D_{\text{max}} = 4 \cdot \sqrt{Ц}$	$D_{\text{max}} = 3,5 \cdot \sqrt{M}$	$D_{\text{ср}} = D_{\text{max}} \cdot k$	$D_{\text{ср}} = 4 \cdot \sqrt{Ц}$	$D_{\text{ср}} = 3,5 \cdot \sqrt{M}$	
СГУ «Петровские скалы»	25	25,3*	18,18	15	14,06*	8,8	699,9
ПГУ «Приятное свидание»	30	33,5*	30,9	20,1	19,61*	14,22	364,85

Примечание 1. \*-Выделены принятые большие дозы.

Практическая значимость получения выражений плотности распределения перманганатной окисляемости заключается в графические и аналитические оценки превышения граничных значений норматива ИЦВ

На рис. 14 представлены плотности распределения значений ПО для Симферопольского водохранилища, представлено математическое ожидание, а также указаны предельные значения для  $PO_{\text{lim}}$ , соответствующие 1 классу по ГОСТ 2761-84\*. Из рис. 14 следует, что значение теоретической частоты распределения содержания органических загрязнений Симферопольского водохранилища превышает предельное значение для источника 1 класса (7 мгО<sub>2</sub>/л). Вероятности появления значений превышающих предельного значения для 1 класса (7 мгО<sub>2</sub>/л) органических веществ в воде Симферопольского составляют 6,94 %, что графически соответствует заштрихованной площади, занимаемой под кривой на рис. 2;

Представленный в табл. 1 и на рис. 2 диапазон значений ПО, показывал превышение норматива для 1 класса ИЦВ, но не позволял оценить количественно.

Аналогичный комплекс параметров был определен для воды из РЧВ, то есть, воды прошедшей очистку на водопроводных очистных сооружениях. На рис. 15 представлены плотности распределения содержания органических загрязнений для воды четырех гидроузлов г. Симферополя, а также указаны лимитирующие значения содержания органических веществ стандарты ВОЗ, ЕС [8] и СанПиН [1], соответственно  $PO_{\text{lim}}=2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$  и  $PO_{\text{lim}}=5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ .

Также была рассчитана вероятность превышения содержания органических загрязнений предельного значения (5 мгО<sub>2</sub>/л) для воды из РЧВ Симферопольского гидроузла составляет 18,8%; Вероятность превышения значений органических соединений граничного значения на уровне 2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> норм ВОЗ и ЕС составила для воды из РЧВ Симферопольского гидроузла составляет 99,05%; Если принять математическое ожидание концентрации органических загрязнений в воде РЧВ на уровне 2 мгО<sub>2</sub>/л и математическое ожидание концентрации органических загрязнений в воде источника централизованного водоснабжения,

которые были представлены в табл.4 и на рис. 15 и найти процент снижения показателя ПО до значения  $2 \text{ мгО}_2/\text{л}$ , тогда определяется требуемая степень удаления органических загрязнений на

водопроводных очистных сооружениях для обеспечения соответствия качества питьевой воды нормам ВОЗ и ЕС, что составляет: Симферопольские ВОС - 57%.

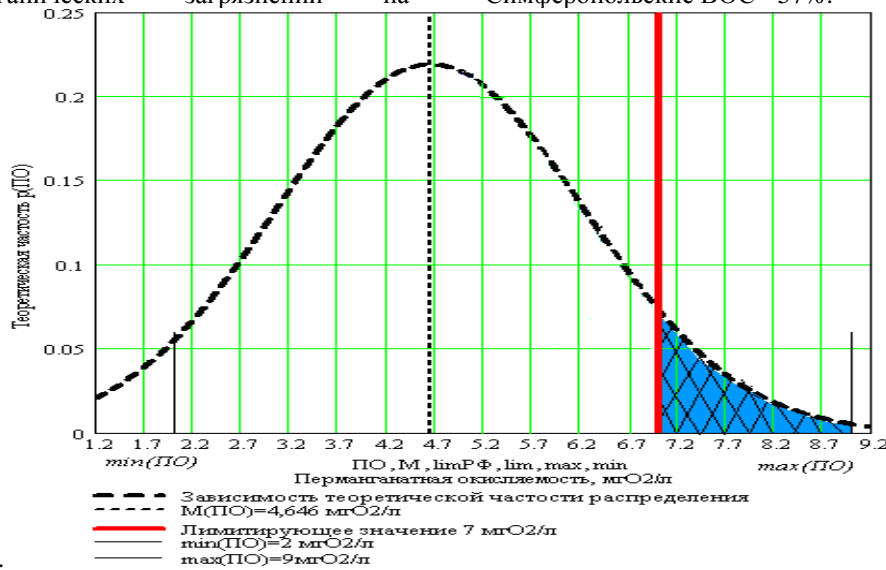


Рис.14. Функция плотности распределения значений ПО для воды из Симферопольского водохранилища предельное значение  $PO_{lim}=7 \text{ мгО}_2/\text{л}$

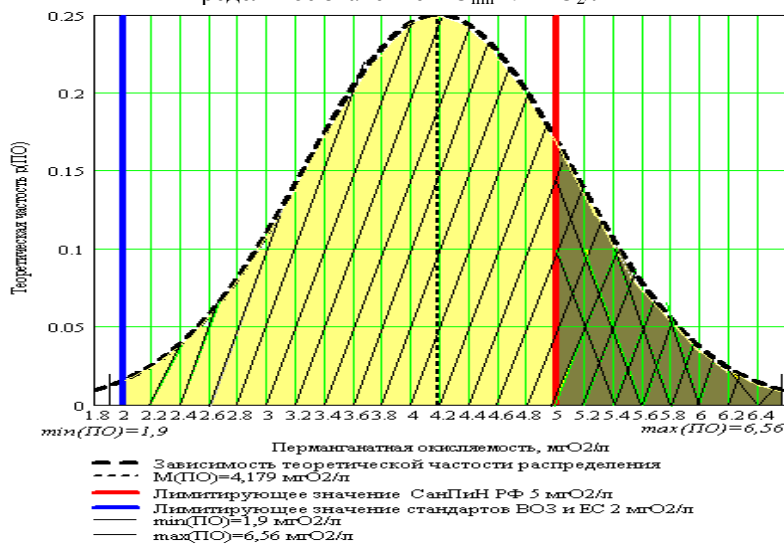
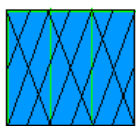
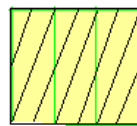


Рис. 15. Функция плотности распределения значений ПО для воды из РЧВ Симферопольского гидроузла предельное значение ПО (стандарты ВОЗ и ЕС и СанПиН)

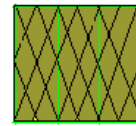
Условные обозначения



Область значений ПО, превышающих лимитирующее значение на уровне  $7 \text{ мгО}_2/\text{л}$



Область значений ПО в воде РЧВ, превышающих лимитирующее значение стандартов ВОЗ и ЕС на уровне  $2 \text{ мгО}_2/\text{л}$



Область значений ПО в воде РЧВ, превышающих лимитирующее значение СанПиН РФ на уровне  $5 \text{ мгО}_2/\text{л}$

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены четыре ИЦВ г. Симферополя, показаны условия их питания и выявлены факторы, влияющие на их качественный состав. Представлены технологические схемы действующих ВОС города, с указанием их особенностей.

2. Определены функции распределения содержания в воде значений мутности, цветности, органических соединений по показателю

перманганатная окисляемость для трех источников централизованного питьевого водоснабжения г. Симферополя.

3. Выявлено, что значения вероятности распределения содержания мутности для трех ИЦВ подчинены экспоненциальному закону распределения, значения вероятности распределения содержания значения цветности – экспоненциальному закону распределения, а для

Аянского водохранилища по закону Вейбулла-Гнеденко, значения ПО для четырех ИЦВ распределены по нормальному (Гауссовому) закону распределения. Определены минимальные, максимальные значения, математическое ожидание и дисперсия.

4. Представлено практическое применение рассмотренной методики статистической обработки, заключающееся в корректировке выражения для определения средней дозы коагулянта для расчета годовых экономических затрат. Позволяет оценить количественно превышение граничных значений нормативных показателей, а также определить эффективность водоподготовки и рекомендуемую степень очистки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.1.4.10704-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.
2. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
3. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения/М.: Госстрой СССР. — М. Стройиздат, 1985 – 136 с.
4. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно - питьевого водоснабжения. Гигиенические и технические требования и правила выбора. – М.: Госстройиздат СССР, 1986 - 13 с.
4. Говорова Ж.М. Выбор и оптимизация водоочистных технологий: Монография. – Вологда-Москва: ВоГТУ, 2003. – 111 с.
5. Родина А.О. Обоснование расчетных показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Вологда, 2004 г. 19 с.
6. Кантор Л.И. Количественная оценка эффективности водоподготовки по показателю окисляемости / Л.И. Кантор, А.В. Харабрин // Водоснабжение и санитарная техника — Москва, 2004. — №4, часть 2. — С. 41—44.
7. Бурмкулов Ф.Х. Основы теории вероятностей и математической статистики / Ф.Х. Бурмкулов, Е.А. Мировская. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 164 с.
8. Directive 2000/60/ES of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Commute action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities 22.12.2000, EN, L, 327/1.
9. Котовская Е.Е. Сравнение экономической эффективности различных коагулянтов при очистке природных вод //Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: 2017. №57. С.62 - 128.

Kotovskaya E. E.

### EVALUATION OF QUALITY INDICATORS OF SOURCES OF CENTRALIZED DRINKING WATER SUPPLY OF SIMFEROPOL AND THEIR IMPACT ON THE TECHNOLOGY OF WATER PURIFICATION

**Annotation.** The paper presents materials of statistical processing of the qualitative composition of water in terms of turbidity, chromaticity and cermanganate oxidizability of data from the central accredited laboratory "Water of the Crimea" for a long period. The maximum, minimum values, mathematical expectation, variance are determined, analytical descriptions of regularities of distribution of the considered indicators are received.

**Key words:** sources of centralized drinking water supply, water treatment facilities, differential distribution density



## ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Бекиров Э.А., Асанов М.М., Поляновский Д.В.

Физико-технический институт ФГАОУ ВО  
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
Адрес: г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
E-mail: kaf\_energo@cfuv.ru

**Аннотация.** В работе проанализировано влияние несинусоидальности напряжения и тока на работу электрооборудования. Показаны основные виды воздействий, которые оказывают гармоники на электроустановки. Отмечена возрастающая роль математического моделирования и алгоритмизации в исследовании качества электроэнергии. Разработан алгоритм и программа, позволяющая определять параметры гармонического сигнала. Сигнал может быть выбран из базы данных программы, задан таблицей или в виде графика, нарисованного от руки. Вывод результатов вычислений происходит с помощью инструментов TextVox.

**Ключевые слова:** алгоритм, анализ, коэффициенты высших гармоник, математическая модель

### ВВЕДЕНИЕ

Под качеством электроэнергии понимают степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей качества электроэнергии [1].

Нормы и показатели качества электроэнергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения устанавливаются соответствующими стандартами [1 – 3].

Несинусоидальность напряжений и токов негативным образом сказывается на качестве электроэнергии. Причиной искажений кривых напряжений и токов является наличие в электрической сети нелинейных нагрузок, которые становятся источниками гармонических токов. При прохождении гармонических токов возникает гармоническое напряжение через сопротивление сети, соответственно, вызывая искажение напряжения питания. Примером нелинейных нагрузок являются нагрузки, в которых используется силовая электроника, количество которых непрерывно увеличивается. Среди видов воздействий, которые оказывают гармоники на электроустановки, выделяют следующие:

- увеличение потерь в проводниках, электрических машинах, конденсаторах;
- снижение рабочих параметров оборудования;
- возмущающее воздействие на чувствительные нагрузки (регулирующие устройства, компьютерное оборудование, устройства контроля и управления);
- экономические потери, в том числе, сокращение срока службы оборудования, ложное срабатывание и отключение электроустановок [4].

Количественными оценками несинусоидальности, допустимые значения

которых регламентируются стандартами, являются суммарный коэффициент гармонических составляющих и коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей [5].

Для измерения гармонического состава напряжения могут быть использованы два метода: гармонический анализ осциллограмм напряжения и аппаратный анализ, основанный на применении различных анализаторов.

Гармонические составляющие можно измерять поочередно или одновременно: первый способ анализа называется последовательным, а второй – параллельным.

Аппаратурный анализ спектра может производиться различными методами. Наиболее распространенные из них:

- 1) метод избирательных систем;
- 2) метод биений;
- 3) гетеродинный метод.

По первому методу спектр исследуемого напряжения последовательно или параллельно расщепляется избирательной системой на отдельные гармонические составляющие, которые затем измеряются. В качестве избирательных систем используются пассивные и активные фильтры.

Сущность метода биений сводится к наблюдению интерференции двух близких по частоте колебаний, одно из которых представляет собой неизвестную составляющую исследуемого напряжения, а другое – напряжение измерительного генератора. Когда разность между частотами указанных напряжений равна долям периода, стрелка измерительного прибора отклонится. Чем меньше эта разность, тем больше отклонение стрелки.

Гетеродинный метод анализа основан на преобразовании напряжения исследуемой частоты в напряжение другой постоянной частоты, на которую настроена избирательная система. Определение частоты составляющей

исследуемого напряжения производится по частоте генератора (гетеродина), которая требуется для указанного преобразования.

Определение составляющих высших гармоник при несинусоидальных напряжениях и токах является одной из актуальных задач современной электроэнергетики. В частности, при анализе гармонических составляющих со стороны поставщика электроэнергии (в точке подключения сети) определяются коэффициенты гармонических искажений напряжений и токов. Если их значения превышают установленные стандартами, то в основных точках размещают специальные устройства для снижения величины этих коэффициентов до необходимого уровня, в том числе, устройства по компенсации реактивной мощности. Отдельные изменения могут быть внесены для наиболее уязвимых участков электрической сети [5].

Для исследования сигнала напряжения и тока с целью выявления гармонических составляющих активно используются всевозможные программные комплексы и методы математического моделирования [6 – 10].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что совершенствование методики, разработка новых моделей и программ для определения коэффициентов гармонических составляющих и фаз является важной задачей в определении качества электроэнергии.

Существует множество программ для анализа сигналов, в частности, – TFastFourier, FourSynthesis, FFTAnalysis [11].

Программа TFastFourier может преобразовывать массивы данных объемом до 16 млн. выборок в обоих направлениях и предлагает несколько наиболее важных программных функций (например, Хэмминга, Блэкмана, косинус квадрат и др.). Она вычисляет действительную и мнимую части, спектр мощности, величину и фазу спектра сигналов. Источник ввода сигнала – программа. Преимущества программы – готовые модели сигналов, простой дисплей, большие возможности для преобразования выборок. Недостатки программы – малый дисплей, очень маленькая группа сигналов, отсутствует пользовательский ввод сигнала.

Программа FountSynthesis использует обратное преобразование Фурье для синтеза сигнала. Пользователь сразу видит влияние изменения коэффициентов ряда Фурье на анализируемый сигнал. Источник сигнала – программа. Преимущества программы – возможность регулирования сигнала, удобный интерфейс, возможность ввода сигнала программой, удобное окно вывода графических данных. Недостатки программы – имеет относительно малую функциональность, отсутствует ввод данных для сигнала.

FFTAnalysis отображает Фурье–спектр периодического сигнала. Пользователь может

отрегулировать уровень шума и частоту одного из компонентов сигнала. Источник сигнала – программа. Преимущества программы – возможность регулировать сигнал с помощью двух регуляторов, возможность менять результат с помощью дополнительных инструментов. Недостатки программы – отсутствует пользовательский ввод данных для сигнала, результат выводится графиком, отсутствует вывод коэффициентов на экран.

Несовершенство имеющихся программ ведет к получению недостоверных результатов, что в свою очередь приводит к погрешности в определении коэффициентов гармонических искажений и фазового угла.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, была поставлена задача создания программы для анализа гармонических составляющих сигналов токов и напряжений с возможностью вывода результатов в удобном для пользователя виде.

## ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Для решения этой задачи был разработан алгоритм математической модели разложения сигнала в ряд Фурье (рис. 1). Программа, реализующая данный алгоритм, написана на языке VisualBasic.Net.

Программа создавалась в несколько этапов. Вначале была разработана простая мини-программа, в которой была возможность задать оси координат, функцию, построить ее график и посчитать ее интеграл.

Внешний вид главной страницы такой мини-программы представлен на рис. 2. В этой программе можно использовать только готовые модели сигналов для получения результата.

При создании окончательной версии программы за основу была взята разработанная мини-программа, в которую были добавлены новые программные функции, процедуры, объекты и формы (рис. 3).

Главной задачей было «научить» программу интегрировать значения каждого участка, сохранять в массив переменной и визуализировать их на графике.

Как известно, функцию  $f(t) = A_m \sin(\omega t + \varphi)$  вещественной переменной  $t$ , определенную в каждой точке промежутка  $[\theta, \theta + 2\pi]$  можно представить в виде ряда:

$$b_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin kt + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cos kt,$$

где  $b_0$ ,  $a_k$ ,  $b_k$  – независимые от  $t$  коэффициенты [12].

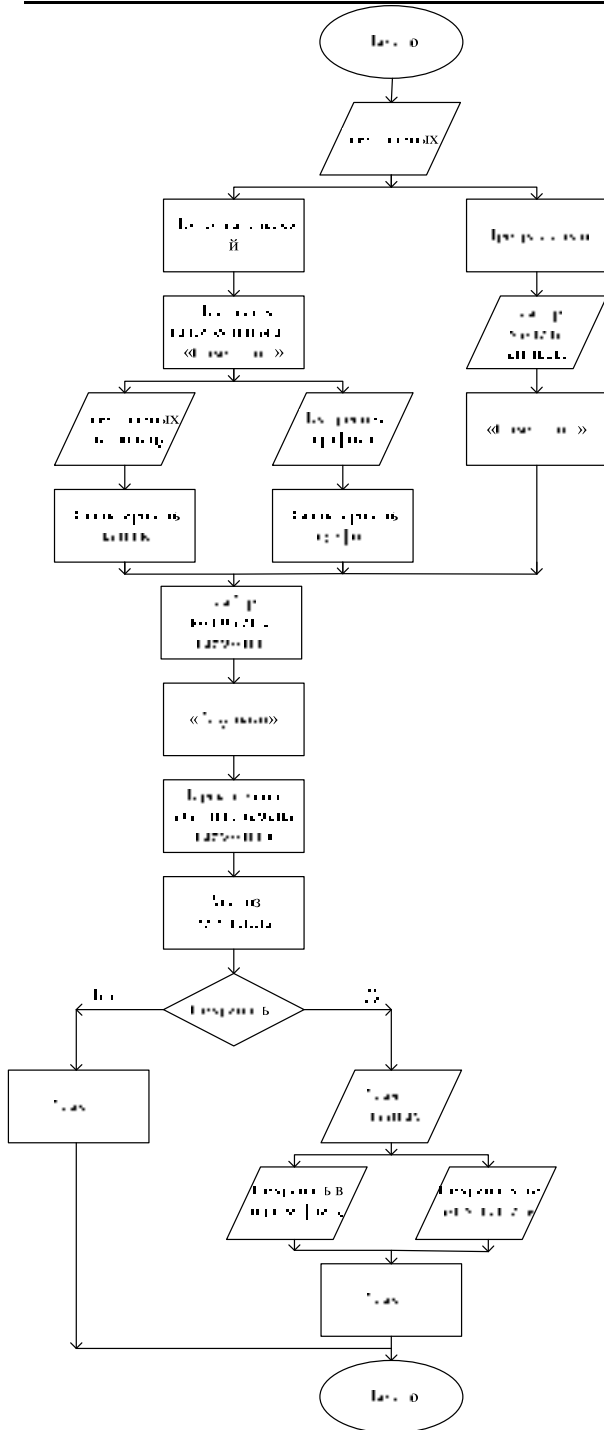


Рис. 1. Алгоритм математической модели разложения сигнала в ряд Фурье

Программный код для расчёта коэффициентов  $a_k$ ,  $b_k$  выглядит следующим образом:

```
'Задаём счётчик до k(количество гармоник)
For j = 0 To k
'Обнуляем суммы для коэффициентов
suma = 0
sumb = 0
'Считаем в цикле интеграл для коэффициентов
For i = 0 To n - 1
```

```
'Рассчитываем x
tt = tmin + dt * i
'Считаем начальное значение для ak, bk
suma += ft(i) * Cos(w1 * j * tt) * dt
sumb += ft(i) * Sin(w1 * j * tt) * dt
Next
'Считаем коэффициенты ak, bk
ak(j) = 2 / tmax * suma
bk(j) = 2 / tmax * sumb
'Задаём счётчик (в данном случае от 1)
For j = 1 To k
For i = 0 To n - 1
'Рассчитываем (x)
tt = tmin + dt * i
'Рассчитываем суммарное значение (для графика)
Ffur(j, i) = ak(j) * Cos(w1 * j * tt) + bk(j) * Sin(w1 * j * tt)
Next
Next
```

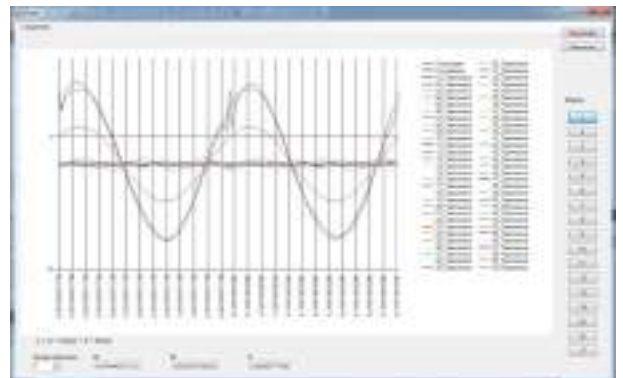


Рис. 2. Внешний вид главного окна первой мини-программы



Рис. 3. Внешний вид главного окна окончательной версии программы

Программный код для расчёта угла  $\phi$  и амплитуды  $A_m$  выглядит следующим образом:

```
'Задаём счётчик от 0 до k(число гармоник)
For j = 0 To k
'Рассчитываем угол fi
fi(j) = Atan(bk(j) / ak(j))
'Расчёт угла в градусах
```

$$q(j) = (f_i(j) * 180) / \text{PI}$$

'Расчёт амплитуды

$$Am(j) = \text{Sqrt}(ak(j) ^ 2 + bk(j) ^ 2)$$

Вывод результатов на экран пользователя происходит с помощью инструментов TextBox. Для расширения возможностей программы была реализована возможность ввода данных в форме таблицы DataGridView (Рис. 4) и графика, нарисованного от руки PictureBox (Рис. 5).

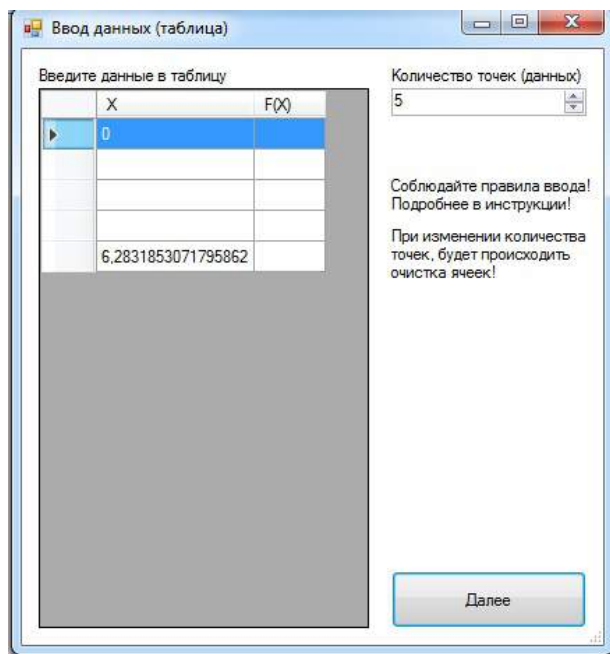


Рис. 4. Внешний вид окна ввода данных в форме таблицы

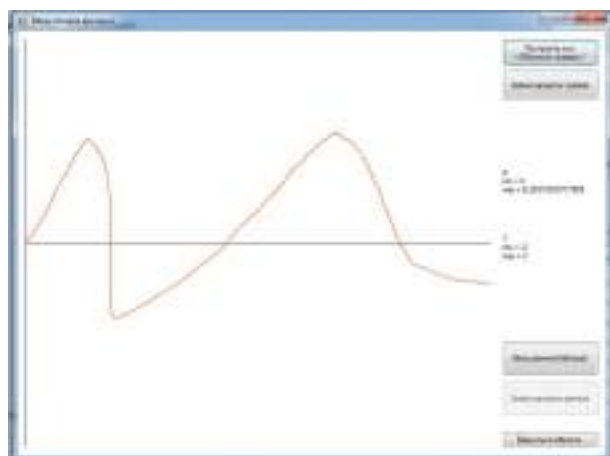


Рис. 5. Внешний вид окна ввода данных в форме графика, нарисованного от руки

Программные коды для ввода данных в форме таблицы и в виде рисунка выглядят следующим образом:

```
'Фиксируема ячейки
Dim pntF(nRows - 1) As PointF
'Задаем цикл
For i = 0 To nRows - 1
'Сохраняем массив точки
pntF(i) =
New PointF(DataGridView1.Rows(i).Cells(0).
```

```
Value,
DataGridView1.Rows(i).Cells(1).Value)
Next
'Фиксируем объект
Me.Tag = pntF
'Закрываем окно
Me.Close()

'Рисование вниз
'x=координате в пространстве оси X
Dim x As Integer = e.Location.X
'y=координата в пространстве оси y
Dim y As Integer = e.Location.Y
'Задаем условия
If x <> 0 Then x = 0
'Задаем новые точки
pnt = New List(Of PointF)
pp = New PointF(x, y)
'Сохраняем
pnt.Add(pp)
'Возвращаем значение "Правда"
isDraw = True
'Выводим g на график
g = Graphics.FromImage bmp)
'Рисование вверх
'Если isdraw не правда то выйти из
процедуры
If Not isDraw Then Exit Sub
'Повторяем приравнивание координат
Dim x As Integer = e.Location.X
Dim y As Integer = e.Location.Y
'Задаем условия
If x <> w Then x = w
'Задаем точки
pnt.Add(New PointF(x, y))
'Рисуем
g.DrawLine(pnGraphics, pp,
pnt(pnt.Count - 1))
'Возвращаем значение "Ложь"
isDraw = False
'Освобождаем
g.Dispose()
'Вывод на экран
PictureBox1.Image = bmp
'Рисование по сторонам
'Если isdraw есть то
If isDraw Then
'Приравнивание координаты
Dim x As Integer = e.Location.X
Dim y As Integer = e.Location.Y
'Задаем условия
If x <= pp.X Then Exit Sub
'Новые точки
Dim p As PointF = New PointF(x, y)
'Рисуем
g.DrawLine(pnGraphics, pp, p)
'Добавляем точки
pnt.Add(p)
pp = p
'Вывод на экран
PictureBox1.Image = bmp
```

**EndIf**

Пользователю предоставлено право выбора сигнала для анализа: задать сигнал с помощью готовых моделей или ввести данные вручную одним из предоставленных способов. Для перехода в режим ручного ввода достаточно поставить галочку в окне «CheckBox», после чего в окне «Ввод данных» (Рис. 6) требуется выбрать один из способов ввода информации. После ввода данных необходимо подтвердить их соответствующей кнопкой.

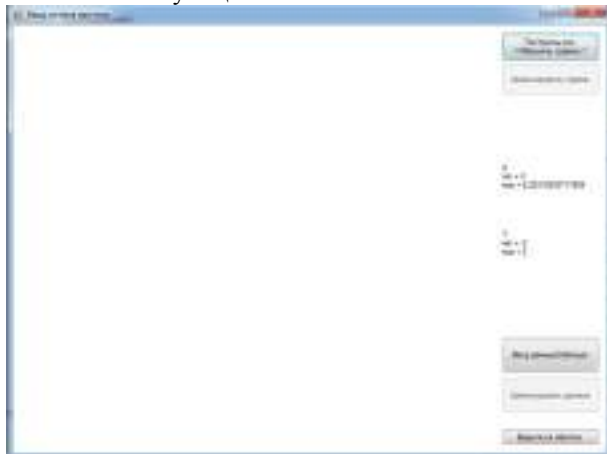


Рис. 6. Внешний вид окна ввода данных

При необходимости ввода данных программой, т.е. с помощью готовых моделей, следует выбрать один из сигналов и произвести симуляцию данной модели. После выполнения всех действий нужно выбрать количество гармоник (на счётчике) и нажать «Результат». На экран будет выведено следующее: «Суммарное значение»,  $k$ -я гармоника (с возможность регулирования номера с помощью счётчика), а также кривые гармонических составляющих. Ниже в «Панели решений» будут представлены результаты по коэффициентам  $a_k$ ,  $b_k$ , углу  $\varphi$  и амплитуды  $A_m$ .

Счётчики (NumericUpDown) – достаточно удобное решение для того, чтобы у пользователя была возможность видеть не только график, но и результат на панели решений. Полученный результат пользователь может сохранить.

## ВЫВОДЫ

Наличие высших гармоник сигнала напряжения и тока крайне негативно сказываются на качестве электроэнергии, и, в результате, на надежности, эффективности и долговечности работы электрооборудования, что несет большие экономические потери его эксплуатантам. Анализ литературы показал, что вопросу вычисления коэффициентов гармонических составляющих при исследовании качества электроэнергии уделяется большое внимание. В частности, приобретает популярность использование различных математических моделей и алгоритмов для

определения параметров напряжения и тока. Результатом данной работы является алгоритм и реализующая его программа для исследования гармонических составляющих напряжений и токов. Она позволяет рассчитывать для гармонического сигнала коэффициенты  $a_k$ ,  $b_k$  его разложения в ряд Фурье, а также его амплитуду  $A_m$  и начальную фазу  $\varphi$ . Ввод сигнала для анализа возможен тремя способами: выбором из готовых моделей, заложенных в память программы; с помощью таблицы; с помощью графика, нарисованного вручную.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1997. 44 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
4. Измерение и устранение гармоник. Выпуск № 30. Техническая коллекция Schneider Electric, 2009. 48 с.
5. Зырянов В.М. Анализ гармонического состава тока и напряжения на шинах 0,4 кВ КТПН и применение устройств ограничения высших гармоник / В.М. Зырянов, Н.А. Митрофанов, Ю.Б. Соколовский // Вестник ИрГТУ. 2016. № 2 (109). С. 61 – 67.
6. Запальский В.Н. Спектральный анализ токов и напряжений автономных электроэнергетических систем / В.Н. Запальский // Вестник КГПУ им. Михаила Остроградского. 2007. Выпуск 6 (47). С. 12 – 16.
7. Куцыло А.В. Гармонический анализ токов и напряжений, полученных в результате вычислительного эксперимента / А.В. Куцыло, А. А. Мазуренко, И.В. Новаш // Энергетика. Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. 2011. № 2. С. 11 – 15.
8. Шклярский Я.Э. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения / Я.Э. Шклярский, А.А. Брагин, В.С. Добуш // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 4. С. 26 – 31.
9. Разработка программно-аппаратного комплекса для оценки технического состояния машинных агрегатов с электрическим приводом / А.В. Самородов, М.Г. Баширов, Д.Г. Чурагулов, А.А. Абдуллин // Электронный

научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 10 – 20.

10. Елизаров Д.А. Повышение точности оценки показателей несинусоидальности напряжения в электроэнергетических системах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.02 / Дмитрий Александрович Елизаров. – Омск 2014. – 154 с.

11. SDL Component Suite Fourier [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.lohninger.com/fourier.html?referrer=googlefft>.

12. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго; пер. с фр. под ред. К. С. Шифрина. – М.: Наука, 1964. – 772 с

Bekirov E. A., Asanov M. M., Polyanovsky D. V.

## PROGRAM FOR THE ANALYSIS OF VOLTAGES AND CURRENTS HARMONIC COMPONENTS

**Annotation.** The influence of non-sinusoidal voltage and current on the electrical equipment operation is analyzed. The main types of influences that harmonics have on electrical equipment are shown. The increasing role of mathematical modeling and algorithmization in the study of electricity quality is noted. An algorithm and a program for determining the parameters of a harmonic signal are developed. A signal can be selected from the program database, set by a table or as a hand-drawn graph. Calculation results output is performed using the TextBox tools.

**Key words:** algorithm, analysis, higher harmonics coefficients, mathematical mode

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГАЗА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Дихтярь Т.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
 ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
 295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
 e-mail: energia-09@mail.ru

**Аннотация.** В статье определено количество газа, удаляемого в дегазаторе в зависимости от разности концентраций газа в воде и воздухе. Сущность физических методов дегазации. Процесс деаэрации воды осуществляется с помощью процесса массообмена двухфазных потоков. Описание взаимодействия между фазами, протекание процессов под изменением температур соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения эффекта дегазации.

**Ключевые слова:** жидкая фаза, газообразная фаза, дегазатор, концентрация газа, коэффициент диффузии, поверхность раздела фаз.

### ВВЕДЕНИЕ

Дегазационные установки применяются для удаления растворенных газов из сточных вод. Наличие газов затрудняет очистку и использование сточных вод, вызывает или усиливает коррозию конструкционных материалов трубопроводов и сооружений, а также придает сточным водам неприятный запах. При дегазации чаще всего из сточных вод удаляются кислые ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) или щелочные ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{NH}_2$ ) газы.

Принудительная дегазация сточных вод производится в аппаратах трех основных видов: посадочных, барботажных и вакуумных. Эффективность дегазации зависит от вида сточных вод и характера содержащихся в них загрязнений.

Обычно из воды приходится удалять углекислоту, сероводород, кислород и реже метан. Первые три коррозионно-активных газа обуславливают либо катализируют процессы коррозии металла, а диоксид углерода(IV) вызывает коррозию бетона. Метан, выделяющийся из воды в процессе ее обработки, образует с воздухом в помещении водоочистного комплекса взрывоопасную смесь, а сероводород придает воде неприятный запах. Кроме того, при водород-катионитовом умягчении и ионитовом обессоливании воды, а также при обезжелезивании и деманганации подземных бикарбонатных вод приходится решать задачу удаления свободной углекислоты. При подготовке питательной воды, а также воды теплоцентрали необходимо удалять из нее кислород в целях предотвращения коррозии металла. Отсюда становится очевидной необходимость возможно полного удаления из воды растворенных в ней газов.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Дегазацию сточных вод осуществляют химическими (с применением реагентов) или

физико-химическими методами (нагреванием и вакуумированием) и продувкой воздухом - аэрацией. Кроме того, для извлечения сероводорода используется биохимический метод, основанный на окислительной способности микроорганизмов. Сущность химически методов заключается в использовании определенных реагентов, которые связывают растворенные в воде газы.

Сущность физических методов дегазации заключается в следующем: вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю; создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой. С помощью первого приема, аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту и сероводород, нулю. Ко второму приему обычно прибегают при извлечении кислорода из воды. В этом случае ввиду значительного парциального давления кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород удалить нельзя, поэтому воду доводят до кипения, тогда растворимость всех газов в ней падает до нуля. Для этого применяют либо нагревание воды, либо понижение давления до величины, при которой вода кипит без дополнительного подогрева поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к в вакуумных дегазаторах[1].

Двухфазные потоки представляют собой неоднородные системы с поверхностью раздела фаз, именуемой для систем газ-жидкость, пар-жидкость и жидкость-жидкость свободной поверхностью. Решающее влияние оказывает взаимодействие между фазами. В отличие от однофазных потоков на границе раздела двухфазных потоков проявляются принципиально новые силы – силы межфазного поверхностного натяжения. Эти силы производят работу образования поверхности жидкости на границе ее раздела. Работа, затрачиваемая на образование  $1 \text{ см}^2$  поверхности, называется поверхностным натяжением[2].

При рассмотрении потока в целом, необходимо выделить в нем два основных направления: вдоль него и поперек.

Продольное направление соответствует движению потока. Именно в этом направлении осуществляется основной конвективный перенос. Однако в процессах массообмена вещество переходит из фазы в фазу в направлении, поперечном движению фаз. При этом турбулентное перемешивание выравнивает концентрации по поперечному сечению – в этом случае говорят о гораздо большей величине, чем молекулярная диффузия – турбулентной диффузии –  $D_{\text{турб}}$ , но дойти до стенки частица не может, так как около нее образуется тонкий пограничный слой. В пограничном слое перенос осуществляется преимущественно молекулярной диффузией. Поэтому в условиях пограничного слоя в уравнение

$$q_m = -D \cdot \text{grad}C$$

входит коэффициент молекулярной диффузии  $D$ .

Резкое уменьшение коэффициента диффузии из-за перехода от конвективного переноса к молекулярному приводит к резкому возрастанию градиента концентрации. Профиль концентрации в турбулентном потоке в целом можно описать так: в ядре потока концентрация выровнена турбулентным перемешиванием; в пограничном слое она резко падает.

Таким образом, скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массообмен. Вещество в фазах может переноситься молекулярной диффузией либо путем конвекции и молекулярной диффузией одновременно[3].

В настоящее время наиболее распространенной теорией, объясняющей механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции, является теория двухслойного поглощения, согласно которой десорбция сводится к последовательной диффузии удаляемого газа через два пограничных слоя — жидкостный и газовый.

При диффузии газа из жидкой фазы в газообразную концентрация его и парциальное давление изменяются в диффузионных пленках[4]. Концентрация газа в жидкой фазе равна концентрации его на границе между жидкостной пленкой и основной массой жидкости; в жидкостной пленке происходит снижение концентрации от величины  $C_1$  до  $C_2$ , отвечающей парциальному давлению  $p_2$  диффундирующего газа на границе раздела фаз; в газовой пленке парциальное давление диффундирующего газа изменяется от величины  $p_2$  до величины  $p_1$  имеющей место на границе газовой пленки и основной массы газа, в которой парциальное давление диффундирующего газа также равно величине  $p_1$ .

По теории двухслойного поглощения, общее сопротивление десорбции  $R$  равно сумме сопротивлений, оказываемых пограничными диффузионными слоями:

$$R = R_1 + R_2 \quad (1)$$

где  $R_1$  — сопротивление жидкостного пограничного слоя;

$R_2$  — сопротивление газового пограничного слоя.

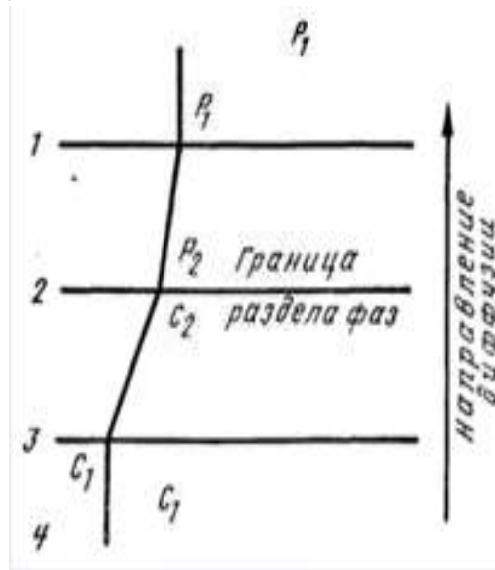


Рис.1. Схема изменения давлений и концентраций газа на границе раздела фаз: 1,4 — газообразная и жидкостная фазы; 2, 3 — газовая и жидкостная диффузионная пленка

Удаление газов из сточных вод аэрацией возможно в том случае, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе меньше парциального давления над поверхностью воды.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы является определение количества газа, удаляемого в дегазаторе в зависимости от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе. Для достижения поставленной цели были исследованы процессы массообмена в двухфазных потоках.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчет процесса деаэрации как процесса массопередачи следует выполнять по уравнению массопередачи[5]:

$$G = K \Delta C F \quad (2)$$

где  $G$  - количество газа, удаляемого в деаэраторе, кг/с;

$K$  - коэффициент массопередачи, м/с;

$\Delta C$  - разница концентраций газа, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  - поверхность контакта воды и газа, м<sup>2</sup>.

Коэффициент массопередачи можно определить по формуле, м/с[6]:

$$K = 2 \sqrt{\frac{Dv}{\pi d}} \quad (3)$$

здесь  $D$  - коэффициент диффузии газа в воде,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$U$  - скорость всплытия пузырьков газа,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$d=10^{-7}$  м – диаметр пузырьков газа, м.

Скорость всплытия пузырьков определяется из выражения[7]:

$$U = \frac{gd^2(1-\rho_r/\rho)}{18\nu}, \quad (4)$$

где  $\rho_r$  — плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho$  — плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости воды,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Скорость удаления газов при прочих равных условиях зависит от коэффициента диффузии[8]:

$$D = D_{20}[1 + 0,02(t - 20)], \quad (5)$$

Коэффициент диффузии не является постоянной величиной; численные значения его обычно берут из справочников.

Коэффициент диффузии зависит, прежде всего, от природы вещества и агрегатного состояния систем; так, коэффициент диффузии для газов примерно на четыре порядка выше, чем для жидкостей. Коэффициент диффузии увеличивается с ростом температуры и уменьшается с повышением давления.

Согласно теории двухслойного поглощения, количество десорбируемого газа[9]

$$G = K_o F \Delta C_{cp}, \quad (6)$$

где  $K_o$  — общий коэффициент десорбции,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$F$  — площадь соприкосновения жидкой и газообразной фаз,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta C_{cp}$  — средняя движущая сила процесса десорбции,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Движущая сила массообменных процессов есть разность между рабочими и равновесными концентрациями. Движущая сила характеризует степень отклонения системы от равновесия. При установлении равновесия между фазами массообмен между ними прекращается.

Чтобы выделение из воды газов шло достаточно быстро и была достигнута глубокая дегазация требуются соответствующие условия.

В вакуумном деаэраторе большая часть газов выделяется из воды в виде пузырьков, которые выходят на поверхность воды. Меньшая, остаточная часть газов выделяется путем диффузии. Диффузия газа идет от внутренних слоев воды, где концентрация растворенных газов больше, к наружным, где концентрация меньше. Затем газы через поверхностную пленку переходят в пар. Скорость диффузии зависит от физических параметров воды: вязкости, поверхностного натяжения и от степени дробления воды. С уменьшением вязкости и поверхностного натяжения, и особенно с увеличением степени дробления воды скорость диффузии увеличивается. Вязкость и поверхностное натяжение, замедляющие диффузию, с повышением температуры

уменьшаются. Поэтому при высокой температуре диффузионный процесс протекает быстрее.

Дробление воды уменьшает путь прохождения газа в воде и ускоряет его выход из нее благодаря увеличению поверхности контакта воды с паром.

В деаэраторе 90-95 % кислорода выделяется из воды в виде пузырьков, остальные 5-10 % кислорода выделяются путем диффузии. Выделение пузырьков происходит сравнительно быстро. Диффузионный процесс протекает медленно. Выделение кислорода и других газов из воды в деаэраторе происходит на всем пути движения воды.

Поступление воды в вакуумный деаэратор сопровождается резким падением общего и парциального давлений газов. Вода становится пресыщенным газовым раствором. В этот начальный период происходит энергичное выделение пузырьков газа из воды. Особенно бурно идет выделение газов при поступлении в деаэратор перегретой воды. Далее при движении воды в деаэраторе пересыщение значительно уменьшается, выделение газов замедляется и идет в основном путем диффузии.

На входе воды в вакуумный деаэратор концентрация газов в воде падает быстро, затем по мере движения воды в деаэраторе их концентрация медленно снижается[5]. Такой характер изменения концентрации газов определяется изменением движущей силы процесса дегазации воды.

Изменения температуры воды и парциальных давлений газов в парогазовой смеси над водой или изменение одного из этих параметров влекут за собой изменение концентрации растворенных газов в воде. В результате нагрева или снижения давления концентрация газа в воде уменьшается. Движущей силой процесса выделения газа из воды является разность между фактической концентрацией газа в воде  $C_1$  и той его концентрацией  $C_p$ , которая должна соответствовать температуре воды и парциальному давлению газа над водой в данный момент времени в определенном месте деаэратора:

$$\Delta C = C_1 - C_p. \quad (7)$$

Чем больше  $\Delta C$ , тем интенсивнее, быстрее протекает процесс дегазации.

Основное расчетное уравнение аппаратов для извлечения из воды растворенных газов десорбцией записывается в следующем виде[5]:

$$F = \frac{G}{K_o \Delta C_{cp}}, \quad (8)$$

$$G = 0,001Q(C_{вх} - C_{вых}), \quad (9)$$

где  $Q$  — производительность аппарата,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Движущая сила изменяется с изменением рабочей концентрации. Поэтому для всего процесса (или для всей поверхности массопередачи) должна быть найдена средняя движущая сила.

Средняя движущая сила процесса десорбции[10]

$$\Delta C_{cp} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{2,3 \lg \frac{C_{вх}}{C_{вых}}}, \quad (10)$$

где  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  — концентрации удаляемого газа в воде соответственно на входе ее в аппарат и на выходе из него.

Таким образом, величина  $\Delta C_{ср}$  зависит от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе.

$\Delta C$  изменяется по высоте деаэрационной колонки.

В верхней части колонки  $\Delta C$  имеет наибольшее значения, в нижней - наименьшее.

Следовательно, после преобразований получим

$$F = \frac{0,001Q(C_{вх} - C_{вых})}{K_0 \Delta C_{ср}} \quad (11)$$

Определим зависимость площади соприкосновения фаз от начальной концентрации газа в воде.

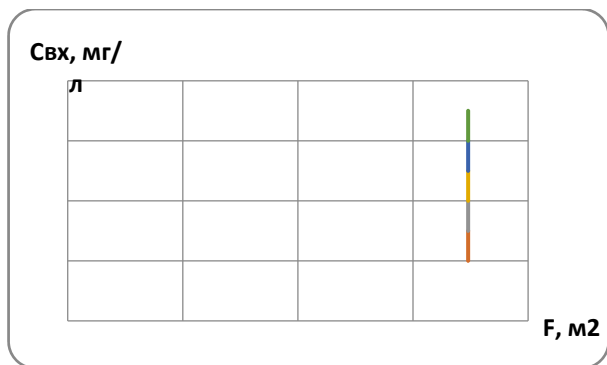


Рис. 2. Зависимость площади соприкосновения фаз от начальной концентрации газа в воде

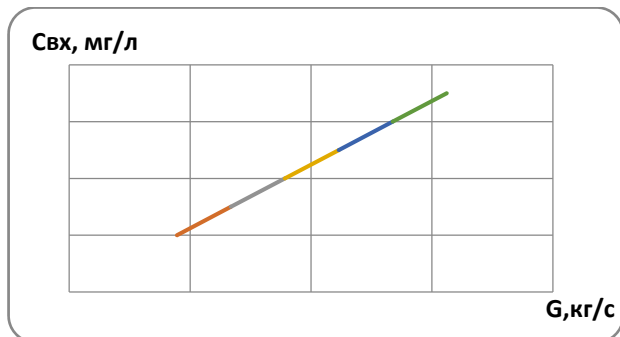


Рис. 3. Зависимость расхода газа от начальной концентрации газа

Из рисунка видно, что площадь соприкосновения фаз не зависит от начальной концентрации газа.

Таким образом, окончательно получим расход газа при дегазации

$$G = \frac{0,0023KQ(C_{вх} - C_{вых})lg \frac{C_{вх}}{C_{вых}}}{K_0} \quad (12)$$

Дегазатор обеспечивает выделение углекислоты газа на 95 % с конечным содержанием приблизительно 20-30 мг/л. На рис. 2 приведена зависимость количества газа, удаляемого в деаэраторе от начальной концентрации газа в воде.

Из графика видно, что количество удаляемого газа прямо пропорционально количеству газа в воде.

Газы, выделяющиеся из воды, должны быть полностью и быстро отведены из деаэратора. В вакуумном деаэраторе это зависит как от работы газоотсасывающего устройства и охладителя выпара, так и от наличия достаточного количества пара, вентилирующего колонку.

Большая часть пара (70 - 90 %), поступающего в вакуумный деаэратор, расходуется на нагрев воды и конденсируется. Конденсат пара смешивается с основным потоком воды. Остальная часть пара проходит через всю колонку. Этот пар вентилирует колонку и сдувает с поверхности воды выделяющиеся газы. Парогазовая смесь - газы в смеси с избыточным паром - выпаром отсасывается из деаэратора. Так как пар конденсируется на всех ступенях деаэрационной колонки, то количество пара, вентилирующего колонку, меняется по ее высоте: через нижние ступени колонки проходит большая часть пара, через верхние - меньшая[11].

При малом нагреве воды и малом выпаре вентиляция колонки вялая, особенно в верхней ее части, что замедляет отвод газов.

На рис. 4 представлена зависимость расхода выделяющегося газа от температуры, анализируя которую, можно сделать вывод, что при увеличении температуры воды количество газа, образующегося при дегазации увеличивается.

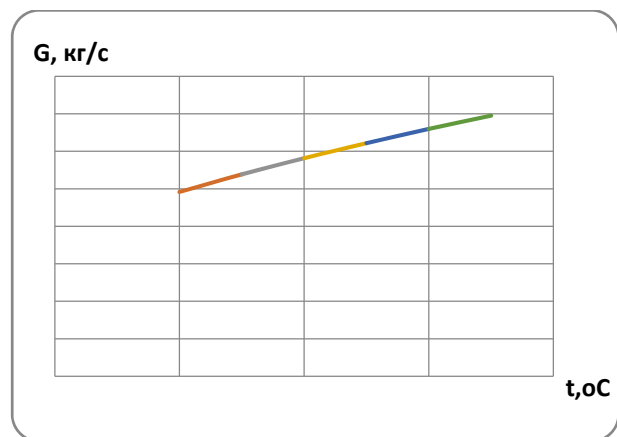


Рис. 4. Зависимость расхода газа при дегазации от температуры воды

В деаэраторе перегретой воды выпар получается при вскипании воды, причем количество выпара определяется величиной перегрева воды. Количество пара, вентилирующего ступени деаэрационной колонки, в деаэраторе перегретой воды меньше, чем в деаэрационной колонке с подачей пара в нее.

Процесс деаэрации воды по мере движения ее через деаэратор постепенно замедляется вследствие понижения движущей силы процесса, поэтому удаление остаточного кислорода в значительной мере зависит от времени пребывания воды в деаэраторе. С увеличением продолжительности процесса увеличивается глубина деаэрации.

Согласно закону Бора, время перехода газа из воды в воздух, т.е. время пребывания воды в деаэраторе, определяется по формуле[12], с:

$$T = \frac{W(lgC_{вх} - lgC_{вых})}{F \cdot K_o \cdot lge}, \quad (13)$$

где  $W$  - объем воды, м<sup>3</sup>;

Подставив выражения (8) и (11) в выражения (13) после преобразований получим:

Время пребывания воды в деаэраторе, с

$$T = \frac{W}{0,0023 \cdot Q \cdot lge}. \quad (14)$$

Объем воды, через который проходит газ, определяется по формуле [10]:

$$W = Fh, \quad (15)$$

где  $h$  - высота струи воды, м.

Подставляя выражения (11) и (15) в выражение (14), получим:

$$T = \frac{lg \frac{C_{вх}}{C_{вых}} h}{K_o \cdot lge}. \quad (16)$$

Определим зависимость времени пребывания воды в деаэраторе от начальной концентрации газа.

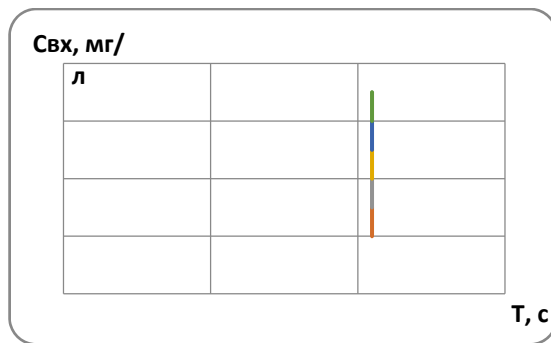


Рис. 5. Зависимость времени пребывания воды в деаэраторе от начальной концентрации газа

Анализируя график, можно сделать вывод, что начальная концентрация газа в воде не влияет на время пребывания воды в деаэраторе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В результате исследований получены зависимости, позволяющие объяснить механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции.

Из величин, входящих в общее уравнение десорбции,  $G$  и  $\Delta C_{ср}$ , могут быть подсчитаны по заданным условиям работы дегазатора. Это уравнение

является основным для расчета десорбционных аппаратов. Из него находят необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации, а, следовательно, и размер проектируемых аппаратов.

## ВЫВОДЫ

Определено количество газа, удаляемого в деаэраторе с учетом изменения концентрации газа в воде и воздухе, что также позволит определить размеры деаэрационной колонки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / Когановский А.М., Клименко А.М. // - М.: Химия, 1983. - 288 с.
2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. I / Нигматулин Р.И. - М.: Наука, 1987. - 464 с.
3. Дейч М.Е. Газодинамика двухфазных сред / Дейч М.Е., Филиппов Г.А. // - М.: Энергоиздат, 1981. - 472 с.
4. Кастальский А.А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки / Кастальский А.А. - М.: Госстройиздат, 1957. - 148 с.
5. Труб И.А. Вакуумные деаэраторы / Труб И.А., Литвин О.П. // - М.: Энергия, 1967. - 100с.
6. Брагинский Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. и др. // - Л.: Химия, 1982. - 48 с.
7. Кафаров В.В. Основы массопередачи / Кафаров В.В. - М.: Высшая школа, 1962. - 439 с.
8. Алексеев Л.С. Улучшение качества мягких вод / Алексеев Л.С., Гладков В.А. // - М.: Стройиздат, 1994. - 152 с.
9. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / Тимонин А.С. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 884 с.
10. Клячко В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. // - М.: Стройиздат, 1971. - 356 с.
11. Кириш А.К. Деаэрация в конденсаторах паровых турбин / Кириш А.К., Лагун В.П., Симою Л.Л., Нахман О.В. и др. // «Теплоэнергетика», № 10, 1977. - с.
12. Золотова Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. // - М.: Стройиздат, 1975. - 176 с.

Dihtjar T. V.

## DETERMINATION OF THE GAS COMPOSITION FROM VARIOUS INDUSTRIAL AND HOUSEHOLD OBJECTS

**Annotation.** The article defines the amount of gas removed in the degasser, depending on the difference in gas concentrations in water and air. The essence of physical methods of degassing. The process of deaeration of water is carried out by means of a process of mass exchange of two-phase flows. Description of the interaction between phases, the course of processes under the change of contact temperatures of the liquid and gaseous phases to ensure the effect of degassing.

**Key words:** liquid phase, gaseous phase, degasser, gas concentration, diffusion coefficient, phase interface.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАЛЕСТИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Ахмед Алькаата

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

**Аннотация.** В работе проведен анализ климатических характеристик Сектора Газа для определения возможности размещения установок, использующих возобновляемые источники энергии. Осуществлен расчет скоростей ветра при размещении ветрогенераторов на различной высоте. Приведена оценка мощности одиночно стоящей установки при скоростях ветра от 3 до 19 м/с. Для Сектора Газа определены мощности и вырабатываемое количество электрической энергии для различных типов ветроэлектростанций. Также приведены удельные показатели для оценки экономической возможности сооружения ветроэлектростанций.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная электростанция, ветровая электростанция, скорость ветра, мощность.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы ввиду быстрого роста населения Земли требуется увеличение электрической и тепловой энергии для обеспечения нужд населения, строительства и повышения мощностей промышленных предприятий и сельскохозяйственных организаций. В связи с этим наблюдается рост использования традиционных ресурсов для выработки электрической и тепловой энергии – углеводородов. Это в свою очередь приводит к ухудшению экологической обстановки в регионе, особенно если имеются большие скопления энергогенерирующих предприятий. Также возрастают риски, связанные с обеспечением безопасного хранения, транспортировки и сжигания угля, нефти, газа и других углеводородосодержащих материалов и сырья. Другой составляющей вопроса энергообеспечения различных регионов является неравномерное распределение ресурсов. На планете есть страны, на территории которых наблюдается ограниченное количество полезных ископаемых и углеводородов. Транспортировка из других стран сопряжена с рядом проблем, таких как необходимость строительства нефтепроводов и газопроводов. Одной из таких стран с ограниченными ресурсами является Палестина.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исходя из вышеизложенного, развитие альтернативной возобновляемой энергетики на территории данной страны чрезвычайно важно. В качестве примера будем рассматривать один из регионов Палестины – Сектор Газа, зависимый от импорта энергоносителей. Еще одной причиной для внедрения возобновляемой энергетики является рост экологических проблем при использовании в качестве сырья для электростанций углеводородов, что приводит к выбросам CO и CO<sub>2</sub>, а следовательно, к изменению климата. Данный

фактор особенно важен для курортных регионов, расположенных на побережье Средиземного моря.

После обострения энергетического кризиса в Секторе Газа использование возобновляемых источников энергии, и особенно, энергии ветра и солнца является предпочтительным для выработки электрической и тепловой энергии, так как перебои в подаче электроэнергии составляли до 18 часов и приводили к нарушению рабочих технологических процессов промышленных предприятий и производств. Также перебои в электроснабжении, возникающие в результате повреждения электростанций и распределительных устройств, приводили население к использованию генераторов и свечей в качестве источника света. От ожогов, пожаров и взрывов генераторов за небольшой период 2016 года, согласно медицинским источникам, погибло более 24 человек.

В настоящее время с целью получения тепловой энергии для горячего водоснабжения используются гелиоколлектора, а с целью получения электрической энергии для потребителей малой мощности – солнечные батареи [1, 2]. Они устанавливаются на крышах домов, больниц, университетов. Однако перечисленные факторы не решают основную задачу по обеспечению электрической энергией потребителей с большой мощностью для централизованного электроснабжения. Применение других видов электростанций, таких как гидро- [3] и геотермальные [4], ограничено в связи с тем, что не все территории обладают соответствующими ресурсами и потенциалом.

Таким образом, одним из путей повышения энергонезависимости может быть использование ветроэлектростанций. Развитие данной отрасли зависит от большого количества факторов. Состояние и перспективы развития для различных стран мира показано в работах [5 – 13]. Основы расчетов приведены в работе [14].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью объективной оценки возможностей использования возобновляемых источников энергии необходимо проанализировать потенциал солнечной и ветровой энергии Сектора Газа. Это позволит определить территории, которые можно более эффективно использовать для строительства солнечных и ветровых электростанций.

Актуальность задачи обусловлена возможностью уменьшения сжигания органических видов топлива и обеспечением экологической безопасности при использовании энергоустановок возобновляемой энергетики для электроснабжения и теплоснабжения промышленных предприятий и жилых домов.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

*Климатические характеристики.* Рассмотрим теоретическую возможность использования возобновляемых источников энергии для строительства солнечных и ветровых электростанций на территории Палестины. Для этого приведем климатические характеристики. На рисунке 1 показана диаграмма оценки количества солнечных дней, согласно которой ясная погода наблюдается в течение 318 дней в году.

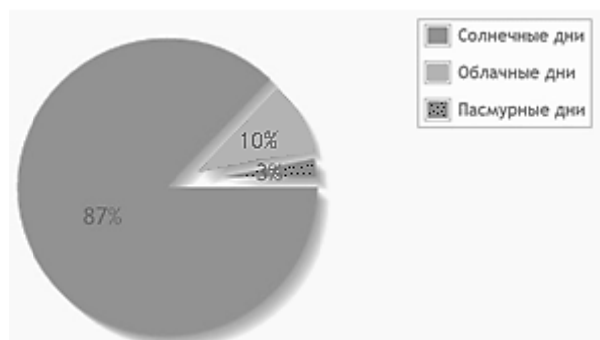


Рис. 1. Солнечные, облачные и пасмурные дни

В таблице 1 приведены значения среднемесячной температуры воздуха в градусах Цельсия, а на рисунке 2 показан график изменения дневной и ночной температуры в 2016 году.

Таблица 1.  
Средняя температура воздуха

Месяцы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Т, °С	15,7	17,7	22,3	24,8	30,5	30,6	34,4	35,9	35,0	29,7	24,1	18,8

Самая высокая дневная температура в августе 2016 года составила 33,7 °С в то время, как минимальная температура ночью опускалась до 26,3 °С. Средний показатель дневной температуры в

течение июня составляет 32,9 °С и превышает показатель ночной температуры на 6,6 °С.

Исходя из вышеизложенных данных и рисунков, температура не изменялась в широком диапазоне и не опускалась ниже 0 °С. Это снижает риск замерзания воды на поверхности солнечных батарей, уменьшает деградационные факторы в связи с резкими перепадами температур и увеличивает надежность работы солнечных батарей.

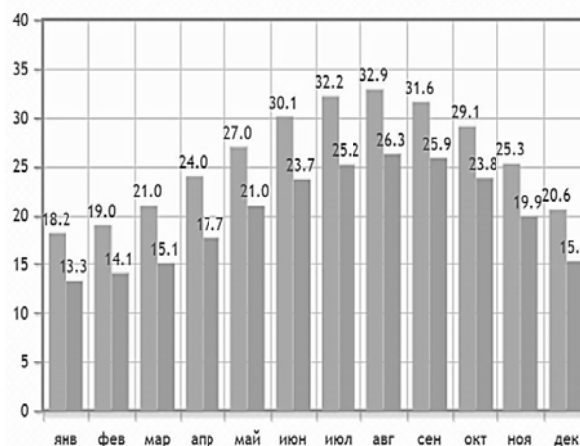


Рис. 2. Изменение температуры воздуха, °С

В таблице 2 приведено среднесуточное количество солнечных часов, позволяющее определить временной диапазон для использования гелиопанелей.

Таблица 2.

Среднесуточное количество солнечных часов

Месяцы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Количество часов, ч.	8,1	9,1	10,2	11,7	12,8	13,9	13,8	13,1	12,0	10,8	9,3	8,7

Диаграмма усредненного количества солнечных часов за день, в течение которых прямые солнечные лучи достигают поверхности земли в Палестине, представлен на рисунке 3. На этот показатель влияют как продолжительность светового дня, так и облачность в дневное время.

В Секторе Газа наибольшее количество солнечных часов наблюдается в июне, то есть, среднесуточное значение составляет 13,9 часов, что на 5,8 часов больше, чем в январе. Таким образом, Палестина обладает значительным потенциалом для развития солнечной энергетики, но в наиболее холодный зимний месяц эффективность работы

уменьшается почти на 40% от максимально возможной.

Рассмотрим ветровой потенциал Сектора Газа Палестины. В таблице 3 показаны среднемесячные скорости ветра для страны в целом, а на рисунке 4 в виде графика приведены данные для региона.

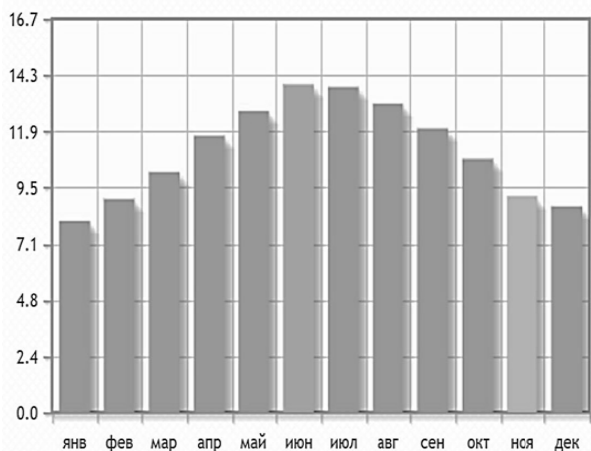


Рис. 3. Усредненное количество солнечных часов

Таблица 3.

Среднемесячные скорости ветра для Палестины

Месяцы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Скорость, м/с	2,83	3,39	2,96	3,3	3,1	3,06	3,26	2,77	2,96	2,32	2,96	2,71

Усредненное значение скорости ветра в июне в Секторе Газа составляет около 4,5 м/с на высоте до 10 метров.

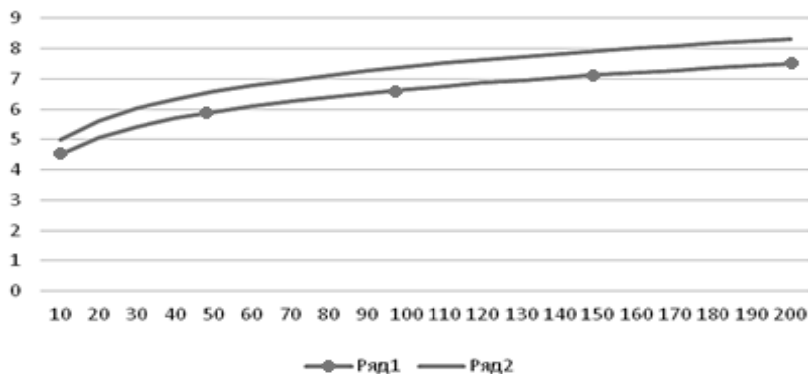


Рис. 5. Зависимость скорости ветра от высоты при  $k = 0,17$ : 1 – при  $V_{10} = 4,5$  м/с; 2 – при  $V_{10} = 5$  м/с

Мощность одной одиночно стоящей ветроэлектрической установки (ВЭУ) определяется соотношением:

$$P_{ВЭУj} = P_j \cdot (V_{ni}), \quad (2)$$

где  $P_j$  – мощность генератора;  
 $V_{ni}$  – скорость ветра на заданной высоте.

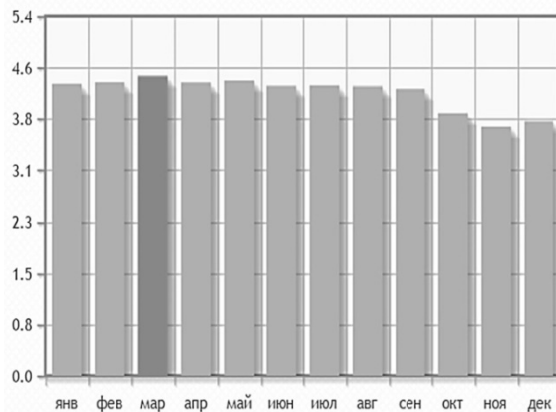


Рис. 4. Скорость ветра в Секторе Газа

Определим скорость ветра на различных высотах по формуле [14]:

$$V_k = V_{10} \left[ \frac{h}{10} \right]^k, \quad (1)$$

где  $V_{10}$  – скорость ветра по данным метеозмерений на высоте 10 м;

$h$  – высота башни ветроэнергоустановки (ВЭУ) до оси ротора ветротурбины;

$k$  – коэффициент пересчета (критерий Хеллмана [1]), принимаемый равным  $0,15 \div 0,17$ , для некоторых регионов этот коэффициент, полученный в результате экспериментальных исследований, может быть равным  $0,2$  [2] и более.

Проведем расчет по формуле (1) для случаев, когда критерий Хеллмана равен  $0,17$  и  $0,2$ . При этом возьмем скорости ветра на высоте до 10 метров  $4,5$  м/с и  $5$  м/с.

На рисунках 5 и 6 показано изменение скорости ветра при увеличении высоты расположения ветроэлектрогенератора: верхняя кривая – при скорости ветра  $V_{10} = 5$  м/с, нижняя – при скорости ветра  $V_{10} = 4,5$  м/с.

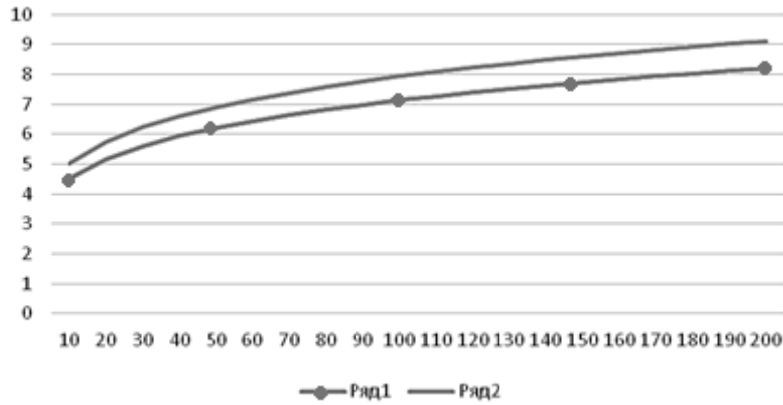


Рис. 6. Зависимость скорости ветра от высоты при  $k = 0,2$ : 1 – при  $V_{10} = 4,5$  м/с; 2 – при  $V_{10} = 5$  м/с

Расчет мощностной характеристики ВЭУ на начальном участке характеристики в зависимости от скорости ветра производится по формуле:

$$P_{ВЭУ}(V_i) = \rho \cdot C_p \cdot S_0 \cdot \eta \cdot \frac{V_i^3}{2} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, принимается равной  $1,226 \text{ кг/м}^3$ ;

$C_p$  – средний коэффициент использования энергии ветра, принимается  $0,31$ ;  
 $S_0$  – площадь колеса ВЭУ,  $\text{м}^2$ ;  
 $\eta$  – суммарный КПД ВЭУ, равный  $0,8$ ;  
 $V_i$  – скорость ветра, м/с.

Для скоростей ветра от  $V_{нач} = 3$  м/с до  $V_{ном}$  принимаем величину шага  $\Delta V = 1$  м/с и строим график зависимости выходной мощности ВЭУ от скорости ветра (рисунок 7).

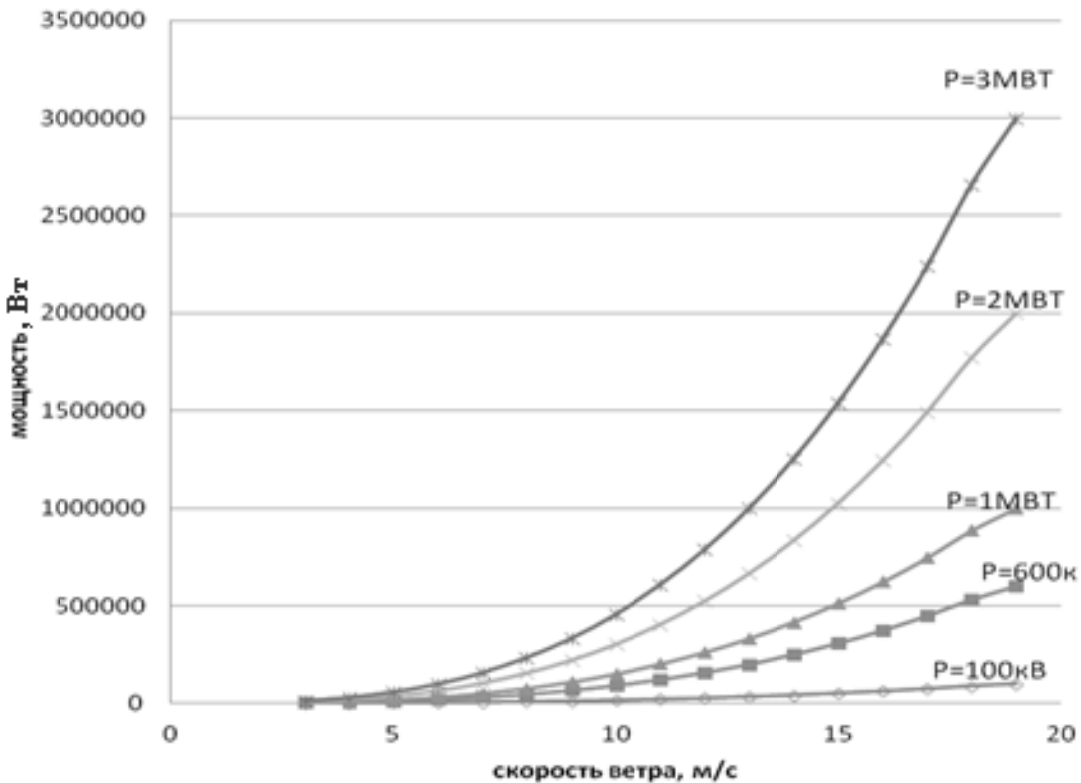


Рис. 7. Зависимость мощности различных ВЭУ от скорости ветра

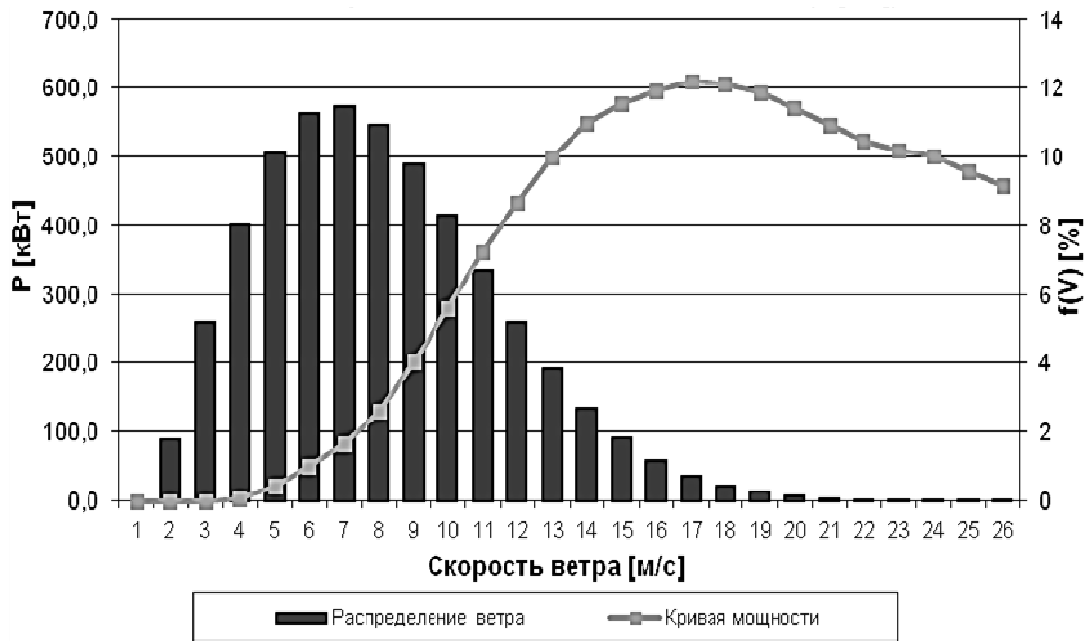
В результате анализа расчетных значений и приведенных графиков (рисунок 7) можно сделать вывод о возможности использования различных модификаций ВЭУ и величине мощности, которую они могут развивать. Для ВЭУ типа GAMESA G52–850 кВт при высоте башни 65 м и скорости ветра (среднестатистической) 7,2 м/с мощность,

развиваемая установкой, составляет 32,3 кВт, что соответствует 38% от установленной мощности.

На рисунках 8 – 15 приведены графики зависимости мощности  $P = f(V)$  и годовой выработки электроэнергии  $W = f(V)$  от скорости ветра, а также технические параметры различных ВЭУ.

Тип ВЭУ	Bonus-600kW Mk4
1) Номинальная мощность	600 кВт
2) Высота оси вращения ротора	60,00 м
3) Диаметр ротора	44,00 м
4) Высота для расчета среднегодовой скорости ветра	60,00 м
5) Высота измерения скорости ветра	10,0 м
6) Среднегодовая скорость ветра на высоте измерения	6,44 м/с
7) Коэффициент формулы Хеллмана	0,2
8) Среднегодовая скорость ветра	7,15 м/с

а)



б)

Рис. 8. Параметры ВЭУ Bonus-600kW Mk4: а) технические характеристики; б) график зависимости мощности и функции распределения от скорости ветра

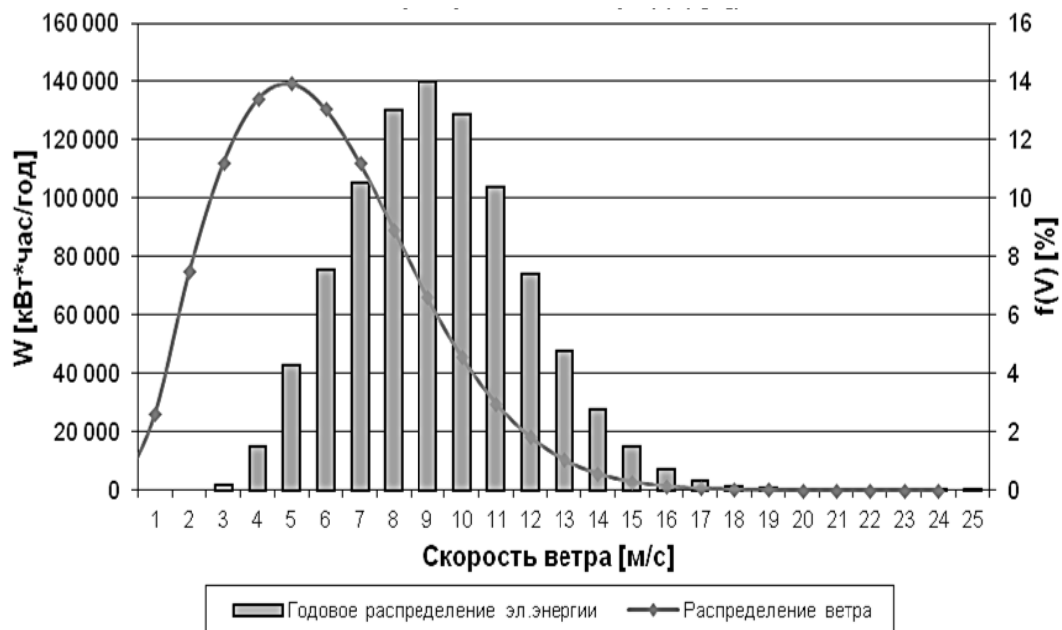
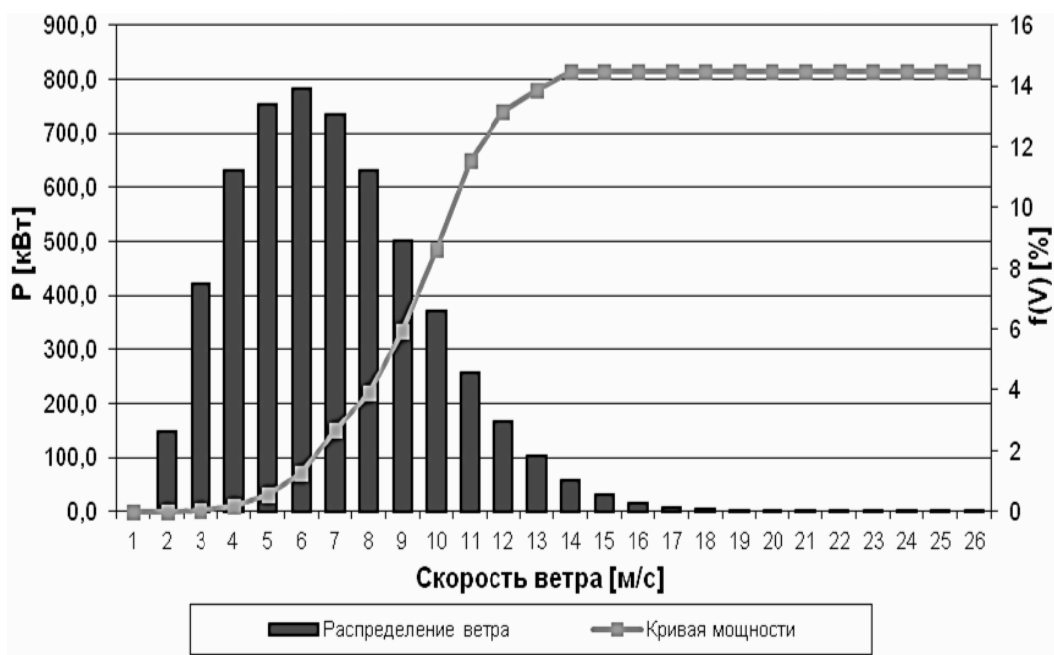


Рис. 9. Зависимость вырабатываемой электроэнергии и функции распределения от скорости ветра для Bonus-600kW Mk4

Тип ВЭУ	Enerson E-53
1) Номинальная мощность	800 кВт
2) Высота оси вращения ротора	60,00 м
3) Диаметр ротора	53,00 м
4) Высота для расчета среднегодовой скорости ветра	60,00 м
5) Высота измерения скорости ветра	10,0 м
6) Среднегодовая скорость ветра на высоте измерения	6,82 м/с
7) Коэффициент формулы Хеллмана	0,17
8) Среднегодовая скорость ветра	7,57 м/с

а)



б)

Рис. 10. Параметры ВЭУ Enerson E-53: а) технические характеристики; б) график зависимости мощности и функции распределения от скорости ветра

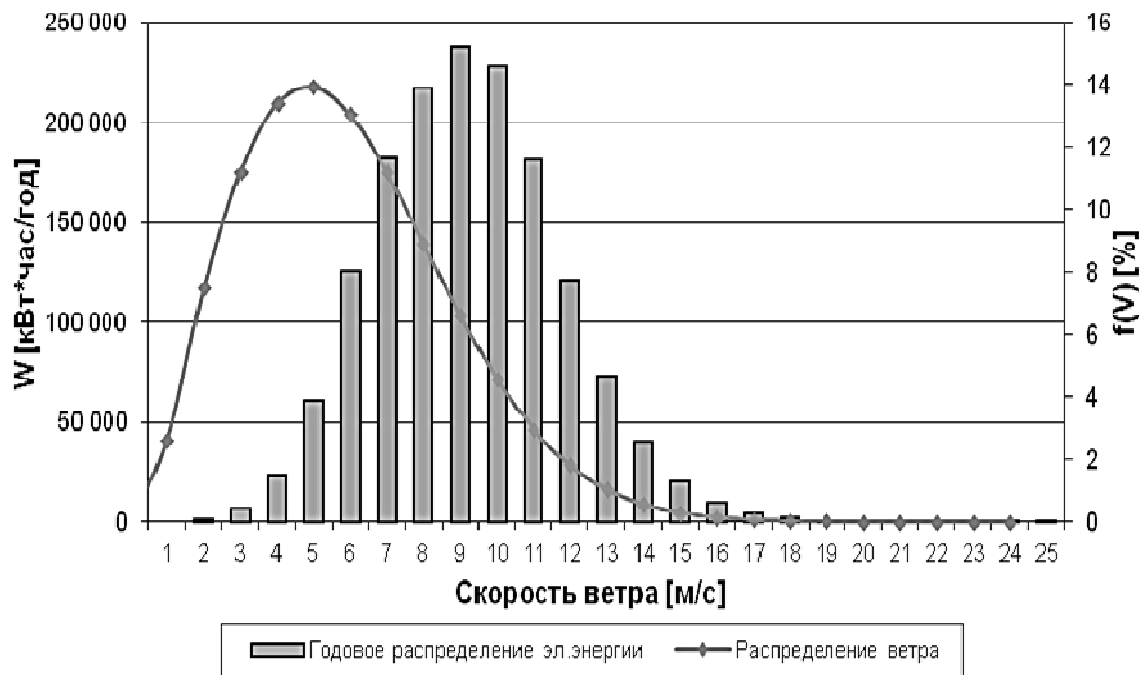
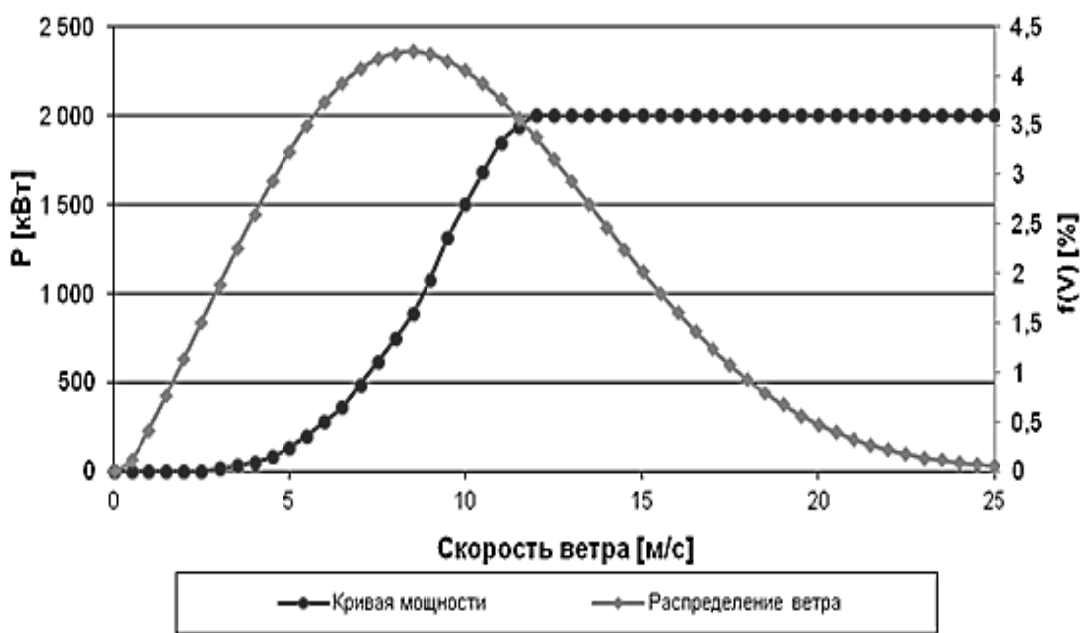


Рис. 11. Зависимость вырабатываемой электроэнергии и функции распределения от скорости ветра для Enerson E-53

Тип ВЭУ	Unison U88	
1) Номинальная мощность		2000 кВт
2) Высота оси вращения ротора		80,00 м
3) Диаметр ротора		88,00 м
4) Высота для расчета среднегодовой скорости ветра		80,00 м
5) Высота измерения скорости ветра		80,0 м
6) Среднегодовая скорость ветра на высоте измерения		6,82 м/с
7) Коэффициент формулы Хеллмана		0,20
8) Среднегодовая скорость ветра		7,57 м/с

а)



б)

Рис. 12. Параметры ВЭУ Unison U88: а) технические характеристики; б) график зависимости мощности и функции распределения от скорости ветра

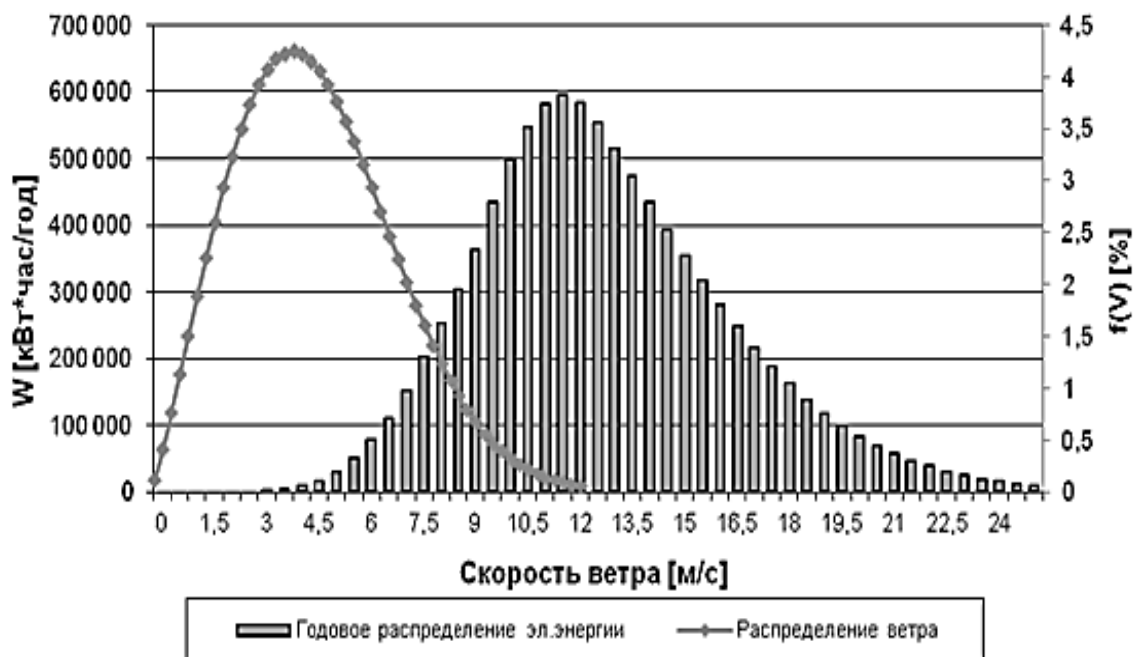
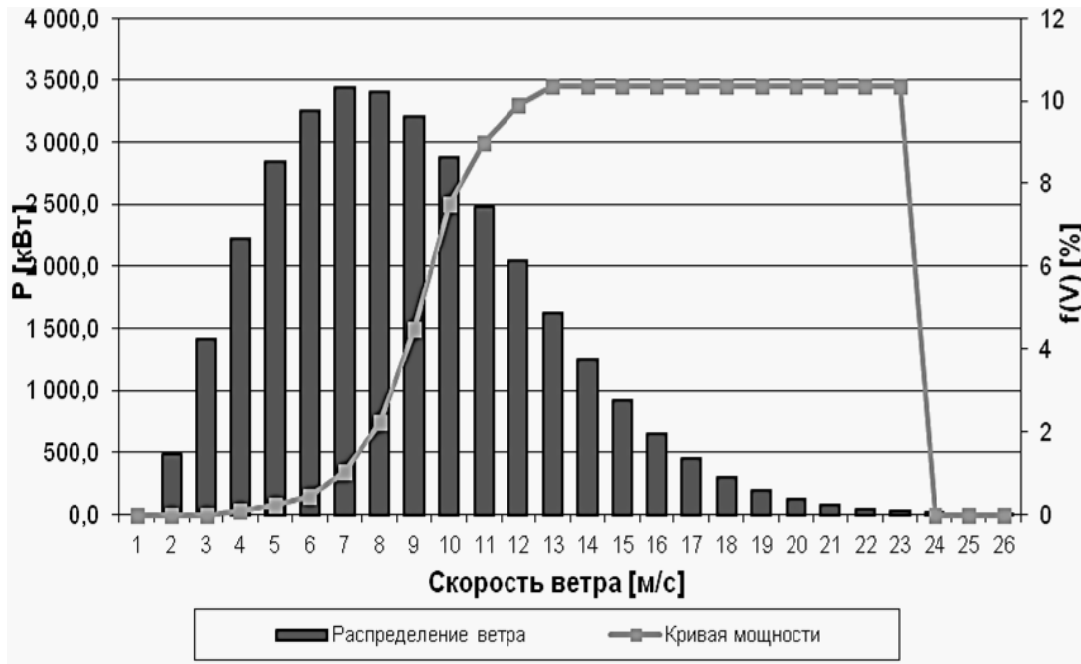


Рис. 13. Зависимость вырабатываемой электроэнергии и функции распределения от скорости ветра для Unison U88

Тип ВЭУ		V136-3.45 MW
1) Номинальная мощность		3450 кВт
2) Высота оси вращения ротора		132,00 м
3) Диаметр ротора		136,00 м
4) Высота для расчета среднегодовой скорости ветра		132,00 м
5) Высота измерения скорости ветра		10,0 м
6) Среднегодовая скорость ветра на высоте измерения		7,51 м/с
7) Коэффициент формулы Хеллмана		0,17
8) Среднегодовая скорость ветра		8,4 м/с

а)



б)

Рис. 14. Параметры ВЭУ V136-3.45 MW: а) технические характеристики; б) график зависимости мощности и функции распределения от скорости ветра

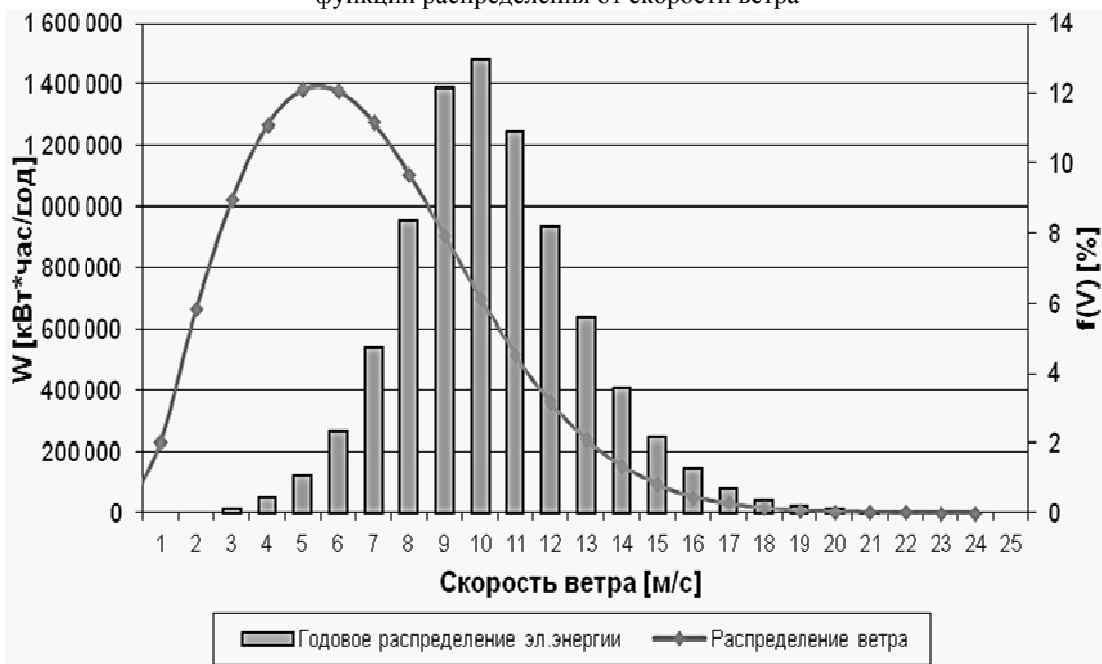


Рис. 15. Зависимость вырабатываемой электроэнергии и функции распределения от скорости ветра для V136-3.45 MW

Таблица 6.  
Мощность и выработка электрической энергии ВЭУ при их расположении в Палестине

№	Тип ВЭУ	Bonus-600 kW	Enerson E-53	Enerson E-53	Unison U88	V 136-3,45 MBt
1.	$h$ , М	60	60	80	80	132
2.	$P_1$ , кВт	104,1	180,8	207,4	400,96	1132,5
3.	$P_2$ , кВт	141,39	237,25	285,55	624,17	1900
4.	$W_1$ , кВт·ч/год	82326,16	150420,6	171696,8	123203,9	751462
5.	$W_2$ , кВт·ч/год	108404,2	187045,1	201801,4	205211,9	1130139

С помощью вышеприведенных данных и графиков определены расчетные значения мощностей этих ВЭУ и годовая выработка электроэнергии при установке в Палестине (таблица 6).

Приведем экономическое обоснование для использования различных типов ВЭУ в Палестине.

Расчет ориентировочный и произведен с учетом таблицы 6. При использовании генерирующей электрической машины американского производства стоимость этой машины будет примерно 1 Вт/\$, то есть, ВЭУ мощностью 1 МВт – 1000000 \$, 2 МВт – 2000000 \$. Цена электрических машин, выпускаемых в Европе, порядка 1 Вт/€, а значит, 1 МВт будет стоить 1 млн. €, 2МВт соответственно 2 млн. €.

Ко всему этому необходимо добавить строительные, монтажные, наладочные и пусковые работы, подключение к общим энергосистемам. Ориентировочно принимаем эту составляющую расхода в пределах от 25 до 30% от стоимости ВЭУ. Можно провести расчеты при известных значениях стоимости ВЭУ, стоимости 1 кВт·ч для промышленных и гражданских объектов. Для более точного расчета экономической эффективности и окупаемости необходимо учитывать:

а) Ландшафт местности, где планируется располагать ВЭУ ветроэлектростанции (ВЭС). Если это гористая и труднодоступная местность, то стоимость дополнительных расходов соответственно возрастает.

б) Количество однотипных ВЭУ, используемых в ВЭС. Эта составляющая может уменьшить расходы.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате анализа климатических условий Сектора Газа можно сделать вывод, что регион является перспективным в плане размещения объектов возобновляемой энергетики. Это объясняется значительным количеством ясных дней,

продолжительностью часов солнечного, что является благоприятными факторами для размещения солнечных электростанций. Ветровой потенциал позволяет размещать ветроустановки с начальными скоростями ветра от 3 м/с. При этих условиях был проведен анализ мощности и вырабатываемого количества электроэнергии для нескольких типов ветроустановок. Электростанции на базе возобновляемых источников энергии могут способствовать уменьшению перебоев в подаче электроэнергии потребителям. Также возможно применение индивидуальных генерирующих устройств. С точки зрения экономических показателей для строительства энергообъектов нужны достаточно большие капитальные затраты, но они могут быть уменьшены путем анализа критериев размещения электростанций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии [Текст]: пер. с англ. / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.: ил.
2. Учебное пособие по выполнению квалификационной работы по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника: в 2-х частях [Текст] / [Э.А. Бекиров, С.Н. Воскресенская, А.В. Андронов, С.П. Муровский и др.]. – Симферополь: ИТ «Ариал». – Симферополь, 2015. – 412 с.
3. Салиев, Э.И. Использование альтернативных источников электроэнергии для энергоснабжения малых канализационных очистных сооружений в республике Крым [Текст] / Э.И. Салиев, Ю.И. Штонда, А.Ю. Штонда, Т.С. Шаляпина, А.В. Пилявская, А.Д. Злобина, С.Н. Шаляпин // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2016. – № 3 (55). – С. 92 – 96.
4. Ільїна К.О. Геотермальні електростанції з бінарним циклом [Текст] / К.О. Ільїна // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: Крымский федеральный

университет им. В.И. Вернадского, 2014. – № (52). – С. 97 – 100.

5. Алехин, А.С. Современное состояние, тенденции развития и мероприятия по совершенствованию ветроэнергетики в России [Текст] / А.С. Алехин // Новая наука: современное состояние и пути развития. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2016. – № 7-1 (92). – С. 67 – 70.

6. Руди Д.Ю. Перспективы малой ветроэнергетики [Текст] / Д.Ю. Руди, Е.С. Кожина // Будущее науки-2016: Сборник научных статей 4-й Международной молодежной научной конференции в 4-х томах.. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. – С. 194 – 196.

7. Рудых, А.В. Обзор мирового рынка ветроэнергетики [Текст] / А.В. Рудых, К.С. Васильева // Молодежный вестник ИРГТУ. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. – № 4. – С. 22 – 25.

8. Безруких П.П. Ветроэнергетика мира. состояние и прогнозы развития [Текст] / П.П. Безруких // Электрические станции. – Москва: Научно-техническая фирма "Энергопрогресс", 2015. – № 12. – С. 45 – 4.

9. Салимова, Д.И. Будущее за ветроэнергетикой [Текст] / Д.И. Салимова // Интеграционные процессы в науке в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4 частях. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2017. – С. 127 – 130.

10. Рыбушкин, Н.А. Нужна ли ветроэнергетика России [Текст] / Н.А. Рыбушкин, Т.А. Самигуллин, А.Р. Хакимов // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2016. – С. 157 – 160.

11. Халюк Челик М. Ветроэнергетика в Кыргызстане [Текст] / Халюк Челик М., А. Исраилов, М. Дурмаз, Н. Маматов // Вестник КГУСТА. – Бишкек: Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова, 2014. – С. 191 – 193.

12. Тарасов, А.С. Ветроэнергетика как альтернативный источник энергии в мировом сообществе [Текст] / А.С. Тарасов, В.Ф. Калинин // Технические науки - от теории к практике. – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников "Сибирская академическая книга", 2015. – С. 60 – 65.

13. Олешкевич, М.М. Ветроэнергетика - будущее белорусской энергетики [Текст] / М.М. Олешкевич, Ю.В. Макоско, В.М. Олешкевич // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2007. С. 5 – 19.

14. Фатеев, Е.М. Ветроустановки и ветроустановки [Текст] / Е.М. Фатеев. – Москва: ОГИЗ – СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. – 546 с.

Bekirov E. A., Voskresenskaya S. N., Ahmed Alicata

## INCREASING THE ENERGY POTENTIAL OF PALESTINE TO THE USE OF WIND POWER PLANTS

**Annotation.** In the work the analysis of climatic characteristics of the Gaza Strip to determine the possibility of placing installations using renewable energy sources is brought. Calculation of wind speeds at the location of the wind turbines at different heights. The estimate of the power of a single free-standing installation with wind speeds from 3 to 19 m/s is resulted. For the Gaza Strip defined the capacity and generated electric power for various types of the wind turbines. Also provides specific indicators to evaluate the economic feasibility of wind power.

**Key words:** renewable energy sources, sun power-station, wind power-station, speed of the wind, capacity.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

В.И. Нездойминов, В.С. Рожков, Н.И. Григоренко

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Адрес: ДНР, г. Макеевка, ул. Державина 2

E-mail: n\_grig86@mail.ru

**Аннотация.** Разработан метод расчета системы вакуумного транспортирования газожидкостной смеси в наклонных трубопроводах. Установлены основные факторы, влияющие на эффективность вакуумного транспортировки водовоздушной смеси. Впервые определена структура потока водовоздушной смеси и идентифицированы режимы движения смеси жидкость - воздух при вакуумном транспортировании. Предложена математическая модель расчета потерь вакуумметрического давления на расчетном участке с учетом влияния длины и режима движения на каждом отрезке с различной структурой потока, входящего в ее состав. Определен основной критериальный комплекс, характеризующий гидродинамические и геометрические параметры вакуумной системы. Даны результаты лабораторных исследований по определению оптимального газосодержания и скорости водовоздушной смеси в системе вакуумного транспортирования, а также длин юнитов на расчетном участке.

**Ключевые слова:** двухфазный поток, структура потока, водовоздушная смесь, газосодержание, потери давления, вакуумная канализация

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов, обеспечивающих безопасность среды жизнедеятельности и поддержание экологического равновесия окружающего мира является сбор и отведение сточных вод с территории малых населенных пунктов. Во многих странах мира доля населения, проживающего в не оснащенных системами канализации поселениях, составляет от 5 до 20 % [4, 6]. Несмотря на небольшую долю населения, проживающего в не подключенных к централизованной канализации поселениях, масштабы загрязнения окружающей природной среды неочищенными сточными водами очень велики. Поэтому системы канализации, которые возможно применить в малых населенных пунктах, в первую очередь должны быть так запроектированы, построены и эксплуатируемы, чтобы отводимые стоки не приводили к тяжелым последствиям для окружающей среды, риска для здоровья жителей и обслуживающего систему персонала. Однако, при проектировании, строительстве и эксплуатации систем канализации в малых населенных пунктах на практике возникает ряд экономических, технических, гигиенических и экологических проблем.

К малой канализации относятся сети и сооружения, предназначенные для своевременного сбора, быстрого отведения и очистки бытовых и близких к ним по своему составу производственных сточных вод в количестве до 1400 м<sup>3</sup>/сутки. Норма водоотведения бытовых сточных вод в малых населенных пунктах при наличии благоустроенных домов, а именно с централизованным водоснабжением, обычно от 125 до 160 л/сутки на одного человека. В неблагоустроенных районах нормы водоотведения принимаются из расчета от 25 до 50 л/сутки на одного жителя за счет сброса в

канализацию сточных вод сливными станциями и коммунально-бытовыми предприятиями [4, 8, 18].

На сегодняшний день отсутствие коммунальных сетей и сооружений для сбора и очистки сточных вод характерно для малых населенных пунктов, а также для части территорий малоэтажного жилищного строительства больших городов. По официальным данным Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, централизованными системами водоотведения обеспечено всего лишь 5,6 % общей их численности. В Российской Федерации эта цифра для малых городов, сел и поселков составляет более 45 % [5]. В странах Центральной Европы данный показатель колеблется в пределах 60-80% [4].

Для решения этой проблемы есть несколько подходов – это создание групповых систем водоотведения, обслуживающих группы населенных мест, с крупными сооружениями для очистки сточной воды или устройство локальных систем водоотведения малой производительности, обслуживающих отдельные населенные пункты, группы зданий, отдельные коммунальные сооружения, с малыми установками для обработки стоков.

Для транспортирования малых расходов сточных вод наиболее рационально и экономически оправдано использование вакуумной канализации. Ее применение обосновано для населенных пунктов с малой плотностью заселения, а также для объектов временного пользования (лагеря, пансионаты, кемпинги), санитарных зон водоисточников. Причем при проектировании и строительстве данной системы не возникает проблем с высоким уровнем грунтовых вод и сложных грунтовых условий. Более подробно об использовании вакуумной системы канализации рассмотрено авторами в [13].

Данная система уже получила широкое распространение в мире, благодаря ряду преимуществ перед самотечной канализацией. Но сдерживающим фактором ее повсеместного распространения является отсутствие теоретически обоснованного алгоритма расчета. Сложность создания расчетных формул заключается в особенностях транспортирования сточных вод под действием вакуума, а именно – транспортировку двухфазной среды «жидкость-газ».

## **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ**

Недостаток теоретической базы обусловил тот факт, что для определения диаметра труб вакуумной сети служат фиксированные решения в таблицах с ориентировочными значениями [20]. Детальный же гидродинамический расчет, который учитывает как статические, так и динамические условия в сети, осложнен из-за неравномерности и постоянно меняющейся структуры двухфазного потока.

Изучению движения двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных трубопроводах в последние годы уделено большое внимание [1, 2, 5, 15-17, 19]. Это объясняется значимостью данной проблемы во многих областях науки и техники, в том числе в системах вакуумного транспортирования сточных вод.

Описание внутрифазных процессов и взаимодействий в гетерогенных средах довольно сложно. Поэтому, для получения приемлемых результатов для практического применения зачастую пользуются различными допущениями и упрощениями. Исследования в области движения газожидкостных потоков в трубопроводах проводились многими отечественными и зарубежными учеными, а именно: Армандом А.А., Кутателадзе С.С., Нигматулиным Р.И., Г.Уоллисом, Д. Верслоисом, Крыловым А.П., Мамаевым В.А., Одишарией Г.Э., Д. Чисхолмом, Дж. Хьюиттом, Лабунцовым Д.А. И. Тейтелом, А. Даклером и др.

В работах [1, 5, 10-12, 15, 16, 19] теоретически и экспериментально изучены основные гидродинамические особенности газожидкостных потоков: типы течения, газосодержание, потери давления и т.д. Но все эти исследования и полученные параметры имеют ощутимую погрешность, связанную с большим количеством переменных, характеризующих двухфазное течение. Для понимания сути двухфазного движения представление о структуре потока (режиме движения) имеет большое значение, т.к. существенно влияет на определение потерь давления на отдельном расчетном участке. Изучению структуры потока и ее влияния на градиент давления в трубопроводе также посвящено множество научных трудов [1, 10]. Установлено, что структура двухфазного потока существенно зависит от расположения трубопровода относительно горизонта и направления движения фаз [5].

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью работы является математическое описание газожидкостной структуры потока при транспортировании жидкости под действием вакуума, на основании которого будут предложены рекомендации для расчета вакуумных систем канализации.

Задачами работы является, определение расчетных параметров двухфазных потоков и потерь давления в системе вакуумного транспортирования жидкости, сведение этих данных в удобную для использования форму.

## **ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ**

Следует заметить, что вакуумное транспортирование стоков имеет свои особенности. Одной из особенностей является периодичность действия вакуумной системы канализации – впуск сточных вод и воздуха происходит только в момент открытия вакуумного клапана. Также существенной особенностью является то, что в процессе транспортирования в вакуумном трубопроводе мы имеем дело с трехфазной системой «жидкость-твердая фаза-воздух». Однако, в связи с тем, что сточные воды малых населенных пунктов имеют высокую дисперсность за счет дробления перед сбросом в накопительную емкость, можно допустить, что плотность сточной жидкости не оказывает сильного влияния на процесс транспортирования сточных вод. Поэтому в данной работе многофазная смесь типа «жидкость-твердая фаза-воздух» рассмотрена в виде двухфазной водовоздушной среды.

Основной процесс, протекающий в системе вакуумной канализации - это движение сточной жидкости в трубе с наклоном к горизонту не более  $10^\circ$  под действием вакуума и расширения воздуха, забираемого из атмосферы с помощью самозадействующих клапанов специальной конструкции [7]. Движение газожидкостной смеси в системе вакуумной канализации начинается от клапана или водо-воздуховпускного устройства (ВВВУ) до первого перепадного колена, в котором движение останавливается до повторного открытия ВВВУ. При этом, происходит частичное накопление сточной жидкости в перепадном колене.

При повторном открытии ВВВУ в систему попадает новая порция сточной жидкости и воздуха, движение водовоздушной смеси на участке трубопровода продолжится, при этом накопленный в перепадном колене объем жидкости под действием расширившегося воздуха переходит на следующий отрезок сети. Следовательно, можно сказать, что движение газожидкостной смеси от одного перепадного колена к последующему, вплоть до вакуумной станции, повторяется, а, значит, расчет системы можно свести к расчету отрезка сети, ограниченному перепадным коленом и началом следующего перепада.

Основным параметром, предопределяющим эффективную работу системы и выбор

оборудования при вакуумном транспортировании, является величина создаваемого в сети вакуума, который в свою очередь зависит от потерь энергии на участках трубопровода. Это значит, что расчет системы в первую очередь должен быть направлен на учет всех потерь энергии в системе, в результате чего можно определить расчетную величину вакуумметрического давления.

При расчете систем для транспортировки двухфазных смесей очень важно правильно определить плотность смеси, которая в свою очередь зависит от газосодержания.

Для систем вакуумной канализации значение объемного расходного газосодержания  $\epsilon$  и скорости водовоздушной смеси были получены экспериментально с помощью лабораторной установки, которая рассмотрена подробно в работах [7, 9, 14].

Экспериментальное исследование транспортирования жидкости под вакуумметрическим давлением проводилось с

использованием трубопроводов диаметром 20 мм и 50 мм при вакуумметрическом давлении 20-40 кПа. Определено, что максимальная скорость водовоздушной смеси  $v_s$  достигается при объемном расходном газосодержании  $\epsilon = 0,71-0,74$ . При таком значении  $\epsilon$  соотношении газ-жидкость  $Q_G/Q_L = 0,3-0,4$  [7, 9].

На определение плотности смеси также влияет распределение фаз по длине трубопровода, что в свою очередь зависит от структуры движения. Для определения режима движения газожидкостной смеси под действием вакуума на лабораторной установке был проведен ряд экспериментов. В результате испытаний было определено, что режим движения в системе изменяется по длине трубопровода, что, вероятно, связано с особенностью устройства системы вакуумной канализации. Рассматриваемый участок трубопровода с размеченными диапазонами изменения структуры потока представлен на рисунке 1.

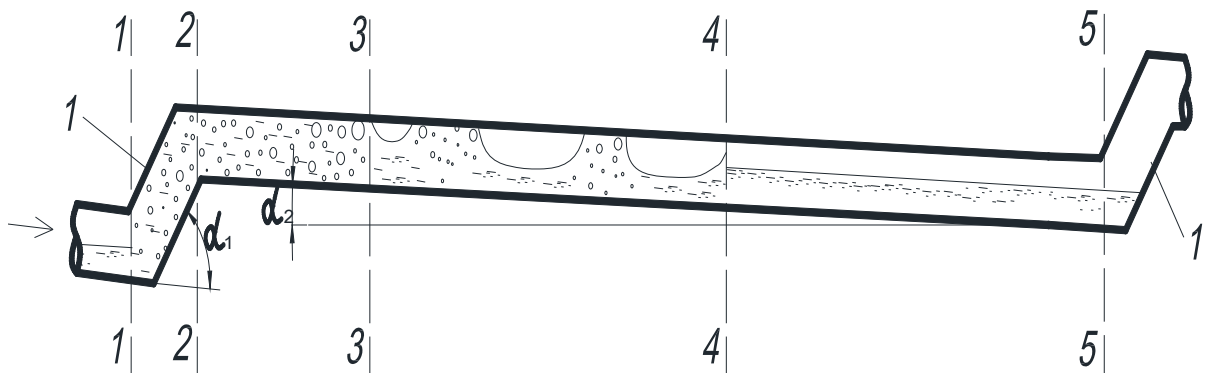


Рис. 1. Движение газожидкостной смеси на участке вакуумного трубопровода

Сечения 1-2 и 2-3 – пузырьковая структура, сечение 3-4 – снарядная структура движения, сечение 4-5 – расслоенная структура движения; 1- перепадное колено;  $\alpha$  – угол наклона трубопровода к горизонтальной плоскости.

Как уже было отмечено, вакуумный трубопровод является нисходящим трубопроводом, т.е. расположен под углом к горизонту. Главное отличие горизонтальных и наклонных к горизонту каналов – в несимметричности гравитационных сил относительно оси канала. Это вызывает смещение газовой фазы к верхней образующей, а жидкой – к нижней. Поэтому, угол наклона к горизонту также является важным фактором при расчете транспортирования двухфазных смесей.

На основании вышесказанного, расчет системы необходимо выполнять для каждого участка, на котором происходит изменение структуры движения, отдельно, с учетом гидродинамических параметров, которые влияют на величину градиента давления именно на этом участке. В дальнейшем авторами предложено отрезки с разной структурой

движения в пределах расчетного участка называть юнитами.

При моделировании процессов вакуумного транспортирования водовоздушной смеси были приняты следующие допущения:

- значение скоростей движения смеси жидкость-газ, газа и жидкости принимались равными;
- каждая фаза движения сменяет одна другую последовательно,
- воздух не вырывается перед жидкостью до момента изменения структуры потока и движение происходит плавно, сменяясь одно другим.

Общие потери давления в системе ( $\Delta P$ ) определяются для каждого участка, на котором происходит изменение структуры движения, отдельно, с учетом гидродинамических параметров, которые влияют на величину градиента давления ( $\frac{dP}{dx}$ ) именно на этом участке в зависимости от его длины x:

$$\Delta P = \int_0^{x_{1-2}} \left(\frac{dP}{dx}\right) \cdot x_{1-2} + \int_{x_{1-2}}^{x_{2-3}} \left(\frac{dP}{dx}\right) \cdot x_{2-3} + \int_{x_{3-i}}^{x_{i-j}} \left(\frac{dP}{dx}\right) \cdot x_{i-j}, \text{ Па} \quad (1)$$

Рассмотрим каждый юнит в отдельности. Определим удельные потери давления на юните 1-2:

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{1-2} = \rho_u \left( g \cdot \sin \alpha_1 + 2 \frac{f_s}{d} v_s^2 \right), \text{ Па/м} \quad (2)$$

где  $\rho_u$  – плотность водовоздушной смеси кг/м<sup>3</sup>, рассчитывается в зависимости от объемного расходного газосодержания  $\epsilon$ .

$v_s$  – средняя скорость движения водовоздушной смеси, м/с;

$\sin \alpha_1$  – угол наклона трубопровода к горизонту; на юните 1-2, °;

$f_s$  – коэффициент Фаннинга водовоздушной смеси, определяется по эмпирическим зависимостям в зависимости от числа Рейнольдса [2].

$d$  – диаметр трубопровода, м.

Удельные потери давления на юните 2-3 представляют собой ту же зависимость, но с учетом изменения угла наклона трубопровода к горизонту:

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{2-3} = \rho_u \left( -g \cdot \sin \alpha + \frac{2f_s}{d} v_s^2 \right), \text{ Па/м} \quad (3)$$

$\sin \alpha$  – угол наклона трубопровода к горизонту на юните 2-3, °;

Удельные потери давления на юните 3-4 представляют собой более сложную зависимость.

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{3-4} = -\rho_u \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{2f_s}{d} \rho_s \cdot v_s^2 \frac{L_s}{L_u} + \frac{4}{\pi d^2} \frac{L_L}{L_u} \left( \frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \overline{S_G} + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \overline{S_L} \right), \text{ Па/м} \quad (4)$$

$\rho_s$  – плотность водовоздушной смеси, рассчитывается в зависимости от истинного объемного газосодержания  $\phi$ .

$v_G = v_L$  – средняя скорость движения газа и воды соответственно, для гомогенного потока принимается равным скорости движения водовоздушной смеси  $v_s$ ;

$f_G, f_L$  – коэффициент Фаннинга для газа и жидкости, определяется в зависимости от числа Рейнольдса [2].

$\frac{L_L}{L_u}$  – отношение длины, занимаемой жидкостью, к общей длине рассматриваемого участка.

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{4-5} = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{4}{\pi d^2} \frac{L_L}{L_u} \left( \frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \overline{S_G} + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \overline{S_L} \right), \text{ Па/м} \quad (5)$$

Допущения, которые были приняты при моделировании данной системы, могут считаться верными для гомогенного потока. Однако, расслоенный режим движения, наблюдаемый на участке 4-5, независимо от характера разделения течения, к гомогенным потокам не относится. Следовательно, на данный участок допущение о равенстве скоростей  $v_G = v_L$  не распространяется. Определение скоростей движения газа  $v_G$  и жидкости  $v_L$  на участке 4-5 подробно рассмотрено в [9].

Это обусловлено тем, что структура движения меняется на снарядную, которую упрощенно можно представить как расслоенную на участках образования пузырьков и пузырьковую в пространстве между ними. Условно структура потока с разделением ее на участки с пузырьковой и расслоенной структурой представлены на рисунке 2.

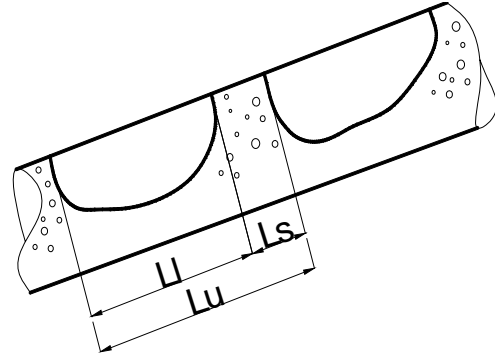


Рис. 2. Фрагмент юнита 3-4 со снарядной структурой потока

Формула, описывающая зависимость потерь давления представлена ниже:

$\frac{L_s}{L_u}$  – отношение длины, занимаемой водовоздушной смесью, к общей длине рассматриваемого участка.

$\overline{S_G}, \overline{S_L}$  – смоченный периметр газа и жидкости соответственно, берется усредненное значение по длине рассматриваемого участка. Расчет производится с учетом критической глубины  $h_{кр}$ , определенной исходя из уравнения удельной энергии сечения [9].

Юнит 4-5 имеет расслоенную структуру потока, для определения удельных потерь давления используется зависимость:

Для оценки результатов экспериментальных исследований с помощью теории подобия определено соотношение отдельных геометрических и технологических параметров работы реальных и лабораторных вакуумных систем.

В общем виде зависимость потерь давления в системе вакуумного транспортирования можно записать:

$$\Delta P = f(\rho_s, v_s, d, L, \mu_s) \quad (6)$$

где  $\Delta P$  – потери давления, Па;  
 $\rho_s$  – плотность водовоздушной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  
 $v_s$  – скорость водовоздушной смеси, м/с;  
 $d$  – диаметр трубопровода, м;

$L$  – длина участка трубопровода, где скорость  $v_s$  является постоянной величиной, м;

$\mu_s$  – коэффициент динамической вязкости водовоздушной смеси, Па·с.

Решением системы уравнений, составленной на основе матрицы степени размерностей величин данной зависимости, получен критерий подобия, который полностью включает гидродинамические и геометрические факторы движения водовоздушной смеси:

$$\Pi_1 = \frac{\Delta P \cdot d}{v_s^2 \cdot \rho_s \cdot L} \quad (7)$$

Критерий подобия  $\Pi_1$  позволяет использовать результаты экспериментальных исследований и разработать рекомендации по проектированию и расчету систем вакуумной канализации.

Расчет вакуумной системы канализации в связи с особенностями ее работы выполняется каждого отдельно взятого расчетного участка и сводится к подбору диаметра трубопровода  $d$ , общей длины расчетного участка трубопровода  $L_{\text{общ}}$ , длин юнитов и определению потерь давления  $\Delta P$  на расчетном участке при заданном расходе жидкости  $Q_L$ . Современным подходом к решению данной задачи является использование компьютерных программ и редакторов, таких как Excel или Mathcad. На основании полученных зависимостей далее предложен алгоритм расчета участка вакуумной системы канализации с использованием математического редактора Mathcad. Рекомендации для расчетов первого приближения выполнены для оптимального газосодержания  $\epsilon = 0,73$ , полученного при экспериментальных исследованиях с ВВВУ и вакуумметрического давления в системе  $\Delta P = 40$  кПа при скорости водовоздушной смеси  $v_s = 3,5$  м/с.

1. При заданном расходе сточной жидкости  $Q_L$  назначается диаметр вакуумного трубопровода  $d$  (табл. 1). Минимальный расход сточных вод  $1,5 \text{ дм}^3$  обусловлен объемом придомовой накопительной емкости  $30 \dots 50 \text{ дм}^3$  и временем открытия ВВВУ  $2 \dots 10$  с.

Таблица 1.

Рекомендуемые диаметры труб для вакуумных систем канализации

$Q_L$ , дм <sup>3</sup> /с	$d$ , мм	$Q_L$ , дм <sup>3</sup> /с	$d$ , мм	$Q_L$ , дм <sup>3</sup> /с	$d$ , мм	$Q_L$ , дм <sup>3</sup> /с	$d$ , мм
1,5	63	5	75	8,5	90	30	110
2	63	5,5	75	9	90	35	125
2,5	63	6	75	9,5	90	40	125
3	63	6,5	75	10	90	45	125
3,5	63	7	75	15	90	50	160
4	63	7,5	75	20	110	55	160
4,5	75	8	90	25	110	60	200

2. Длину расчетного участка  $L_{\text{общ}}$  следует рассчитывать в зависимости от выбранного диаметра трубопровода согласно критериальному комплексу  $\Pi_1$  при сохранении постоянных значений газосодержания, вакуумметрического давления и скорости движения водовоздушной смеси. После получения значений  $L_{\text{общ}}$  необходима проверка на критическое заглубление трубопровода по длине при условии прокладки вакуумной сети с минимальным уклоном.

Рекомендуемые длины расчетных участков и высоты перепадного колена (длина юнита 1-2  $L_1$ ) в зависимости от диаметра трубопровода представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Рекомендуемые длины юнита 1-2 (высота перепадного колена) и длины расчетного участка

$d$ , мм	$L_1$ , м	$L_{\text{общ}}$ , м	$d$ , мм	$L_1$ , м	$L_{\text{общ}}$ , м
63	0,11	55	160	0,21	105
75	0,12	60	180	0,23	115
90	0,14	70	200	0,25	125
110	0,16	80	225	0,28	140
125	0,18	90	250	0,3	150

Графическое отображение рекомендаций по выбору диаметра и длин расчетных участков вакуумной системы канализации представлены на рис. 3.

3. Для дальнейшего расчета при предварительно назначенном диаметре и рассчитанной общей длине трубопровода необходимо рассчитать длины остальных юнитов ( $L_2, L_3, L_4$ ). Выполняется данный расчет с учетом критериального комплекса  $\Pi_1$ , который справедлив на участках с одинаковой скоростью водовоздушной смеси, с использованием эмпирического коэффициента  $k$  (для пузырьковой структуры  $k_{\text{п}} = 0,055$ , для снарядной структуры  $k_{\text{с}} = 0,04$ ).

$$L_{\text{ю}} = \frac{\Delta P \cdot d}{v_s^2 \cdot \rho_s \cdot k} \quad (8)$$

Потери давления  $\Delta P$ , диаметр  $d$ , средняя скорость водовоздушной смеси  $v_s$  – изменяемые величины, от которых зависят величины длин  $L_2$  и  $L_3$ .

Длина юнита 4-5 ( $L_4$ ) рассчитывается как разность длины расчетного участка  $L_{\text{общ}}$  и длин юнитов 1-2, 2-3 и 3-4 ( $L_1, L_2$ , и  $L_3$  соответственно).

4. При известных длинах юнитов дальнейший расчет сводится к корректировке предварительно выбранных параметров  $v_s$  и  $\epsilon$  и выполняется в программе Mathcad. Несмотря на то, что конструкция ВВВУ предполагает возможность его настройки на впуск любого соотношения расходов жидкости и воздуха, рекомендуется придерживаться одинакового значения  $\epsilon$  по всей сети, во избежание усложнения расчетов по определению средневзвешенного газосодержания на расчетных участках. Если на данном этапе полученные значения скорости и газосодержания удовлетворяют поставленным целям, корректировку можно не проводить.

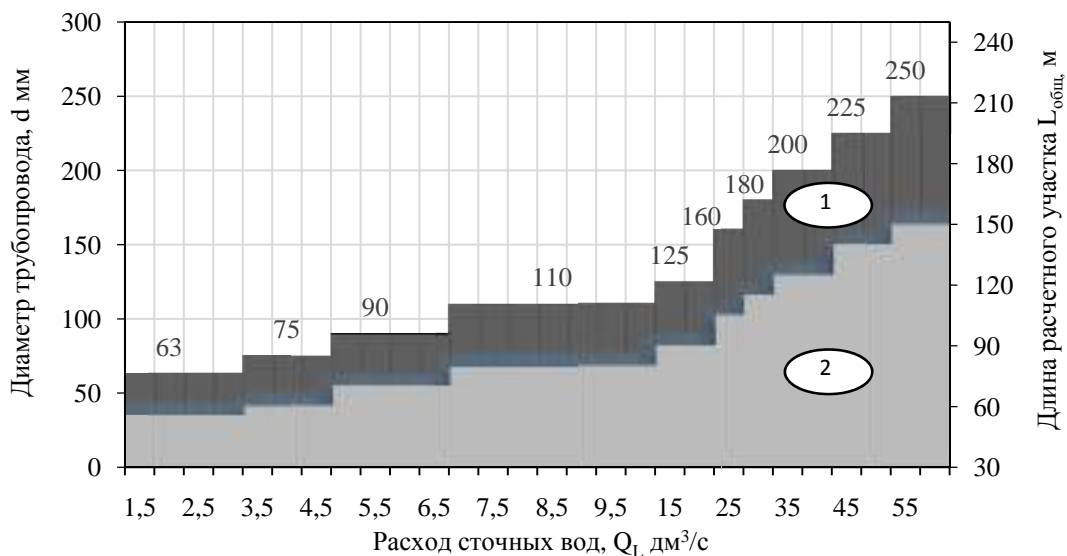


Рис. 3. Рекомендации по выбору диаметра трубопровода и длин расчетных участков вакуумной системы канализации в зависимости от расхода сточных вод

1 – зона выбора диаметра трубопровода  $d$ ; 2 – зона выбора длины расчетного участка  $L_{общ}$ .

5. Окончательный расчет предполагает определение потерь давления на расчетном участке  $\Delta P$  с помощью приведенной выше зависимости (1). Алгоритм расчета приведен на рис. 4.

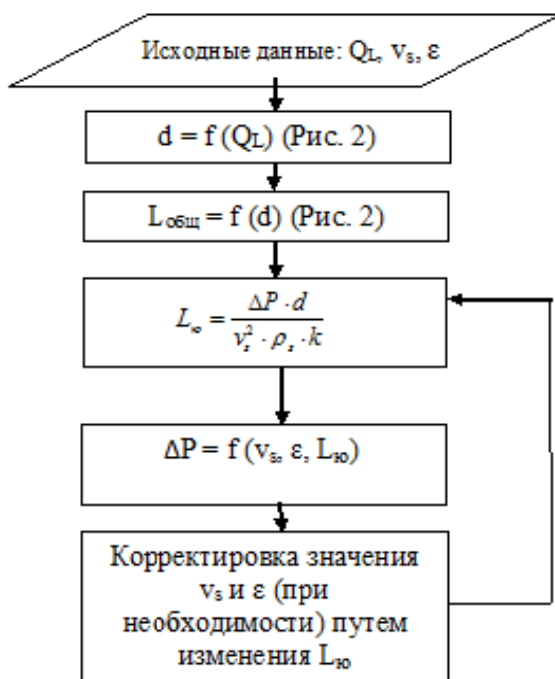


Рис. 4. Алгоритм расчета вакуумных систем канализации.

Таким образом, возможно рассчитать участок вакуумной канализации любой сложности при любом расходе сточной жидкости.

## ВЫВОДЫ

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день вопрос канализования малых населенных пунктов стоит перед многими государствами мира. Во многих местах его уже решают с помощью альтернативных способов канализования, одним из которых является вакуумная система канализации. Более широкое применение данной системы возможно с появлением научного обоснования и строгих математических зависимостей.

В данной статье предложено математическое описание движения газожидкостной смеси под действием вакуумметрического давления. Предложен метод расчета потерь давления с учетом изменения структуры потока для участка трубопровода при транспортировании жидкости под вакуумом. Также даны рекомендации по выбору диаметров трубопроводов и длин расчетных участков в зависимости от расхода жидкости при оптимальном режиме работы вакуумной системы транспортирования жидкости.

Установлено:

- расчетная зависимость для определения потерь давления в системе вакуумного транспортирования жидкости отображает зависимость от основных гидродинамических характеристик, что делает ее довольно гибкой в ее применении для различных условий проектирования;

- расчет всей системы транспортирования жидкости под действием вакуумметрического давления может быть сведен к расчету одного участка;

- рекомендованы оптимальные значения средней скорости водовоздушной смеси 3,5 м/с и газосодержания 0,73 для эффективной работы вакуумной системы для условий, близких к экспериментальным;

- предложен метод расчета с помощью программы Mathcad, позволяющий скорректировать

величину потерь давления в системе вакуумной канализации при различных значениях средней скорости водовоздушной смеси и газосодержания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brennen, Ch. E. Fundamentals of Multiphase Flows [Text] / Ch. E. Brennen. – California Institute of Technology, Pasadena, California, 2008. – 410 p.
2. Jing-yu Xu, Studies on two-phase co-current air/non-Newtonian shear-thinning fluid flows in inclined smooth pipes [Text] / Jing-yu Xu, Ying-xiang Wu, Zai-hong Shi and other // International journal of Multiphase flow, 2007. – N 33. – P. 948 – 969.
3. Dezentrale Abwasserreinigung im landlichen Raum [Text] / U. Kapteina // Neue Landschaft, 1999. – N 6. – P. 388 – 390.
4. Гироль Н.Н. Необходимый элемент качества жизни. О технологических схемах водоотведения в сельской местности Украины на основе опыта стран Центральной и Восточной Европы: [Текст] / Гироль Н.Н., Проценко С.Б., Гироль А.Н., Ковальский Д., Лагуд Г и др // ВодаMagazine. – Москва, 2014. - № 11(87). – стр. 22-28.
5. Автушко Е.А. О целевой программе «Чистая вода» на 2011 - 2017 гг.: Вестник Сибирского государственного индустриального университета: [Текст] / Автушко Е.А. // Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – № 4(10). – стр. 56-59.
6. Small wastewater treatment plants III [Text] / Y. Watanabe // Water Science and Technology, 1997. - Vol. 35, N 6. – P. 1–154.
7. Григоренко, Н. И. Исследование параметров основных элементов гидропневматической вакуумной системы канализации в лабораторных условиях: [Текст] / Н. И. Григоренко // X Міжнар. наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів: Вісник ДонНАБА. – Макіївка: ДонНАБА, 2011. – №3(89). – С. 110 – 112.
8. Зайченко Л. Анализ реального водопотребления в жилищном фонде: [Текст] / Зайченко Л., Синежук И. // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2012. – Vol. 14.1. – P. 54–57.
9. Нездойминов, В. И. Математическое описание газожидкостной структуры потока в системе

транспортирования жидкости под вакуумом [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Н. И. Григоренко, Д. В. Заворотный // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15, №6. – P. 125-132

10. Лабунцов, Д. А. Механика двухфазных систем. Учебное пособие для вузов [Текст] / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов. – М.: изд-во МЭИ, 2000. – 374 с.
11. Мамаев, В. А. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах [Текст] / В. А. Мамаев, Г. Э. Одишария, Н. И. Семенов, А. А. Точигин. – М.: «Недра», 1969. – 208 с.
12. Марон В. И., Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах [Текст] / В. И. Марон. – СПб.: изд-во «Лань», 2012. – 256 с.
13. Нездойминов, В. И. Применение вакуумной канализации для малых населенных пунктов в Украине: [Текст] / В. И. Нездойминов, Н. И. Григоренко, Д. В. Заворотный // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХОТВ АБУ, 2010. – (60). – С. 241 – 247.
14. Нездойминов, В. И. Модель работы и расчет потерь давления на участке трубопровода системы вакуумной канализации [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Н. И. Григоренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХОТВ АБУ, 2012. – (70). – С. 312 – 317.
15. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред, в 2-х частях [Текст] / Р.И. Нигматулин. – М.: «Наука», 1987. – Ч.1. – 464 с.
16. Ситенков, В. Т. Гидравлика. Теория и расчет двухфазных систем [Текст] / В. Т. Ситенков. – Нижневартовск, 2006. – 204 с.
17. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения [Текст] / Г. Уоллис. – М.: «Мир», 1972. – 440 с.
18. Чередниченко, И. Л. Вакуумная канализация – инновационная технология для сбора сточных вод [Текст] / И. Л. Чередниченко // С.О.К., 2009. – №1. – С. 16 – 19.
19. Raclavský Jaroslav. Problematika navrhování venkovních podtlakových systémů stokových sítí [Text] / J. Raclavský // Vrnо: VITIUM, 2011. – 35 s.
20. Чисхолм, Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках [Текст] / Д. Чисхолм. – М.: «Недра», 1986. – 204 с.

V. I. Nezdoyminov, V. S. Rozhkov, N. I. Grigorenko

## RECOMMENDATIONS FOR CALCULATION METHODS OF VACUUM SEWAGE FOR SMALL COMMUNITIES

**Annotation.** The design method of vacuum transportation of gas-liquid mixture into inclined pipelines was developed and the impact of key factors to this process was defined. For the first time the structure of the flow of gas-liquid mixture was determined and regimes of liquid-to-air mixture in a vacuum transportation were identified. The mathematical model for calculating of the vacuum pressure losses in the pipe section was suggested, including the influence of the length and mode of motion of each unit with a different structure of the flow inside the pipe. The basic criteria that characterized the hydrodynamic and geometric parameters of the vacuum system were defined. The optimal gas content, velocity of gas-liquid mixture and the lengths of units on the pipe section in a vacuum transportation system were determined by the laboratory studies.

**Key words:** two-phase flow, flow structure, gas-liquid mixture, gas content, pressure loss, the vacuum sewer system



## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ В ОБЩУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Сокут Л.Д., Муровская А.С.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
cokut36@mail.com, murovskay@mail.ru

**Аннотация.** В работе проанализированы перспективы развития мирового производства электроэнергии и проблемы подключения ветровых и солнечных электростанций в общую энергосистему. Рассмотрена перспектива развития возобновляемой энергетики с учетом роста потребления электроэнергии и возможностью повышения качества вырабатываемой энергии за счет применения мощных накопителей энергии, включенных во внутренние цепи электростанций на базе нетрадиционной энергетики.

**Ключевые слова:** электроснабжение, солнечная электростанция, ветровая электростанция, общая электросеть, накопители энергии

### ВВЕДЕНИЕ

Энергетические системы и в первую очередь системы электроснабжения (СЭ) входят в число самых сложных систем, когда-либо созданных человеком, и определяют промышленное развитие в мире.

Для развития СЭ характерен непрерывный рост мощности. В период с 2007 по 2035 год объем производства электроэнергии в мире согласно прогнозу возрастет на 87% - с 18,8 трлн. кВт·ч в 2007 году до 35,2 трлн. кВт·ч в 2035 г (таблица 1), что в среднем равно 2,3% в год. Причем, производство электроэнергии растет быстрее, чем производство других видов энергоносителей – жидкого топлива, природного газа и угля [1].

В последние 15 лет наряду с ростом мощности СЭ отмечают существенные изменения:

- по составу первичных энергоносителей для производства электроэнергии (ЭЭ);
- по устройствам генерации ЭЭ;
- по системам объединения генерирующих мощностей ЭЭ в общие сети и по взаимодействию производителей и потребителей ЭЭ;
- по объединенным и автономным сетям ЭЭ;
- по расширению накопителей ЭЭ.

Перечисленные изменения СЭ носят общемировой характер и происходят с такой скоростью, которая требует изменения многих существующих решений [1].

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В составе СЭ используются различные источники энергоресурсов – традиционные (ТИЭ), невозобновляемые: уголь, газ, атомная энергия, и возобновляемые (ВИЭ): солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия и другие.

Согласно прогнозам [2] до 2035 г будут использоваться все виды энергоресурсов, но при этом объем ВИЭ будет возрастать быстрее и существенно по мощности по сравнению с ростом ТИЭ, (таблица 1, 2 – данные организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в которую входят все развитые страны мира).

Мировое производство электроэнергии с использованием угля в период с 2007 г по 2035 г возрастет приблизительно в два раза – с 7,9 до 15 трлн. кВт·ч соответственно. В период с 2007 по 2035 год ожидается рост производства ЭЭ за счет использования природного газа на 2,1% ежегодно. Объем производства ЭЭ на основе природного газа во всем мире возрастет с 3,9 трлн. кВт·ч в 2007 г до 6,8 трлн. кВт·ч в 2035 г, но общий объем производства электроэнергии за счет использования природного газа даже в 2035 году будет ниже 50% объема электроэнергии, генерируемой за счет сжигания угля.

Производство электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС) возрастет с 2,6 трлн. кВт·ч в 2007 г до 4,5 трлн. кВт·ч в 2035 г.

Общемировой спрос на энергию, согласно оценкам Международного Энергетического Агентства (МЭА) [3, 4], вырастет к 2040 г на 37%. При этом к 2040 г на использование нефти, газа, угля и низкоуглеродных источников энергии придется только четверть мирового рынка энергии. Из всех ТИЭ в будущем существенное место будет иметь только ядерная энергия, оставаясь составной частью национальных энергетических стратегий даже в странах осуществляющих поэтапное закрытие АЭС. В большинстве прогнозов мощности АЭС вырастут почти на 60% - с 392 ГВт в 2013 г до примерно 620 ГВт в 2040 г и до 874 ГВт в 2050 г.

Таблица 1.

Производство электроэнергии в странах, входящих и не входящих в ОЭСР, на основе различных источников энергии, анализ и прогноз 2007-2035 гг., трлн. кВт·ч [2]

Регион	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Среднегодовое изменение, %, 2007-2035 гг.
<b>ОЭСР</b>							
Жидкое топливо	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	-1,0
Природный газ	2,2	1,9	2,2	2,5	2,9	3,1	1,4
Уголь	3,9	3,8	3,8	3,8	4,0	4,2	0,3
Ядерное топливо	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	1,0
Возобновляемые источники	1,6	2,3	2,6	2,9	3,1	3,2	2,5
В целом по ОЭСР	10,1	10,7	11,4	12,2	12,9	13,6	1,1
<b>Страны, не члены ОЭСР</b>							
Жидкое топливо	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	-0,2
Природный газ	1,7	2,2	2,8	3,2	3,6	3,7	2,8
Уголь	4,1	5,1	6,0	7,3	9,0	10,8	3,6
Ядерное топливо	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	5,0
Возобновляемые источники	1,8	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	3,5
Не члены ОЭСР, в целом	8,6	11,2	13,6	16,1	18,8	21,6	3,3
<b>В мире</b>							
Жидкое топливо	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,4
Природный газ	3,9	4,2	5,0	5,8	6,4	6,8	2,1
Уголь	7,9	8,8	9,8	11,2	12,9	15,0	2,3
Ядерное топливо	2,6	3,1	3,6	3,9	4,2	4,5	2,0
Возобновляемые источники	3,5	5,0	5,8	6,6	7,3	8,0	3,0
В мире, в целом	18,8	21,9	25,0	28,3	31,6	35,2	2,3

Таблица 2.

Производство электроэнергии в странах, входящих и не входящих в ОЭСР, на основе возобновляемых источников энергии, анализ и прогноз 2007-2035 гг., трлн. кВт·ч [2]

Регион	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Среднегодовое изменение, %, 2007-2035 гг.
<b>ОЭСР</b>							
Гидроресурсы	1246	1384	1460	1530	1585	1624	0,9
Ветер	144	525	671	803	846	898	6,8
Геотермальные источники	37	57	61	66	73	80	2,8
Солнце	6	85	104	107	114	122	11,6
Другие	195	253	318	398	456	485	3,3
В целом по ОЭСР	1628	2303	2614	2904	3074	3208	2,5
<b>Не члены ОЭСР</b>							
Гидроресурсы	1753	2305	2706	3061	3449	3795	2,8
Ветер	21	157	231	312	388	457	11,7
Геотермальные источники	21	41	47	52	68	80	5,0
Солнце	0	10	23	33	39	44	21,7
Другие	40	141	196	255	317	389	8,4
В целом, не ОЭСР	1834	2654	3203	3714	4263	4764	3,5
<b>В мире</b>							
Гидроресурсы	2999	3689	4166	4591	5034	5418	2,1
Ветер	165	682	902	1115	1234	1355	7,8
Геотермальные источники	57	98	108	119	142	160	3,7
Солнце	6	95	126	140	153	165	12,7
Другие	235	394	515	653	773	874	4,8
В мире, в целом	3462	4958	5817	6618	7336	7972	3,0

С другой стороны, особенность использования АЭС состоит в том, что инвестиции в капиталоемкую атомную энергетику с ее длительными процедурами согласования, сроками проектирования и строительства становятся все более рискованными. На протяжении десяти лет

доля мирного атома в глобальной выработке электроэнергии снижается. В 2015 году она упала до 11% [2].

Энергетические компании, прежде работающие с «традиционными» видами топлива, все чаще

начинают инвестировать в объекты, функционирующие на основе ВИЭ.

Доклад МЭА показал, что 2015 год стал поворотным для использования ВИЭ. В 2015 г впервые в истории объем построенных в мире электростанций на базе ВИЭ превысил объем введенной в эксплуатацию традиционных электростанций – тепловых на угле и газе (ТЭС) и АЭС. Из 300 ГВт мощности новых электростанций на долю гидроэлектростанций (ГЭС), солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) пришлось 153 ГВт [4].

Устройства генерации ЭЭ на основе ВИЭ представлены, в основном ВЭС и СЭС, хотя некоторый объем занимает производство ЭЭ на основе других энергоресурсов.

Основным производителем энергии ВИЭ является солнечная энергетика (фотоэлектрическая и тепловая – суммарно 57,55%), ветроэнергетика – 37,14%, гидроэнергетика - 4%, энергия волн - 0,58%, приливов – 0,06%, геотермальная – 0,67%. То есть

фактически вся новая генерация ВИЭ – это СЭС и ВЭС, в том числе и для малой распределенной солнечной энергетики [5].

В 2016 г прирост мощности солнечной энергетики достигает максимальных показателей, в период 2017-2021 гг. в общей сложности глобально будет введено 450 ГВт новых СЭС, что в полтора раза больше, чем действует сегодня (рис. 1-3) [2].

Развитие солнечной энергетики можно характеризовать ростом мощности СЭС, а также объемом выпуска фотопреобразовательных электрических элементов (ФБ), поскольку основную долю СЭС составляют фотоэлектрические СЭС. Небольшая часть СЭС выполняется в виде термодинамических и башенных СЭС с различными типами гелиостатов, концентрирующими СИ, и башнями с расположенными на них котлами, паровыми турбинами и электрогенераторами (ЭГ).

В таблице 3 приведены параметры СЭС, построенных в мире с 2013 по 2016 гг [6].

Таблица 3.

Мощность крупнейших СЭС мира построенных за период с 2013 по 2016 гг.

Страна, установленная мощность СЭС, МВт	Год постройки	Основные параметры станции
Испания «Solaben», 200	2013	Система гелиостатов
Китай «Цинхай», 329	2013	Модульного типа
США «Генезис», 250	2014	Параболические гелиостаты
США «SEGS», 354	1984	Система из 9 станций, 936384 гелиостатов
США «Ivanpah», 397	2013	Система из 3 станций, 173500 гелиостатов
ОАЭ «Абу-Даби», свыше 1000	2014	Модульного типа
США «Sunlight Farm», 550	2015	8,8 млн. ФБ, тонкопленочные, с телуридом кадмия
США «Star», 579	2015	3,8 млн. 20% ФБ на шасси с системой слежения за солнцем
Индия «Gujart», 856,8	2015	Модульного типа
Франция «Cestas», 300	2016	16,5 тыс. модулей, 983,5 тыс. ФБ, 4 тыс. км кабелей



Рис. 1. Фото СЭС в Абу-Даби, столице ОАЭ (самая крупная в мире СЭС по выработке солнечной энергии, которая обеспечивает 20 тысяч домов), 2014 г



Рис. 3. Фото СЭС Франции. Солнечная фотоэлектрическая станция «Cestas» (крупнейшая в Европе, расположенная в провинции Бордо во Франции), 2016 г



Рис. 2. Фото СЭС мощностью 856,8 МВт, «Gujart», Индия, 2011-2012 гг.

В связи с развитием солнечной энергетики непрерывно растет объем производства ФБ и их КПД, к 2018 г объем поставок ФБ в мире достигнет 108 ГВт.

Постоянно совершенствуется конструкция ФБ. В результате совместного проекта Американской Национальной лаборатории возобновляемой энергетики NREL швейцарского Центра электроники и микро-технологий (CSEM) и Политехнического института в Лозанне (EPFL) разработан ряд многопереходных ФБ с КПД 35,9% [1].

Двухпереходный солнечный элемент, сконструированный из сконструированной NREL верхней ячейки из арсенида галлия (GaAs) и кремниевой гетеропереходной ячейки. Разработанный CSEM показал КПД 32,8%, а ячейка ФБ с тройным переходом, к которой был добавлен слой фосфата галлия индия (GaInP) достигла КПД 35,9%. Полученный КПД 32,8% представляет собой новый рекорд для двухпереходных ФБ. Увеличение КПД до 35% в сочетании с эффектом объема производства ФБ, сможет привести к быстрому снижению удельной стоимости ФБ существенно ниже 1\$/Вт. Например, стоимость китайских ФБ снизилась с 4,5\$/Вт в 2006 г до 1\$/Вт в 2011 г.

Ветроэнергетика наряду с солнечной энергетикой, присутствует в более, чем 100 странах мира, и ежегодно возрастает значительными темпами. На рис. 5 показаны суммарные мощности ВЭС в мире по годам, с 2001 г по 2016 г [7, 8]. В 2016 г в мире всего было введено ВЭС мощностью 54,6 ГВт. Мощность ВЭС с 2007 по 2016 гг. увеличилась в пять раз - до 466 ГВт (рис. 4).

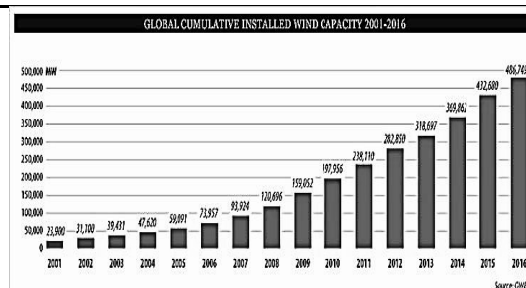


Рис. 4. Рост мощности ВЭС в мире с 2001 по 2016 гг.

В составе СЭ используются ветроэлектростанции (ВЭУ), с высотой башни до 150 м, ветротурбины (ВТ) обычно с тремя лопастями длиной от 8 до 90 м, ЭГ и трансформатор (ТР) [9]. Мощность ВЭУ составляет от 0,1 до 15,0 МВт. Значительная часть ВЭС сооружается на шельфе моря вблизи берегов (рис. 5, 6).

В таблице 4 приведены параметры крупнейших ВЭС мира построенные за период с 2009 по 2016 гг.

Таблица 4.  
Мощность крупнейших ВЭС мира построенных за период с 2009 по 2016 гг.

Страна	Установленная мощность ВЭС, МВт	Год	Некоторые параметры станций
Китай, «Ганьсу»	7965	2009	К 2020 г. планируется увеличить мощность до 20 ГВт
Индия, «Муппандал»	1500	2011	
Индия, «Джайсалмер»	1064	2001-2012	ВЭУ мощностью от 0,35 до 2,1 МВт
США, «Alta Wind Energy Center»	1550	2010-2015	ВЭУ мощностью 3 МВт (290) и мощностью 1,5 МВт (100)
США, «Shepherds Flat Wind Farm»	845	2012	ВЭУ мощностью 2,5 МВт, планируется увеличить мощность ВЭС до 3000 МВт
Великобритания, «Лондон Эррей»	630	2013	Крупнейшая шельфовая ВЭС, в устье Темзы, ВЭУ мощностью 3,6 МВт
Великобритания «Greater Gabbard, Саффолк»	504	2012	Крупнейшая оффшорная ВЭС, ВЭУ мощностью 3,6 МВт
Великобритания, «Walney Wind Farm»	367	2012	Оффшорная ВЭС, ВЭУ мощностью 3,6 МВт
Великобритания, «Sheringham Shoal Offshore Wind Farm»	315	2012	Оффшорная ВЭС, ВЭУ мощностью 3,6 МВт



Рис. 5. Фото ВЭС «Шефердс Флэт», США, мощностью 845 МВт



Рис. 6. Фото ВЭС на шельфе Северного моря в Германии

Для развития ВЭС характерно повышение КИУМ до 40 - 46 % за счет оптимального выбора конструкции ВЭУ при сооружении ВЭС на данной площадке, а также за счет совершенствования конструкции ВТ – снижения скорости ветра трогания турбины до 2,0 - 2,5 м/с и номинальной скорости ветра до 5,5 - 8,5 м/с.

Общая характеристика развития ВИЭ до 2016 г и дальнейший прогноз такого развития до 2050 г приведен в [3] (рис. 7).



Рис. 7. Диаграмма установленной мощности ВИЭ в мире с 2000 по 2016 гг.

Общая доля ВИЭ в мировом производстве энергии достигнет 30-45% в 2035-2045 гг. и 50-70% к 2050 г [3]. Уже сейчас ежегодные инвестиции в альтернативную энергетику в мире достигли \$300 млрд., что сопоставимо с финансовыми потоками, направляемыми на добычу нефти и газа. А в ближайшие десять лет глобальные инвестиции в создание и развитие генерирующих мощностей на основе ВИЭ могут достичь \$1,9 трлн.

Перспективность этого направления понимают и в странах, богатых традиционными энергоресурсами, которые с развитием ВИЭ могут потерять свое влияние на мировой арене. К примеру, Саудовская Аравия имеет масштабные планы развития альтернативной энергетики к 2030 г. Инвестиции в программу могут достичь \$30-50 млрд., а доля вырабатываемой за счет ВИЭ электроэнергии должна составить 30% [3].

Страны Евросоюза договорились увеличить долю энергии, вырабатываемой на основе ВИЭ до 27% к 2035 году. Однако, по данным Eurostat, многие члены ЕС уже достигли этого показателя. Так, в Швеции ВИЭ обеспечивают более половины потребностей страны в энергии. К 2040 г Швеция собирается вырабатывать 100% электроэнергии на основе ВИЭ. В 2015 г было объявлено, что Швеция намерена стать первым в мире государством, полностью отказавшимся от ископаемого топлива. Можно также отметить Финляндию, Латвию, Австрию и Данию, где доля ВИЭ в конечном потреблении энергии превысила 30%.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы является анализ мирового производства электроэнергии и разработка схемных решений объединения генерирующих мощностей ЭЭ различных типов в общие сети с применением современных накопителей энергии (НЭ) для

повышения эффективности работы СЭС и ВЭС в объединенной энергосистеме, улучшения стабильности работы станций, выравнивания переменных графиков нагрузок, снижения колебаний мощности и повышения надежности электроснабжения. Наибольшие изменения в развитие СЭ связаны с увеличением доли ВИЭ в составе генерирующих мощностей сетей.

Решаемой задачей явилась оценка роста доли ВИЭ в мировой энергетике, что создает определенные трудности для управления работой СЭ и отраслью электроснабжения в целом, поскольку генерация на основе солнца и ветра имеет прерывистый и непредсказуемый характер. Как известно, все ВИЭ характеризуются нестабильными потоками первичных энергоресурсов, в частности, энергии ветра и солнечного излучения. Увеличение доли генерации на основе ВИЭ в структуре электроэнергетики многих стран и регионов ставит определенные вызовы перед СЭ. Каким образом возрастающая доля нестабильных потоков энергии, имеющих случайный характер, может быть безопасно интегрирована в СЭ с наименьшими потерями электроэнергии и без ущерба для их надежности при выполнении суточных графиков покрытия нагрузки потребителей. [5, 6, 10].

В настоящее время вопросы интеграции в СЭ нестабильных возобновляемых источников энергии глубоко изучены и основательно проработаны. Накоплен и описан богатый практический опыт использования ВИЭ в разных государствах. Общие принципы обращения с ними составлены и подробно сформулированы.

Опыт начального применения ВИЭ в СЭ показал, что интеграция малых объемов переменчивых ВИЭ (доля в 5-10% общей генерации ЭЭ) в сеть – не вызывает нарушения работы СЭ. В этом случае нестабильная генерация ВЭС и СЭС классифицируется просто как ежедневные и естественные изменения спроса на электроэнергию.

На втором этапе ВИЭ уже начинают серьезно влиять на систему, но данное влияние регулируется относительно просто путем усовершенствования некоторых практических методов управления СЭ, например, с помощью длительного прогнозирования выработки ВЭС и СЭС. На данной стадии находятся Чили, Китай, Бразилия, Индия, Новая Зеландия, Австралия, Нидерланды, Швеция, Австрия, Бельгию, в которых доля ВИЭ в годовой генерации составляет от 3% до почти 15%.

На третьем этапе возникают существенные вызовы для СЭ в плане интеграции нестабильных ВИЭ. Их влияние ощущается как на уровне системы в целом, так и на практике работы других традиционных электростанций. Здесь на первое место выходит **гибкость СЭ** – ее способность реагировать на неопределенность и изменчивость баланса спроса и предложения. Два главных ресурса этой стадии: управляемые (маневренные) электростанции и новые технологии накопления энергии.

Исследования проектов применения ВИЭ в 2010 – 2015 гг. показало, что нынешний уровень гибкости СЭ технически позволяет «работать» с годовой долей переменчивой генерации в 25-40%. В соответствии с тем же анализом, «в очень гибких системах» доля ВИЭ может превысить 50% если допускается возможность вынужденных остановок «небольших объемов» генерации на основе ВИЭ.

Интеграция больших объемов ВИЭ требует трансформации СЭ в целом. Возникает необходимость просто добавлять новые объекты генерации к «старой», работающей как обычно, системе, а о полном переформатировании системы. При этом традиционные ТЭС во многих случаях становятся страховочным резервом для разнообразных ВИЭ. На четвертом этапе находятся страны с долей переменчивой ВИЭ генерации в 25%-50% годовой выработки и с ее кратковременными повышениями до 100% и более суточного потребления. Здесь вызовы носят высокотехнологический и менее интуитивный характер. На четвертой стадии требуется еще большая гибкость системы, способность к самовосстановлению после резких и объемных колебаний выработки. В целом меняется в СЭ соотношение «производитель – потребитель».

Интегрировать в систему можно любую электростанцию, а неопределенность в плане выработки ЭЭ присуща для любого объекта генерации (поломки, перебои с поставками топлива и т.д.). Нахождение нестабильных ВИЭ в системе не означает, что нужно строить какие-либо дополнительные регулируемые (маневренные) мощности. Напротив, в той степени, в которой ВИЭ добавляют мощность в систему, снижается потребность в других энергетических мощностях (мощность ВИЭ в системе увеличивается с расширением географии электростанций и диверсификацией источников энергии). В результате, при высоких долях ВИЭ, остальная часть электростанций должна в большей степени обеспечивать запас мощности, чем выработку электроэнергии [1].

То есть общую пользу, получаемую при добавлении в СЭ солнечной или ветряной генерации нельзя указать. Эта системная ценность применения ВИЭ определяется сочетанием положительных и отрицательных факторов, включающих снижение стоимости топлива, сокращение выбросов двуокси углерода и других загрязняющих веществ, или более высокие затраты на дополнительную сетевую инфраструктуру.

Ветровая и солнечная энергетика может «безболезненно» интегрироваться в СЭ с помощью соответствующих стратегий интеграции [9, 11]. Можно выделить шесть важных направлений:

1) Оказание ВЭС и СЭС системных услуг по увеличению выработки ЭЭ. Для этого необходимы соответствующие изменения в нормативной базе.

2) Развертывание объектов ВИЭ генерации в тех районах, где они могут обеспечивать большую

системную ценность (например, ближе к местам наивысшего спроса).

3) Диверсификация источников ВИЭ – взаимное дополнение солнечной и ветровой генерации за счет развития гидроэнергетики

4) Локальная интеграция с другими ресурсами. Речь идет о повышении доли собственного (локального) потребления энергии, производимой на месте, благодаря использованию комплекса (пакета) решений. Например, комбинация СЭС с накопителями энергии (НЭ) и использование механизмов по управлению спросом. Это снижает потребность в инвестициях в распределительные сети.

5) Оптимизация периода генерации. Конструкция установок в составе ВЭС и СЭС может быть оптимизирована для облегчения их интеграции в сеть. Например, использование больших лопастей на ВТ и снижение рабочих скоростей ветра ВТ при той же установленной мощности ВЭУ уменьшает интеграционные вызовы, поскольку ВЭУ производит электричество с большей стабильностью.

6) Комплексное планирование, мониторинг и контроль. Стоимость разных технологий генерации и производимая ими электроэнергия динамично меняются. Следовательно, оптимальная структура генерации также меняется со временем, что требует регулярной корректировки стратегий.

В итоге расширения доли ВИЭ в СЭ сети не строят таким образом, чтобы резервировать какую-то конкретную группу электростанций. Важно, чтобы СЭ в целом обеспечивала соответствие спроса и предложения. Такое отношение производителей ЭЭ и потребителей в сети получило название концепции «Умные сети» (Smart Grid) [12]. В этом случае СЭ из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии превращается в активный элемент, параметры и характеристики которого изменяются в реальном времени в зависимости от режимов работы энергосистемы. По мнению идеологов концепции «Smart Grid», энергетическая система, построенная по данному принципу, должна упростить взаимодействие объектов традиционной и распределенной генерации с имеющимися стохастические (случайные) графики выработки электроэнергии ВИЭ.

Технологические инновации в связи с применением ВИЭ приводят к изменению традиционной роли единой и автономной СЭ в распределении электроэнергии. Расширение распределенной генерации и энергохранилищ на основе НЭ в автономных СЭ, развитие сложных систем по управлению отношений «производитель – потребитель» ведет к снижению роли единых центральных СЭ.

Если к автономным распределенным источникам энергии добавить энергохранилища, стоимость которых будет падать пропорционально растущему спросу, легко представить появление так называемых «просьюмеров» – потребителей энергии, одновременно являющихся ее производителями.

Все идет к тому, что потребители, или «просьюмеры», будут торговать электричеством друг с другом через умных посредников, способных управлять совокупным спросом и объединять различные типы генерации [12].

Применение ВИЭ и НЭ существенно меняет тенденции в развитии централизованного электроснабжения. Децентрализованное и автономное электроснабжение получает значительные преимущества перед централизованными СЭ, в первую очередь, по стоимости и снижению потерь ЭЭ при передаче и распределении. Для примера на рис. 10 приведена карта России с указанием зон нецентрализованного и автономного электроснабжения, в которых проживает 25 миллионов человек. Применение ВИЭ и НЭ в этих областях страны происходит особенно интенсивно [5].

Увеличение мощности ВИЭ, в частности, расширяющееся применение ВЭС и СЭС в ЭЭ во всем мире привело к значительному росту производства мощных НЭ [8, 13].

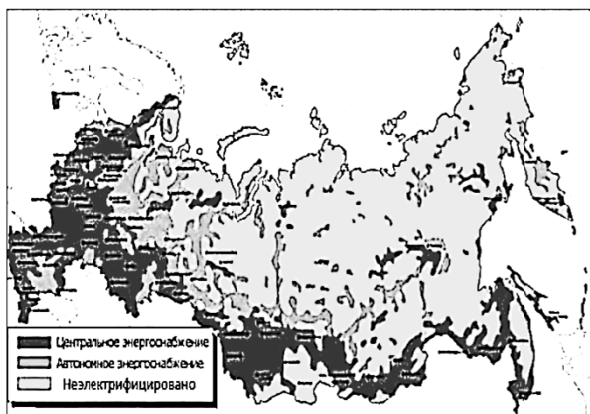


Рис. 10. Карта России с указанием зон нецентрализованного и автономного электроснабжения

Наибольшее применение в ЭС получили химические аккумуляторные батареи (АК). Больше половины эксплуатируемых АК – свинцово-кислотные, главным их недостатком является относительно небольшой срок службы – до десяти лет. Распространены никель-кадмиевые и серно-натриевые АК. В настоящее время проявляется повышенный интерес к литий-ионным накопителям, постоянно ведется работа по их усовершенствованию. Они обладают высокой энергоемкостью, глубокими циклами заряда-разряда (70–80%), низким током саморазряда, отсутствием эффекта памяти, следовательно, лишены недостатков, присущих НЭ других типов. Тем не менее, у литий-ионных аккумуляторов есть и свои недостатки: высокая удельная стоимость, недостаточный ресурс работы (небольшое количество циклов заряда-разряда), существенное уменьшение ресурса при работе в пиковых режимах

при заряде и разряде, наличие специальных требований к глубине разряда.

Активно ведется разработка алюминиево-ионных АК, которые будут способны заместить более распространенные на рынке литий-ионные АК. Ключевые достоинства таких АК это высокая энергоемкость и высокая скорость зарядки. Но самое главное это стоимость киловатт-часа, выданного таким АК, потенциально будет как минимум в полтора раза ниже других аналогов просто из-за того, что алюминий дешевле лития.

Все типы электростатических накопителей связываются с сетью через устройства силовой электроники – преобразователи тока или напряжения.

Все ВИЭ характеризуются значительными колебаниями первичного потока энергии. Резкое изменение скорости ветра, как уменьшение скорости, так и возрастание скорости, требуют немедленной замены мощности данной ВЭС за счет ТЭС или НЭ. Колебания солнечного излучения (СИ) в течение суток таково, что пиковая мощность приходится на середину светлой части суток, а пиковая нагрузка сети – на вечернее время. При этом величина СИ сильно зависит от состояния атмосферы и от времени года.

Таким образом, чтобы подготовиться к непредсказуемым перебоям в выработке солнечной или ветровой энергии, ЭЭ должны иметь наготове больше резервов ТЭС вне зависимости от потребной мощности в данный момент. В результате применение ВЭС и СЭС опосредовано ведет к увеличению углеродных выбросов на ТЭС.

Еще одним аргументом в пользу применения НЭ служит тот факт, что в ночное время скорость ветра обычно выше и большое количество электроэнергии ВЭС в ночные часы некому потреблять.

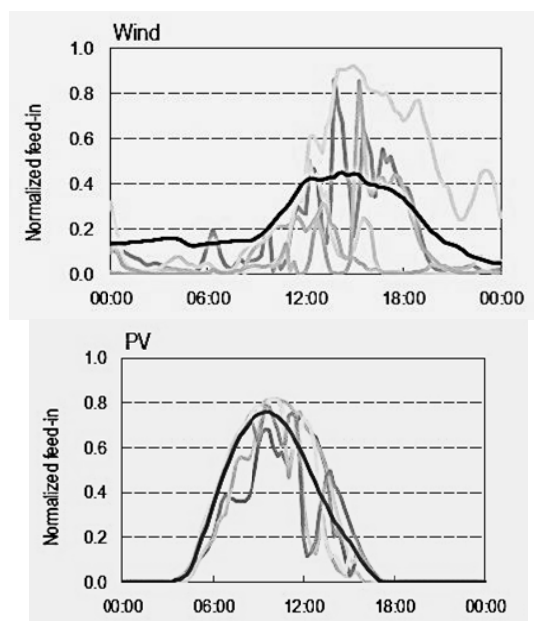


Рис. 11. Характерные графики изменения генерации ВЭС и СЭС в течение суток

Большой интерес представляют собой широко обсуждаемые в настоящее время вопросы о роли и месте НЭ в «Умных сетях» [14], построение которых практически невозможно без НЭ. В такой системе применение НЭ целесообразно как в качестве НЭ, которые работают одновременно с сетью, добавляя или забирая часть нагрузки, так и в качестве традиционных источников бесперебойного питания (ИБП), которые работают только тогда, когда по каким-то причинам отключилось внешнее электропитание. На рис. 11 приведены характерные графики изменения генерации ВЭС и СЭС в течение суток.

Основные функции НЭ в составе СЭ:

- выравнивание графиков нагрузок сети и демпфирование колебаний мощности для повышения устойчивости ЭС;
- стабилизация работы децентрализованных источников энергии, включая ВИЭ;
- расширение доступной мощности СЭ для покрытия пиковых нагрузок сети, стабилизация СЭ в переходных режимах;
- обеспечение резервного электроснабжения при ограничении мощности генерации и в аварийных режимах;
- обеспечение компенсации реактивной мощности и активной фильтрации высших гармоник в напряжении СЭ.

На рис. 12 приведен график прогноза роста рынка НЭ к 2021 г [13, 14].

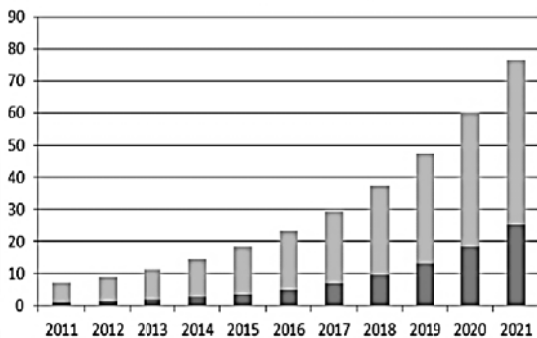


Рис. 12. График прогноза роста рынка НЭ, млрд. \$

В целом глобальные производственные мощности по производству аккумуляторов до 2021 года увеличатся более чем в два раза, превысив 278 ГВт·час. в год по сравнению с 103 ГВт·час. в настоящее время [14].

К 2030 г ожидается, что цены на аккумуляторные батареи упадут до 73 долларов за кВт·час., по сравнению с средневзвешенной ценой 273 доллара за кВт·час. в 2016 г.

Для примера применения НЭ компания Tesla построит крупнейший в мире НЭ в Австралии [15]. Объект мощностью 100 МВт и ёмкостью 129 МВт·ч, скомпонованный из «Tesla Powerpack energy storage system», будет возведён в штате Южная Австралия, известном высокой долей ВИЭ в электроэнергетике и, при этом, слабой энергетической инфраструктурой. Крупнейшая действующая на нынешний день промышленная система хранения энергии на основе АК - это объект AES Energy Storage в Сан-Диего (США) с

параметрами 30 МВт/120 МВт·ч. В то же время ранее сообщалось, что в той же Австралии в работе находится батарейный накопитель энергии ёмкостью 4000 МВт·ч, то есть существенно более крупный, чем у Tesla. Там же в Австралии «Lyon Group» строит две системы хранения на основе литий-ионных АК с характеристиками 100 МВт/400 МВт·ч и 100 МВт/200 МВт·ч.

НЭ на основе литий-ионных батарей уверенно занимают своё важное место в мировой энергетике, становятся неотъемлемой частью энергетического ландшафта, и единичные размеры этих систем хранения энергии начинают перешагивать за отметку 100 мегаватт мощности.

На рис. 13 показано фото СЭС на острове Кауаи (Kauai) Гавайского архипелага (штат Гавайи), США. Объект состоит из ФБ суммарной мощностью 13 МВт (примерно 55 тысяч модулей) и промышленных НЭ (272 штуки) Tesla Powerpack-2, ёмкостью 52 МВт·часа компании Tesla [15].

На рис. 14. приведено фото буферного АК для ВЭС на острове Хоккайдо. Мощность ВЭС 61 МВт, мощность буферного НЭ – 34 МВт, время работы 8 часов.



Рис. 13. Фото СЭС на острове Кауаи (Kauai) Гавайского архипелага. На переднем плане фото – блоки НЭ общей ёмкостью 52 МВт·ч



Рис. 14. Фото буферного НЭ для ВЭС на острове Хоккайдо мощностью 34 МВт

Проведенная авторами работа на основании аналитических исследований и результатов опыта эксплуатации СЭ в Республике Крым в период дефицита электрической генерации в 2014 г позволила разработать схемные решения по включению в систему электрогенерации ВЭС и СЭС мощных НЭ (рис. 15, 16), что может обеспечить надежную генерацию электроэнергии на СЭС и ВЭС в течение 4-6 часов независимо от погодных условий, и позволило бы надежно иметь до 400 МВт мощности столь необходимых в период нехватки ЭЭ с материка.

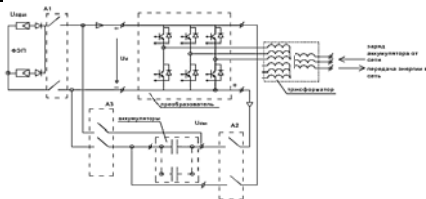


Рис. 15. Схемное решение по включению в СЭ СЭС мощных НЭ

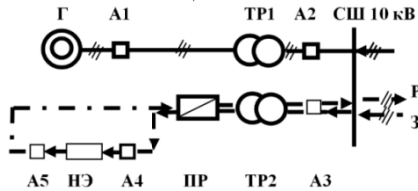


Рис. 16. Схемное решение по включению в СЭ ВЭС мощных НЭ: Г – генератор, А1 – А5 – автоматический выключатель, ТР1 – ТР2 – трансформатор, ПР – преобразователь, НЭ – накопитель энергии, Р – разрядная линия, З – зарядная линия

### ВЫВОДЫ

1. В работе проведен анализ мирового производства электроэнергии на различных станциях традиционной энергетики и перспективы развития ВИЭ, в частности промышленных СЭС и ВЭС при включении в единую электрическую сеть, показана актуальность применения мощных накопителей энергии в связи со случайным характером первичных потоков солнечной и ветровой энергии.

2. Задачи по увеличению доли мощности ВЭС и СЭС в общей энергосистеме, планируемые в мире к 2035 г, могут быть решены только с применением эффективных НЭ.

3. Разработанные схемные решения по включению мощных НЭ в СЭ на базе ВИЭ позволит обеспечить стабильное электроснабжение независимо от погодных условий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сокут Л.Д. Основные этапы расчета параметров солнечной электростанции / Э.А. Бекиров, Л.Д. Сокут // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2013. - № 17(39). – С.29-35.
2. Электронный ресурс: [http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy\\_razvitiya\\_mirovoj\\_elektroenergetiki\\_1](http://www.ruscable.ru/article/Perspektivy_razvitiya_mirovoj_elektroenergetiki_1) / Перспективы развития мировой электроэнергетики до 2035 года.
3. Электронный ресурс: <http://uabio.org/> Анализ энергетических стратегий стран ЕС и мира.

4. Электронный ресурс: <http://www.be5.biz/ekonomika/r2012/2109.htm> / Перспективы развития мировой электроэнергетики.

5. Сокут Л.Д. Возможности повышения эффективности солнечных электростанций в объединенной электрической сети за счет применения накопителей энергии [Текст] / Л.Д. Сокут, А.С. Муровская, А.Н. Курзо // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы» (Пермь, 08.02.2017 г.). – В 2 ч. Ч.1 / Уфа: Омега сайнс, 2017. – С.70-73.

6. Муровский С.П. 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.

7. Безруких П.П. Ветроэнергетика (справочное и методическое пособие). – М.: «Энергия», 2010. – 320 с.

8. Электронный ресурс: [http://e-veterok.ru/akkumulyatori\\_razdel.php](http://e-veterok.ru/akkumulyatori_razdel.php) / Аккумуляторы для ветряных и солнечных электростанций.

9. ГОСТ Р 51237-98. Нетрадиционная энергетика – ветроэнергетика. Утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 декабря 1998 г. N 460 ст. – М.:Издательство стандартов, 1999. – 14 с.

10. Сокут Л.Д. Расчет параметров накопителей энергии для солнечных электростанций при включении их в объединенную энергосеть [Текст] / Л.Д. Сокут, С.П. Муровский, В.П. Лесик // Международный научный журнал «Символ науки», № 02-2/2017/ – В 2 ч. Ч 2. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 74-77.

11. ГОСТ Р 51594-2000. Нетрадиционная энергетика – солнечная энергетика. Утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта России от 21 апреля 2000 г, № 119. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 12 с.

12. Электронный ресурс: <http://peretok.ru/articles/innovations/5253> / Сетевые накопители: новое в управлении энергосистемой.

13. Электронный ресурс: [www.elektro-journal.ru/](http://www.elektro-journal.ru/) Применение накопителей энергии в электроэнергетике.

14. Электронный ресурс: [www.ntc-power.ru/innovative\\_projects/drives\\_a\\_large\\_electric\\_power\\_energy/](http://www.ntc-power.ru/innovative_projects/drives_a_large_electric_power_energy/)Накопители электрической энергии большой емкости.

15. Электронный ресурс: <http://renew.ru/tesla-solar-plus-storage-power-plant-hawaii/> / Электростанция с накопителями на Гавайях. Компания Tesla.

Sokut L. D., Murovskaya A. S.

## PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS BY CONNECTING WIND AND SOLAR POWER WITH ENERGY STORAGE INTO THE GRID

**Annotation.**The article analyzes the development prospects of the world's electricity production and connection problems of wind and solar power into the grid. The prospect of renewable energy development taking into account the growth of electricity consumption and improve the quality of energy produced through the use of powerful energy storage devices that are included in the internal circuit of power plants based on unconventional energy.

**Key words:** electricity, solar power, wind power, total grid energy storage



## ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОКОПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ $\alpha$ -Si:H - c-Si

Быков М.А., Бекиров Э.А.

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

**Аннотация.** Предложена модель расчета фотопреобразователей на основе переходов аморфный - монокристаллический кремний в кинетическом приближении характеристик. Проведен расчет зависимости от температуры фотопроводимости пленок  $\alpha$ -Si:H, полученных методом магнетронного распыления.

**Ключевые слова:** монокристаллический кремний, аморфный кремний, гетеропереход, фотопроводимость.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальным на сегодняшний день является способ получения энергии, поступающей от Солнца, путем фотопреобразования. Одним из факторов, ограничивающим возможности получения энергии данного типа, является высокая стоимость фотопреобразователей и их малая эффективность по сравнению с невозобновляемыми источниками энергии. Определенные надежды в решении данной проблемы возлагаются, в частности, на развитие технологии получения тонкопленочных фотопреобразующих элементов на основе гетеропереходов, в частности аморфный – монокристаллический или поликристаллический кремний.

В работах [1, 2, 3] проведены исследования зависимости фотопроводимости  $\alpha$ -Si:H р-типа от уровня легирования и концентрации водорода в аргоново-водородной плазме и дефектов в структуре. Исследования проводились как с использованием численной модели, так и на экспериментальных образцах. Предложена энергетическая модель фотопроводимости аморфного кремния. В [2] проводились исследования свойств и структуры пленок  $\alpha$ -Si:H, полученных методом разложения силана в высокочастотном тлеющем разряде, от внешних воздействий, в том числе от температуры отжига. В работах [4, 5] предложен более простой и экономически выгодный магнетронный метод напыления тонких пленок аморфного гидrogenизированного кремния, обладающего схожими характеристиками.

Эффективность фотопреобразования в равной степени зависит от характеристики пленки и от геометрии преобразователей.

Целью данной работы является разработка основных положений численной модели для исследования зависимости фотопроводимости гетеропереходов  $\alpha$ -Si:H – c-Si и ее апробация.

### МОДЕЛЬ ТОКОПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ

Для решения поставленной задачи целесообразно проводить расчет в кинетическом приближении. При описании процессов переноса носителей в кремнии

можно использовать модель, предложенную в [6, 7], дополнив ее представлениями из [1, 2].

Перенос носителей в аморфном кремнии описывается в терминах прыжковой проводимости для неупорядоченной системы с наличием случайного поля хаотически расположенных заряженных точечных центров. Процесс проводимости описывается переходами носителей между различными локализованными состояниями.

Корреляционная функция случайного поля представляется в виде [8]:

$$\varphi(r) = \frac{2\pi n_t e^4}{\varepsilon^2} r_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right), \quad (1)$$

где  $r_0 = \left(\frac{4\pi n_0 e^2}{\varepsilon T}\right) = \alpha^{-1}$  - радиус экранирования,

$n_t$  - концентрация центров,  $e$  - заряд электрона,  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость образца, а  $r = r_1 - r_2$  - расстояние между двумя точками в образце.

Кинетическое уравнение для аморфного кремния в стационарном состоянии можно записать в виде, предложенном в [8], переписав правую часть с учетом всех основных процессов генерации и рекомбинации носителей тока.

$$\frac{\partial f_{\lambda}}{\partial t} = -\sum_{\lambda'} \{W_{\lambda\lambda'} f_{\lambda} (1 - f_{\lambda'}) - W_{\lambda'\lambda} f_{\lambda'} (1 - f_{\lambda})\},$$

где  $f_{\lambda}$  - неравновесный диагональный элемент одночастичной матрицы плотности,  $W_{\lambda\lambda'}$  - вероятность перехода между состояниями  $\lambda$  и  $\lambda'$ . Вероятность рассеяний, соответствующих различным типам переходов определяется через сечения рассеяния.

Соответственно данное уравнение описывает эволюцию диагональной части матрицы плотности, а в области локализованных состояний оно описывает баланс электронных переходов между различными

состояниями. Вероятности перескоков между различными парами центров меняются случайным образом и в широком интервале. В результате изменения заселенности состояний, наиболее легкие направления перескоков могут быть блокированными.

Генерация носителей тока характеризуется темпом оптической генерации  $G$ . Для интерпретации фотопроводимости используются следующие модели рекомбинации:

1) рекомбинация «зона - хвост» происходит при захвате неравновесного носителя из свободной зоны на состояние хвоста противоположной зоны, захватившее перед этим носитель другого знака и действующее как рекомбинационный центр. Количество состояний хвоста увеличиваются по мере уменьшения температуры;

2) рекомбинация «хвост - оборванная связь» происходит при туннелировании захваченных носителей из состояния хвостов зон на состояния оборванных связей;

3) рекомбинация «хвост - хвост» - это туннельная рекомбинация между электронами, захваченными на состояния хвоста зоны проводимости, и дырками, захваченными на состояния хвоста валентной зоны.

В [3] показано, что в действительности нужно учитывать все возможные механизмы рекомбинации и выделять из них основной в зависимости от спектра состояний носителей, типа и концентрации дефектов, внешних условий (температура, интенсивность света и т.д.).

Однако при описании процессов рекомбинации носителей и их захвата на соответствующие ловушки

можно воспользоваться моделью, предложенной в [2, 3], дополнив ее представлениями, описанными в [8].

Плотность состояний в неупорядоченном полупроводнике при  $|E| \gg \sqrt{\psi_1}$  [9]:

$$\rho(E) = \frac{\psi_1 \exp\left(-\frac{E^2}{2\psi_1}\right)}{2\pi^2|E|^{3/2}} + \frac{\alpha \cdot \exp\left(-\frac{E^2}{2\psi_1}\right)}{8\sqrt{2\pi}^{3/2}\sqrt{\psi_1}} \left(E - \frac{\alpha|E|^{3/2}}{\sqrt{2\pi\psi_1}}\right) \quad (2),$$

где  $\psi_1 = 2\pi n_i e^4 r_0 / \epsilon^2$ ,  $E$  - энергия состояния,  $\alpha^{-1} = r_0$  - характерная длина, роль которой играет радиус экранирования.

Расчеты проводятся для упрощенной модели плотности состояний в щели подвижности, состоящей из четырех дискретных уровней (рис. 1). Уровни  $E_{tp}$  и  $E_m$  с плотностью состояний  $N_{tp}$  и  $N_m$  - эффективные уровни хвоста валентной зоны и зоны проводимости соответственно. Уровни  $E_D$  и  $E_D + U$  - энергетические уровни состояний оборванных связей.

Рассматриваем состояния хвостов зон в качестве мелких ловушек, находящихся в термодинамическом равновесии с ближайшей зоной, т.е. "ловушки для дырок" и "ловушки для электронов". Такое упрощенное представление плотности состояний в щели подвижности, как показано в работе [2], не приводит к качественным изменениям результатов численного расчета.

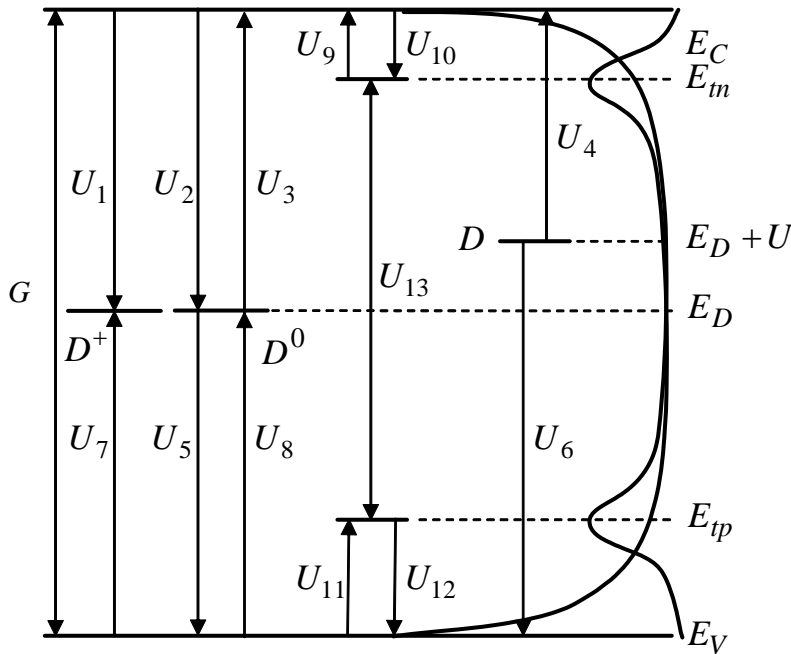


Рис. 1. Схематическое представление электронных переходов для упрощенной модели плотности состояний и вид плотности состояний в щели подвижности из (1)

На рис.1 показаны вероятные переходы, которые учитывались при расчетах. Как и в модели [2, 3], в данной работе рассмотрены два возможных канала рекомбинации: прямой

захват свободных электронов и дырок на  $D$ -центры (потоки  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_5$  и  $U_6$ ) и туннельная рекомбинация между электронами, захваченными на состояния хвоста зоны

проводимости, и дырками, захваченными на состоянии хвоста валентной зоны ( $U_{13}$ ).

Определив вероятности нахождения  $D$ -центра в состоянии  $D^+$ ,  $D^0$  и  $D^-$  как  $f^+$ ,  $f^0$  и  $f^-$  соответственно. Поскольку  $D$ -центр может находиться только в трех состояниях,  $f^+ + f^0 + f^- = 1$ . Можно записать на основе формализма Шокли-Рида [8]:

$$\begin{aligned} U_1 &= nN_D f^+ c_n^+, & U_2 &= nN_D f^0 c_n^0, & U_3 &= N_D f^0 e_n^0, \\ U_4 &= N_D f^- e_n^-, & U_5 &= pN_D f^0 c_p^0, & U_6 &= pN_D f^- c_p^-, \\ U_7 &= N_D f^+ e_p^+, & U_8 &= N_D f^0 e_p^0, \\ U_9 &= nN_m (1 - f_m) c_m, & U_{10} &= N_m f_m e_m, \\ U_{11} &= pN_{tp} f_{tp} c_{tp}, & U_{12} &= N_{tp} (1 - f_{tp}) e_{tp}, \\ U_{13} &= N_{tp} f_{tp} N_m f_m T_{np}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $c_n^0$  и  $c_n^+$  - коэффициенты захвата электрона на  $D^0$ - и  $D^+$ -состояния;  $c_p^0$  и  $c_p^-$  - коэффициенты захвата дырок на  $D^0$ - и  $D^-$ -состояния;  $e_n^0$ ,  $e_n^-$ ,  $e_p^0$  и  $e_p^+$  - коэффициенты теплового выброса электронов из  $D^0$ - и  $D^-$ -состояний и дырок из  $D^0$ - и  $D^+$ -состояний;  $f_m$ ,  $f_{tp}$  - вероятности заполнения ловушек для электронов и дырок;  $c_m$ ,  $c_{tp}$  и  $e_m$ ,  $e_{tp}$  - коэффициенты захвата электронов и дырок на соответствующие ловушки и теплового выброса из них;  $N_D$  - концентрация  $D$ -центров;  $T_{np}$  - коэффициент туннельной рекомбинации «хвост - хвост».

Увеличение плотности электронов в зоне проводимости обусловлено оптической генерацией  $G$  и переходами  $U_3$ ,  $U_4$ ,  $U_{10}$ . Уменьшение плотности обусловлено переходами  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_9$ . Можно записать, что изменение концентрации электронов проводимости:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G - U_1 - U_2 + U_3 + U_4 - U_9 + U_{10}. \quad (4)$$

Аналогично, можно записать для плотности дырок в валентной зоне и плотности заполнения уровней  $E_m$ ,  $E_{tp}$  и  $D$ :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G - U_5 - U_6 + U_7 + U_8 - U_{11} + U_{12},$$

$$\frac{\partial [N_m f_m]}{\partial t} = U_9 - U_{10} - U_{13},$$

$$\frac{\partial [N_{tp} f_{tp}]}{\partial t} = U_{11} - U_{12} - U_{13},$$

$$\frac{\partial [N_D f^+]}{\partial t} = U_3 + U_5 - U_1 - U_7. \quad (5)$$

Данные соотношения позволяют определить вероятности генерации и рекомбинации носителей, входящие в правую часть кинетического уравнения.

Кинетическое уравнение в нестационарном состоянии можно записать для функции распределения носителей  $f$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_\lambda}{\partial t} + (\vec{v} \vec{\nabla}_r f_\lambda) + \frac{1}{\hbar} (\vec{F}_i \vec{\nabla}_k f_\lambda) = \\ = \left( \frac{\partial f}{\partial t} \right)_i - \sum_{\lambda'} \{ W_{\lambda\lambda'} f_\lambda (1 - f_{\lambda'}) - W_{\lambda'\lambda} f_{\lambda'} (1 - f_\lambda) \} \end{aligned}$$

где  $\vec{v}_i$  - скорость носителей заряда  $e_i$ ,  $\vec{F}_i$  - сила, действующая на заряд со стороны внешнего электромагнитного поля и остальных носителей заряда,  $\left( \frac{\partial f}{\partial t} \right)_i$  - интеграл столкновений,  $\rho$  - плотность объемного заряда ионов в образце,  $\sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i$  - плотность объемного заряда, создаваемого свободными носителями тока.

Сила  $\vec{F}_i$  является электрической и может быть определена как градиент поля, которое находится решением уравнения Пуассона:

$$\Delta \varphi = -\frac{1}{\varepsilon} (\rho(\vec{r}) - \sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i)$$

с учетом добавки в виде случайного поля (1).

Методика решения рассмотренной выше системы уравнений подробно изложена в работах [6, 7],

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Параметры модели были выбраны в соответствии с известными из литературы данными и данными, полученными из экспериментальных исследований [4, 5]. Расчет проводился для аморфного кремния с различной степенью гидрирования. Ширина щели подвижности принималась равной 1.8 эВ. Положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны задавалось равным 1.05 эВ. Для параметров оборванных связей принимались следующие значения:  $E_D = 0.9 \text{ эВ}$ ,  $U = 0.3 \text{ эВ}$ . Темп фотогенерации принимался равным

$$G = 10^{19} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}, \quad c_n^0 = c_p^0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^{-3} \text{ и}$$

$$c_n^+ = c_p^- = 1.5 \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2}.$$

Расчет проводился для проводимости в области низких напряженностей внешнего поля до 3 кВ/см.

На рис.2 представлены результаты численного моделирования тепловой удельной

проводимости для различных значений концентрации водорода.

Полученные в результате моделирования зависимости удельной проводимости хорошо согласуются с экспериментальными данными.

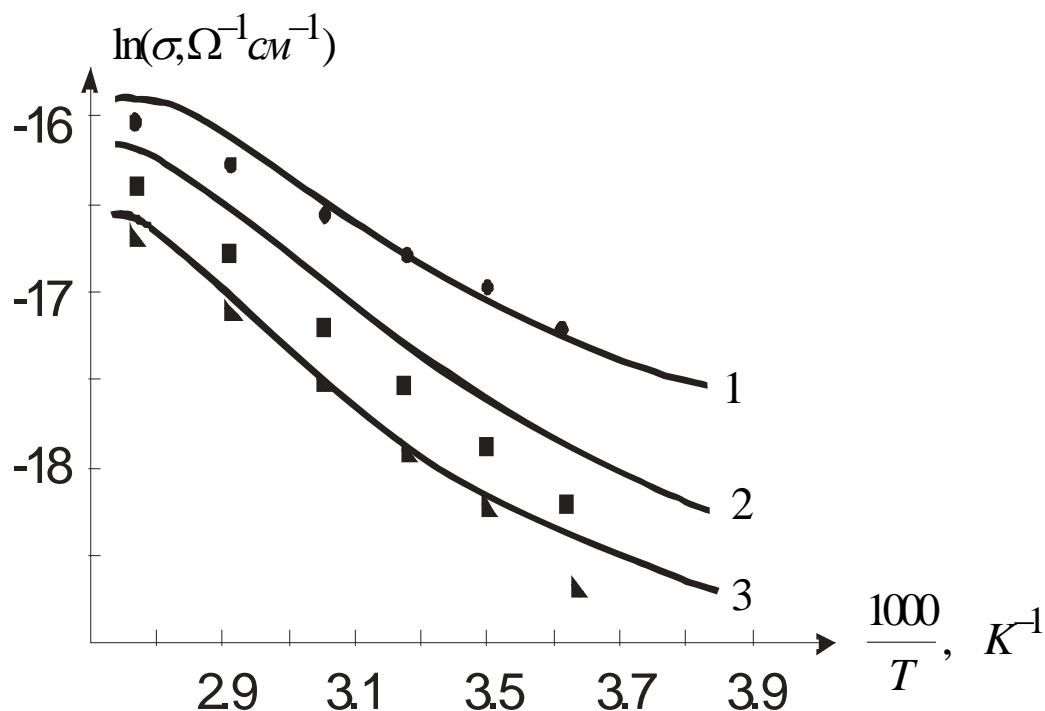


Рис.2. Тепловая зависимость расчетной (сплошные линии) и экспериментальной (точки) удельной проводимости  $\alpha$ -Si пленок, полученных магнетронным методом при концентрации водорода: 1 - 10%, 2 - 30%, 3- 40%

## ВЫВОДЫ

В данной научной статье разработаны основные положения модели для исследования зависимости фотопроводимости гетеропереходов  $\alpha$ -Si:H - c-Si в кинетическом приближении.

Обосновано использование упрощенной модели плотности состояний в щели подвижности гидрогенизированного аморфного кремния. Данная модель позволяет проводить исследования влияния температуры, степени легирования и геометрических размеров на характеристики фотопреобразователей.

Для апробации модели проведен расчет зависимости удельной проводимости пленки  $\alpha$ -Si:H, полученной магнетронным методом, от температуры. Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными показало работоспособность данного подхода при моделировании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.В., Теруков Е.И. Влияние хвостов зон  $\alpha$ -Si:H на заполнение оборванных связей и величину фотопроводимости // ФТП. – 2001. – Т.35, вып.6. – С.684-686.

2. Кузнецов С.В. Эффект Стеблера-Вронского и температурные зависимости фотопроводимости  $\alpha$ -Si:H p-типа // ФТП. – 2000. – Т.34, вып.6. – С.748-752.

3. Кузнецов С.В. Численный расчет температурных зависимостей фотопроводимости  $\alpha$ -Si:H p-типа // ФТП. – 2001. – Т.35, вып.10. – С.1244-1249.

4. М.А.Вуков, А.С. Mazinov Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silicon // Proc. of SPIE - Vol. 6023. - P.60230Q1-60230Q9.

5. Быков М.А. Исследование влияния концентрации водорода на свойства пленок аморфного гидрогенизированного кремния полученных магнетронным методом // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – 4/3(22). – С.36-38.

6. Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Чурюмов Г.И., Шадрин А.А. Модель ПТШ субмикронных размеров на кремнии. Ч.1 // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков. – 2004. – №3. – С.47–53.

7. Гордиенко Ю.Е., Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Шадрин А.А. Особенности лавинного пробоя в кремниевых

ПТШ по результатам численного моделирования // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2006. – Вып.121. – С.146-152.

8. Быков М.А., Быков А.М., Зуев С.А., Мазинов А.С, Слипченко Н.И., Унжаков Д.А. Модель фотогенерации и переноса носителей в структуре  $\alpha$ -Si:H - c-Si. Ч.2 // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков. – 2008. – №1. – С.77–77.

9. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Кайпер Р., Миронов А.Г., Эндерлайн Р., Эсер Б. Электронная теория неупорядоченных полупроводников. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

10. Быков М.А., Мазинов А.С. Оптические характеристики аморфных тонкопленочных структур. // Сборник трудов IV Международной конференции «Аморфные и

микросталлические полупроводники» – Санкт-Петербург, 2004.

11. Быков М.А., Слипченко Н.И., Зуев С.А. Герчио И.Ю. Оптимизация оптоэлектронных характеристик гетероструктур на основе аморфного и кристаллического кремния // Сборник научных трудов 2-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития». – Кацивели, –2009.

12. Быков М.А., Слипченко Н.И., Зуев С.А. Модель токопереноса в гетероструктуре аморфный-монокристаллический кремний // Сборник научных трудов 3-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база. Микро-, Опто и нанoeлектроники» - Харьков-Кацивели -2010.

Bykov M. A., Bekirov E. A.

### NUMERICAL-ANALYTICAL MODEL OF CARRIER CURRENT TRANSFER IN PHOTOCONVERTERS ON HETEROJUNCTIONS $\alpha$ -SI:H - C-SI

**Annotation.** A model is proposed for calculating photoconverters based on amorphous-monocrystalline silicon transitions in the kinetic approximation of the characteristics. The dependence of the temperature of the photoconductivity of  $\alpha$ -Si:H films obtained by the magnetron sputtering method is calculated.

**Key words:** monocrystalline silicon, amorphous silicon, heterojunction, photoconductivity.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНОГО ТЕЧЕНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ МЕСТНОГО ОТСОСА – РАСТРУБА

Логачев А.К.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова»,  
г.Белгород

**Аннотация.** Предложен метод математического моделирования, вычислительный алгоритм и компьютерная программа для расчета отрывного течения на входе в круглый местный отсос – раструб с тонкими стенками при наличии набегающего потока. Для построения дискретной модели используются стационарные дискретные вихревые кольца. Адекватность и достоверность разработанного метода подтверждается удовлетворительным качественным и количественным согласованием результатов численных расчетов и экспериментальных замеров поля скоростей. Представлены исследования поведения пылевых частиц в спектре действия круглого местного отсоса-раструба при наличии восходящего воздушного потока.

**Ключевые слова:** метод дискретных вихрей, отрывные течения, течения в спектре действия всасывающих каналов, местная вытяжная вентиляция.

### ВВЕДЕНИЕ

Моделирование отрывных течений на входе во всасывающие каналы [1-7] необходимо для разработки наиболее эффективных, энергосберегающих систем местной вытяжной вентиляции, применяемых для улавливания загрязняющих веществ. Кроме того, полученные результаты будут полезны и для решения задач аспирации (отбора проб) [8-9]. Геометрию отрывных зон во входных элементах в виде раструбов также необходимо знать для оценки энергоэффективности контактных устройств с увеличенной пропускной способностью, проектируемых для тепломассообменных процессов [4].

Целью настоящей работы является развитие метода математического моделирования отрывного пылевоздушного течения на входе в тонкостенный всасывающий канал, выполненный в виде раструба, при наличии набегающего потока, а также исследование поведения пылевых частиц во всасывающем факеле.

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Дискретная математическая модель (рис.1) строится следующим образом. По границе течения размещены присоединенные бесконечно тонкие вихревые кольца (черные кружочки на рис.1) и контрольные точки (крестики на рис.1) - произвольные точки на окружности, охватывающей патрубков, либо лежащие во всасывающем сечении. Заметим, что во всасывающем сечении на оси симметрии размещен вихрь нулевого радиуса, поэтому он не учитывается. Число дискретных вихревых колец равно числу контрольных точек. В контрольных точках, лежащих на стенках патрубка, выполняется условие

непроницаемости - скорость вдоль направления нормали равна нулю. Во всасывающем сечении скорость в направлении внешней нормали одинакова и равна  $v_0$ . Разбиение на дискретные вихревые кольца и контрольные точки равномерно, контрольные точки находятся по центру между вихревыми кольцами. Расстояние между двумя соседними вихревыми кольцами равно шагу дискретности  $r_h$ . Свободная поверхность тока состоит из свободных вихревых колец (полые кружочки на рис.1) и образуется на острой кромке  $A$  раструба. Она определяется итерационным путем, описанным далее. Параллельно оси патрубка набегающий поток со скоростью  $v_\infty$ .

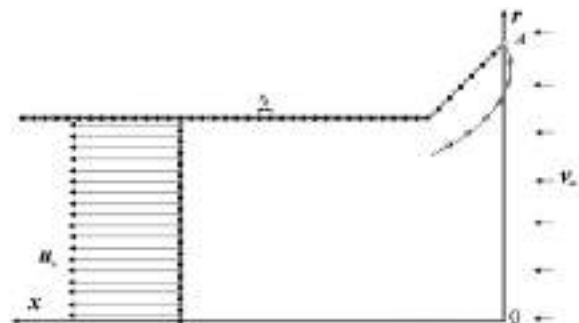


Рис.1. Дискретная математическая модель отрывного течения на входе в круглый отсос-раструб в меридиональной плоскости

Обозначим через  $N$  - количество присоединенных вихревых колец;  $N_s$  - количество свободных вихревых колец;  $x^p$  - контрольная точка,  $p = 1, 2, \dots, N$ .

Скорость в произвольной точке  $x$  вдоль направления  $\vec{n}$  вычисляется с помощью формулы:

$$v_n(x) = \sum_{q=1}^N \Gamma(\xi^q) G(x, \xi^q) + \gamma \sum_{q=1}^{N_s} G(x, \xi^q) + n_1 v_\infty, \quad (1)$$

где  $\xi^q$  - точка расположения  $q$ -го присоединенного вихревого кольца с циркуляцией  $\Gamma(\xi^q)$ ,  $\gamma = \text{const}$  - циркуляция свободного вихревого кольца,  $\xi^q$  - точка расположения  $q$ -го свободного вихревого кольца.

Функция  $G(x, \xi)$  выражает собой влияние на точку  $x(x_1, x_2)$  вихревого кольца с единичной циркуляцией, расположенного в точке  $\xi(\xi_1, \xi_2)$ :

$$G(x, \xi) = \frac{4(A_1 b + A_2 a) E(t)}{b(a-b)\sqrt{a+b}} - \frac{4A_2 F(t)}{b\sqrt{a+b}}$$

при  $b \neq 0$ ,  $G(x, \xi) = \frac{\xi_2^2 n_1}{2a\sqrt{a}}$  при  $b = 0$ ,

$$2x_2 \xi_2 = b > 0, \quad a = (x_1 - \xi_1)^2 + \xi_2^2 + x_2^2 > 0,$$

$$A_1 = \frac{\xi_2^2 n_1}{4\pi}, \quad A_2 = \frac{\xi_2}{4\pi} [(x_1 - \xi_1)n_2 - x_2 n_1],$$

$$F(t) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-t^2 \sin^2 \theta}}, \quad t = 2b/(a+b),$$

$$E(t) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-t^2 \sin^2 \theta} d\theta,$$

$$F(t) = \sum_{i=0}^4 c_i (1-t)^i + \sum_{i=0}^4 d_i (1-t)^i \ln \frac{1}{1-t},$$

$$E(t) = 1 + \sum_{i=1}^4 c_i (1-t)^i + \sum_{i=1}^4 d_i (1-t)^i \ln \frac{1}{1-t},$$

$c_i, d_i$  взяты из таблиц [8].

Если расстояние от точки  $x$  до точки  $\xi$  меньше шага дискретности  $r_h$ , то данная функция вычисляется по формуле:  $G(x, \xi) = ((x_1 - \xi_1)n_2 - (x_2 - \xi_2)n_1) / (2\pi r_h^2)$ . В случае  $x = \xi$  функция  $G(x, \xi) = 0$ .

Вычислительный алгоритм строится следующим образом. После задания точек расположения присоединенных вихрей и контрольных точек формируется двумерный массив  $G^{pq} = G(x^p, \xi^q)$ ;  $p = 1, 2, \dots, N$ ;  $q = 1, 2, \dots, N$ .

Запоминаются начальные коэффициенты при первой неизвестной циркуляции вихря, лежащей на острой кромке  $A$ :  $G(x^p, \xi^1) = P(x^p)$ ,  $p = \overline{1, N}$ . Нумерация вихрей ведется именно с этой точки. Далее начинается итерационная процедура.

Формируется одномерный массив свободных членов

$$v^p = -n_1 v_\infty - \sum_{q=1}^N G(x^p, \xi^q), \quad p = 1, 2, \dots, N.$$

Изменяются начальные коэффициенты:

$$G(x^p, \xi^1) = P(x^p) + \sum_{k=1}^{N_s} G(x^p, \xi^k), \quad p = \overline{1, N}.$$

На первой итерации  $N_s = 0$  и коэффициенты  $G(x^p, 1)$  не изменяются.

Решается относительно неизвестных  $\Gamma(\xi^q)$  система линейных алгебраических уравнений:

$$\sum_{q=1}^N \Gamma(\xi^q) G(x^p, \xi^q) = v(x^p), \quad p = 1, 2, 3, \dots, N$$

Запоминается циркуляция вихревого кольца, лежащего на острой кромке:  $\gamma = \Gamma^1$ .

Строится свободная поверхность тока, начиная с острой кромке  $A$ .

С использованием формулы (1), при  $\bar{n} = \{1, 0\}$  вычисляется составляющая скорости  $v_x$ , при  $\bar{n} = \{0, 1\}$  - составляющая скорости  $v_r$ . Последующая точка  $(x', r')$  определяется из предыдущей  $(x, r)$  с использованием формул:

$$x' = x + \Delta t v_x / \sqrt{v_x^2 + v_r^2}, \quad r' = r + \Delta t v_r / \sqrt{v_x^2 + v_r^2},$$

где  $\Delta t$  - шаг, который выбирается достаточно малым. Свободная поверхность тока будет состоять из свободных вихревых колец, удаленных друг от друга на расстояние шага дискретности  $r_h$ . То есть, в процессе вычислений, на каждом этапе проверяется расстояние до предыдущего свободного вихревого кольца. Как только в некоторой точке это расстояние становится равным, с точностью до малой погрешности, шагу дискретности, то в эту точку помещается следующее вихревое кольцо. Построение продолжается до вытяжного сечения. После чего итерационная процедура начинается с пункта 1 и продолжается пока абсолютная величина разности между старым значением циркуляции  $\gamma$  на свободной поверхности тока и новым значением больше заданной точности  $\varepsilon$ .

Траектории пылевых частиц строились с использованием дифференциального уравнения ее динамики:

$$\frac{dv_p}{dt} = \mathbf{g} - \frac{\bar{\psi} \chi u_\infty}{2 \cdot \text{St} \cdot R} (v_p - v_a), \quad (2)$$

где число Стокса  $\text{St} = \frac{\tau u_\infty}{2R}$ ; где  $R$  - радиус

трубы;  $\tau = \frac{\rho_p d_e^2}{18\mu}$ ;  $\psi_{st} = 24 / \text{Re}$ ;  $\psi = \psi_{st} \cdot \bar{\psi}$ ,

$$\bar{\psi} = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{Re} < 1, \\ (1 + 1/6 \cdot \text{Re}^{2/3}), & \text{если } 1 \leq \text{Re} < 10^3, \\ (1 + 0,065 \text{Re}^{2/3})^{1.5}, & \text{если } \text{Re} \geq 10^3. \end{cases}$$

$$Re = \frac{\rho_a |v_p - v_a| d_e}{\mu}, \quad \mu - \text{коэффициент}$$

динамической вязкости воздуха;  $v_a$  – скорость воздуха;  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $v_p$  – скорость частицы;  $\rho_p$  – плотность частицы;  $d_e$  – эквивалентный диаметр частицы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $S_m = \pi d_e^2 / 4$  – площадь миделевого сечения частицы;  $\chi$  – коэффициент ее динамической формы;

Уравнение (2) не является безразмерным, но выделен критерий Стокса, в зависимости от которого далее будет произведен ряд вычислительных экспериментов.

### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для верификации разработанного метода математического моделирования отрывного пылевоздушного течения было произведено сравнение расчетного и экспериментального профилей осевой составляющей скорости (рис.2). Экспериментальные значения скорости обозначены: закрашенными кружочками 1 при угле наклона раструба  $\alpha = 0^\circ$ ; ромбиками 2 при  $\alpha = 30^\circ$ ; квадратиками 3 при  $\alpha = 60^\circ$ ; полыми кружочками 4 при  $\alpha = 90^\circ$ . Расчеты выполнены с помощью разработанной по приведенным вычислительным алгоритмам программе: 5 -  $\alpha = 0^\circ$ ; 6 -  $\alpha = 30^\circ$ ; 7 -  $\alpha = 60^\circ$ ; 8 -  $\alpha = 90^\circ$ . Длина раструба везде равна 5 калибрам (радиусам всасывающего патрубка). Теснота связи экспериментальных и расчетных данных, оцениваемой по коэффициенту линейной корреляции Пирсона, равного  $0,991 \pm 0,002$ , оказалось очень высокой по шкале Чеддока. Средние значения, оцениваемые по критерию достоверности Стьюдента, равного 0,29 практически совпадают. Разброс данных относительно среднего, оцениваемого по критерию адекватности Фишера, равного 1,28, также близок.

Дальнобойность всасывающего факела наибольшая для круглой трубы ( $\alpha = 0^\circ$ ) на удалении  $x \approx 0,4$  калибра от входного сечения и на  $r < 0,75$  калибра от оси отсоса (рис. 4, а). При  $0,75 < r < 1,5$  имеет большую дальность действия раструб с углом наклона  $\alpha = 90^\circ$ , при  $1,5 < r < 3$  с углом  $\alpha = 30^\circ$ , при  $r$  свыше 3 калибров раструб при  $\alpha = 60^\circ$ . На удалении  $x = 0,7$  калибра от входного сечения и на  $r < 0,5$  калибра от оси отсоса дальнобойней труба (рис. 4, б). При  $0,5 < r < 1,75$  более – раструб при  $\alpha = 90^\circ$ , при  $1,75 < r < 3$  – раструб при  $\alpha = 60^\circ$ , свыше 3 калибров – раструб при

$\alpha = 30^\circ$ . При удалении  $x \approx 1$ ,  $r < 1,75$  дальнобойней раструб при  $\alpha = 90^\circ$ , а при  $r > 1,75$  раструб при  $\alpha = 60^\circ$  (рис. 4, в). При  $x > 1,8$  наиболее дальнобойней раструб при  $\alpha = 90^\circ$  (рис.4, г-е).

Далее исследовалось поведение пылевых частиц. В качестве исследуемого критерия выбран коэффициент аспирации, который определялся из формулы:  $A = (R_c / R)^2 \bar{v}$ , где  $R_c$  - начальное расстояние до оси симметрии, найденной предельной траектории пылевой частицы,  $\bar{v} = v_\infty / u_0$ . Удаление от входа во всасывающий канал при этом равно  $30R$ .

Выявлены закономерности изменения коэффициента аспирации от угла наклона раструба к его оси при фиксированной длине раструба (рис.5-6).

Зависимость коэффициента аспирации от длины раструба, расположенного под углом 90 градусов к оси отсоса представлена на рис.3. При числах Стокса стремящихся к нулю коэффициент аспирации практически не изменяется и стремится к единице при всех длинах раструба. При увеличении числа Стокса, коэффициент аспирации уменьшается при росте длины раструба. При числе Стокса  $St = 0,2$  наблюдается резкое падение коэффициента аспирации в диапазоне изменения длины раструба от 0 до 1 калибра. Все кривые пересекаются в одной точке, соответствующей длине раструба раной 0,5 калибра (калибр – это радиус  $R$  трубы).

При увеличении скорости набегающего потока в два раза, зависимость коэффициента аспирации от безразмерной длины раструба значительно изменяется (рис.4). При числах Стокса меньших 0,1 коэффициент аспирации близок к единице во всем диапазоне изменения длин раструба. Характер изменения коэффициента аспирации остается прежним – он снижается при росте длины раструба, но его величина не превосходит 1. Так как скорость набегающего потока стала выше, то здесь удалось построить графики изменений коэффициентов аспирации при увеличении числа Стокса до единицы. В последнем случае, это удалось в узком диапазоне изменения длин раструба.

Закономерности изменения коэффициента аспирации от угла наклона раструба к его оси при фиксированной длине раструба представлены на рис.5.

По-прежнему, при малых числах Стокса (меньше 0,01), коэффициент аспирации близок к единице. Графики изменения не монотонны, имеется минимум в диапазоне 45-60 градусов.

В случае снижения величины безразмерной скорости набегающего потока в 6 раз, зависимость коэффициента аспирации от угла наклона раструба к оси отсоса существенно

изменяется (рис.6). При увеличении указанного угла величина  $A$  падает. Данный

случай характерен изменением режима отрыва потока.

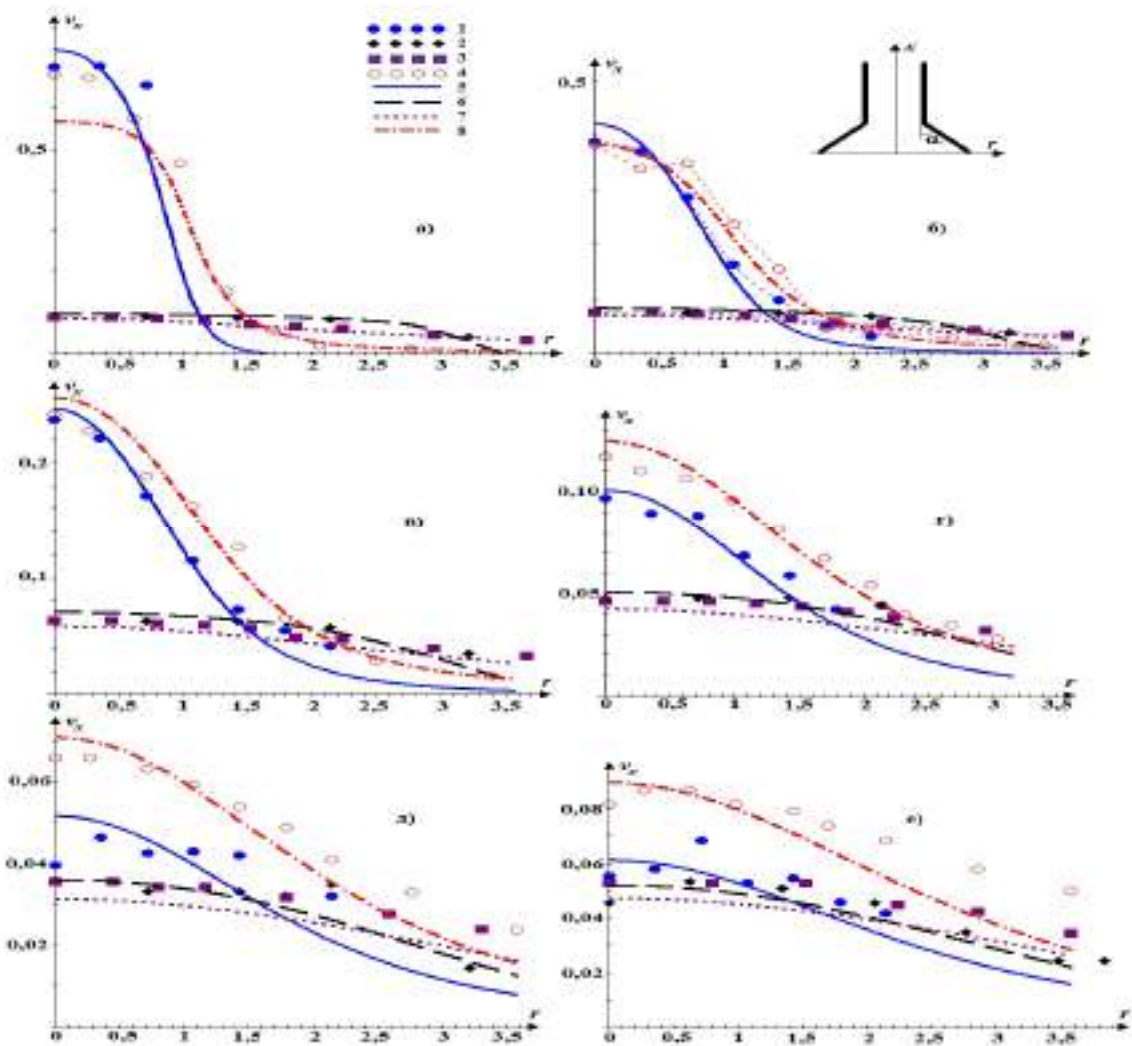


Рис.2. Профили осевой составляющей скорости на входе в отсос-раструб:  $a - x = 0.36$ ;  $b - x = 0.71$ ;  $в - x = 1.07$ ;  $г - x = 1.79$ ;  $д - x = 2.68$ ;  $e - x = 3.21$

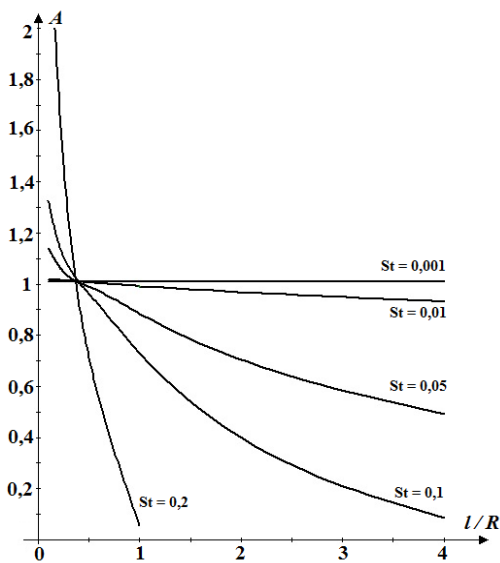


Рис.3. Изменение коэффициента аспирации от длины раструба при  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\bar{u} = 0,6$

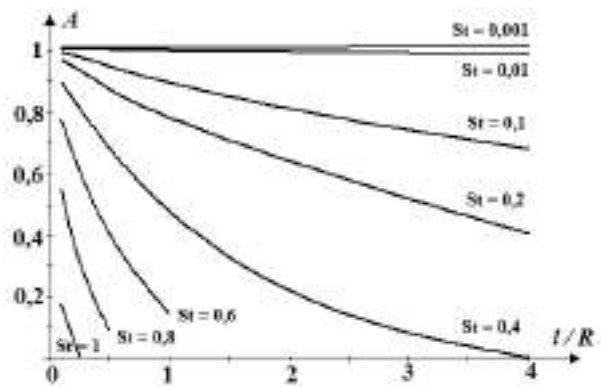


Рис.4. Изменение коэффициента аспирации в зависимости от длины раструба при  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\bar{u} = 1,2$

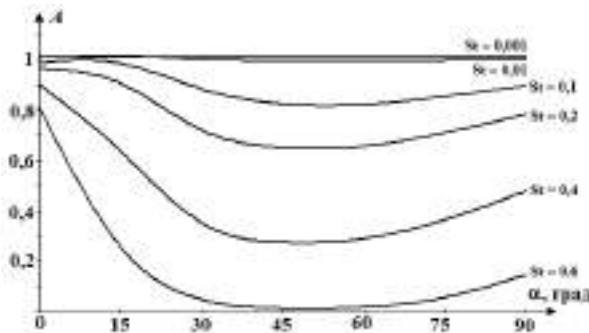


Рис.5. Изменение коэффициента аспирации от длины раструба при  $l/R=1$ ,  $\bar{u}=1,2$  и от угла наклона раструба

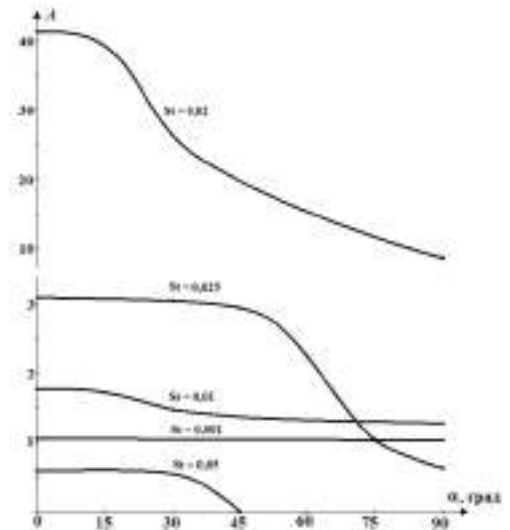


Рис.6. Изменение коэффициента аспирации от длины раструба при  $l=R$ ,  $\bar{u}=0,2$  и от угла наклона раструба

### ВЫВОДЫ

Путем сравнения расчётных и экспериментальных величин скорости воздушного потока во всасывающем факеле отсоса-раструба продемонстрирована достоверность и адекватность разработанной математической модели отрывного течения. Построены траектории пылевых частиц и определены коэффициенты аспирации для разных чисел Стокса пылевых частиц, скорости набегающего потока, длины и угла наклона раструба. Полученные результаты могут быть полезны не только для проектирования эффективных систем местной обеспыливающей вентиляции, но и для задач отбора проб.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В дальнейшем предполагается провести экспериментальное и численное исследование пылевоздушных отрывных течений на входе в круглые и шелевидные отсосы-раструбы в широком диапазоне изменения длин раструба, его наклона и скорости набегающего потока.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МД-95.2017.8) и программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посохин, В. Н. Аэродинамика вентиляции / В. Н. Посохин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 209 с.
2. Logachev, I.N. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions / I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova. Boca Raton: CRC Press. - 2015. - 576 p.

3. Logachev, K. I. Modeling of Air and Dust Flows in the Range of Action of a Round Suction Funnel Above an Impermeable Plane. Part 1. A Mathematical Model and Algorithm for its Computer Implementation / K. I. Logachev, O. A. Averkova, A. K. Logachev, E. I. Tolmacheva, V. G. Dmitrienko // Refractories and Industrial Ceramics. - 2016. - Vol. 56. - No 6. - P. 679-683.

4. Посохин, В. Н. О форме отрывных зон на входе в раструб / В. Н. Посохин, Н. Б. Салимов, Р. Г. Сафиуллин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2003. – № 3–4. – С. 39–47.

5. 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 (688). С. 66-73. 2

6. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Варсегова Е.В. . К расчёту потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщение 2. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 5 (689). С. 63-70. 1

7. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Варсегова Е.В. К расчёту потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщение 3. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 6 (690). С. 58-65.

8. Гильфанов, А.К. Математические модели аспирации аэрозолей в тонкостенные пробоотборники / А. К. Гильфанов, Ш. Х. Зарипов. Казань: Казан.ун-т. - 2012. - 120 с.

9. Гильфанов, А.К. Расчет концентраций частиц в задаче аспирации аэрозоля в тонкостенную трубку / А. К. Гильфанов, Ш. Х. Зарипов, Д. В. Маклаков // Известия РАН. Механика жидкости и газа. - 2009. - №6. - С.89-99.

Logachev A.K.

SIMULATION OF DUST-AIR CURRENT IN THE ZONE OF LOCAL PUMP ACTIVITY –  
ROSTER

**Annotation.** Mathematical modeling method, a computational algorithm and a computer program for calculating a detached flow at the entrance to a round local suction-funnell with thin walls in the presence of an incident flow are proposed. Stationary discrete vortex rings are used to obtain a discrete model. The adequacy and reliability of the developed method is confirmed by a satisfactory qualitative and quantitative agreement of the results of numerical calculations and experimental measurements of the velocity field. Research of the behavior of dust particles in the spectrum of action of a circular local suction-funnel in the presence of an ascending air flow is presented.

**Key words:** discrete vortex method, separated flows, flows in suction channels, local exhaust ventilation

## ТЕПЛООБМЕН В ГАЗОХОДАХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ПРИ РАБОТЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Зайцев О.Н., Степанцова Н.А. Кунский М., Циплина А., Эмирова Э.

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

**Аннотация.** В выполненном исследовании обоснована численная модель тепломассообменных процессов в жаротрубных котлах малой мощности на основе численного решения системы уравнений Навье – Стокса, уравнения сохранения при выбранных начальных и граничных условиях. Определены режимы и границы исследуемой области работы конвективных поверхностей при изменении тепловых нагрузок. Выявлено, что постоянное изменение температуры в моделях, указывает на изменение коэффициента теплопроводности, то есть чем выше температура теплового потока, тем меньше коэффициент теплопроводности.

**Ключевые слова:** инерционность, теплопроводность, теплогенерирующие установка.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Крыму изношенность теплосетей и котельных достигает 70%. Оборудование котельных централизованных систем теплоснабжения морально и физически устарело, а тепловые сети являются самым ненадежным ее элементом, на который приходится примерно 85% отказов по системе в целом. В условиях постоянного роста цен на электрическую энергию, воду, топливные и материальные ресурсы, эксплуатация таких систем является расточительством. Так же недостатком существующих централизованных источников тепла, является то, что они проектировались без возможности снижения выбросов в окружающую среду [1].

Одним из направлений снижения энергозатрат и улучшения экологической составляющей работы тепловых предприятий является техническое совершенствование систем теплоснабжения. Среди способов реализации данной проблемы является усовершенствование теплогенерирующей установки путем снижения термического сопротивления тепловоспринимающих поверхностей в процессе эксплуатации котельных агрегатов. Это позволит эффективно решать задачи отопления и горячего водоснабжения с экономией энергии.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодня наибольшее распространение получили теплогенераторы зарубежного производства, однако отечественные теплогенераторы обладают не худшими характеристиками и при их совершенствовании могут составить достойную конкуренцию зарубежным аналогам.

В теплогенераторах данного типа теплота на 70% отдается излучением и на 30% конвекцией. Из-за довольно высоких температур уходящих газов (160-200<sup>0</sup>С), в следствии чего возникают нагары, накипь, отложения различного рода,

поэтому актуальным вопросом является совершенствование конвективной части жаротрубных теплогенераторов малой мощности отечественного производства, что позволит улучшить их энергетические и экологические характеристики [1-3].

На сегодняшний день техническая документация, руководства по эксплуатации и аварийных ситуациях, документация о ремонтных мероприятиях котельных агрегатов сформирована на аварийных внештатных ситуациях, заводе при сборке котлового агрегата, при эксплуатации рабочей модели на производстве. Поэтому методология ремонта и очистки котлов складывается на теоретических и практически полученных знаний и не дает полную картину о происходящих процессах, которые протекают внутри котлового агрегата в реальном времени, вне зависимости стадии эксплуатации [4]. А изучение и исследования основных факторов, влияющих на работу и эксплуатацию сложны и требуют значительных финансовых затрат. Наиболее предпочтительным представляется изучение процесса очистки внутритрубных отложений с помощью компьютерного моделирования [5]. Данный метод позволяет получить данные о исследуемом процессе, в частности, как и вследствие чего протекает и изменяется процесс теплопередачи [6-7].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Цель работы.** Повышение энергоэффективности и улучшение экологических характеристик жаротрубных и водогрейных теплогенераторов путем снижения термического сопротивления тепловоспринимающих поверхностей в процессе их эксплуатации.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Моделирование процессов для увеличения тепловой эффективности жаротрубных и водогрейных теплогенераторов и снижении

термического сопротивления поверхностей нагрева конвективной части предложено выполнить с помощью программного комплекса [5].

Исследуемая модель №1 «НВБК» (рис.1) – это водотрубный вертикальный теплообменник либо нагревательный бокс водогрейного котла на твердом топливе. Модель №1 НВБК представляет собой камеру нагрева четырёх ходового водогрейного котла. Камера выполнена из жаропрочного металла, меди и нержавеющей

стали. Продукты сгорания достигают плоской крышки камеры нагрева и проникают в конвективный газоход блока 1 и 2, где возникает первичный нагрев последней петли расположенных в ряд змеевиков. Далее дымовые газы разворачиваются на  $180^{\circ}$  и поступают в газоход блоков 3, и 4, нагревая поверхности ВНБ и цилиндрический змеевик с жидкостью. Пройдя 4 ход, газы поступают в сборный дымовой короб и, оттуда, в газоход и дымовую трубу.

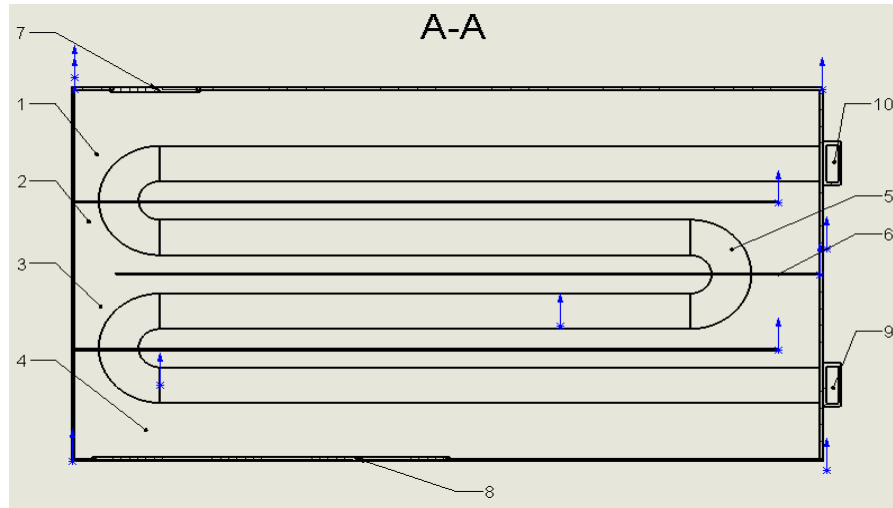


Рис 1. Исследуемая модель №1 водотрубного теплообменника НВБК.

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1 – блок нагрева №1; | 7 – канал №1;         |
| 2 – блок нагрева №2; | 8 – канал №2;         |
| 3 – блок нагрева №3; | 9 – гребенка;         |
| 4 – блок нагрева №4; | распределительная №2; |
| 5 – змеевик;         | 10 – гребенка.        |
| 6 – пластина;        | распределительная №1  |

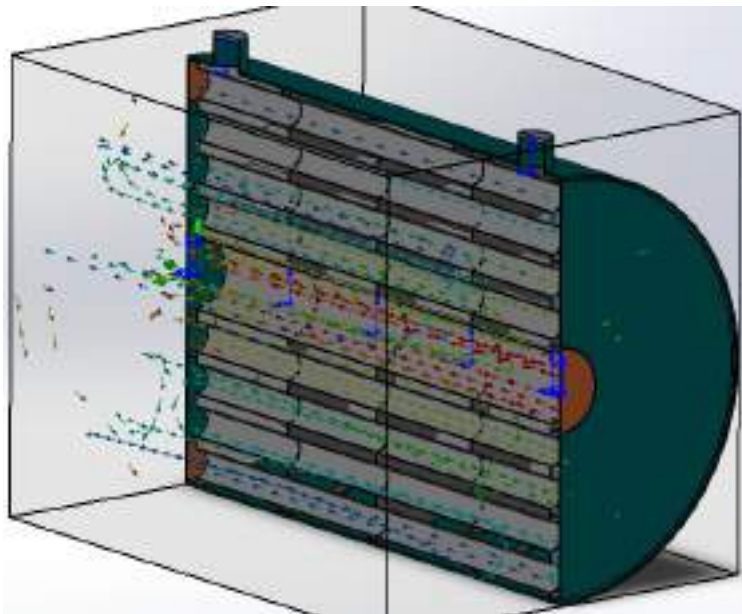


Рис. 2. Исследуемая модель №2 «НВЖК»

Исследуемая модель №2 «НБЖК» (рис.2-3) – это жаротрубный вертикальный теплообменник либо нагревательный бокс жаротрубного котла на твердом топливе.

Модель №2 ЖВНБ представляет собой камеру нагрева пяти ходового жаротрубного котла. Камера выполнена из жаропрочного металла, меди и нержавеющей стали. Продукты сгорания с максимальной температурой проходят через цилиндрический горизонтальный ход конвективного теплового массообмена Блока №1. Затем дымовые газы проникают в конвективный газоход Блоков №2,3,4 и 5 меняя свое направление движения не только по ходу и против тепловоспринимающей жидкости, но и по диаметру газохода, тем самым увеличивая коэффициент теплопередачи. Пройдя 4 ход, газы поступают в сборный дымовой короб и, оттуда, в газоход и дымовую трубу. Конструктивная схема ЖВНБ:

*1 - ЖВНБ состоит из четырёх блоков прогрева:*

Блок №1 – часть камеры где происходит подача теплоносителя после сгорания. В данном блоке температура теплоносителя максимальная.

Блок №2 – часть камеры с критической точкой теплоносителя. Критическая точка – точка понижения температуры теплоносителя при взаимодействии с поверхностями нагрева.

Блок №3 и 4 – часть камеры, где конвективный теплообмен протекает с постоянно понижающейся температурой дымовых газов.

Блок №5 – часть камеры с минимальной температурой теплоносителя после взаимодействия с поверхностями нагрева.

*2 – газоход, состоящий из жаротрубных поверхностей нагрева.*

Газоход – пучок жаротрубных цилиндрических поверхностей конвективного теплообмена, расположенных по периметру диаметра на заданном расстоянии. Количество труб конвективного пучка - 41 штук, диаметром 40 мм и толщиной стенки 2 мм.

Задача газохода - передать максимальное количество тепловой энергии от теплоносителя к тепловоспринимающей среде. Данный элемент теплообменника должен обладать максимальной теплопроводностью и минимальным коэффициентом термического сопротивления.

*3 – разделительные межблочные пластины теплообменника.*

Межблочные пластины представляют собой листы металла, разделяющие теплообмена на блоки теплообмена.

*4 – подающий канал №1 и отводящий канал №2 продуктов сгорания.*

Подача и вывод продуктов сгорания после процесса теплообмена осуществляется естественной или механической аэродинамической тягой из камеры сгорания через блоки нагрева для передачи тепловой энергии конвективным поверхностям нагрева.

*5 – подающий канал №3 и отводящий канал №4 подачи и вывода тепловоспринимающей жидкости.*

Подача тепловоспринимающей жидкости осуществляется через распределительную гребенку №1 под давлением после очистки из сети или водных резервуаров. Завершив процесс теплообмена, теплоноситель (жидкость) выводится из змеевика через распределительную гребенку №2 и подается по теплопроводу к потребителю. Конструктивная схема модели ЖВНБ представлена на рис.3.

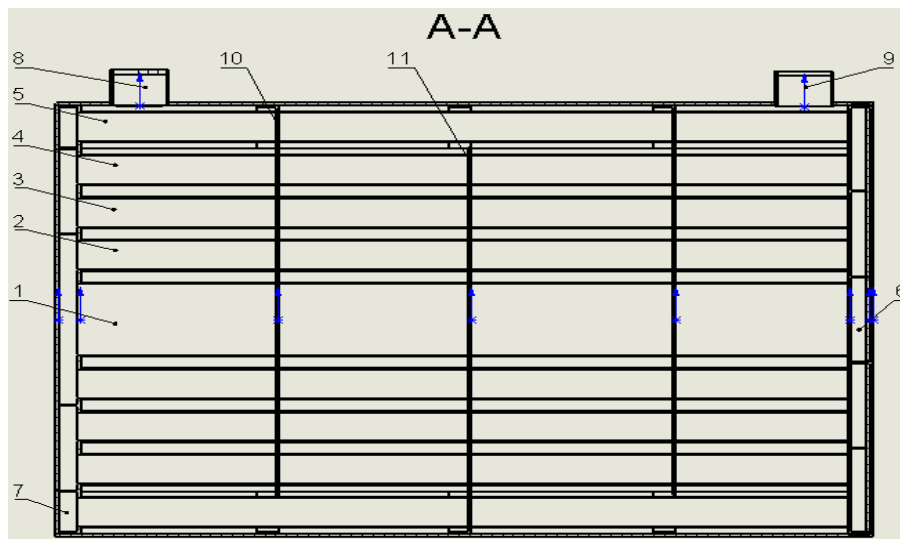


Рис 3. Исследуемая модель водотрубного теплообменника - ЖВНБ.

1 – блок нагрева №1; 2 – блок нагрева №2; 3 – блок нагрева №3; 4 – блок нагрева №4; 5 – блок нагрева №5; 6 – подающий канал №1 - теплоноситель; 7 – отводящий канал №2 – дымовые газы; 8 – подающий канал №3 – тепловоспринимающая среда; 9 – отводящий канал №4 - тепловоспринимающая среда; 10 – разделительная пластина №1; 11 – разделительная пластина №1.

Таблица 1.

Параметры топлива, использованного при моделировании теплообменных процессов

Основные характеристики	Вид топлива	
	Древесина - лиственница	Уголь - Антрацит
Выход летучих, Vл	≥70%	2...9%
Содерж. серы, SHP	-	0...8%
Влажность, Wp	30...50%	5...10%
Зольность, Ap	10...25%	<5%
Теплота сгорания, (МДж/кг) QHP	13,5...19	~26,0
Теплопроизводительная способность, Кал	3790	8350
Жаропроизводительная способность, °С	865	1470

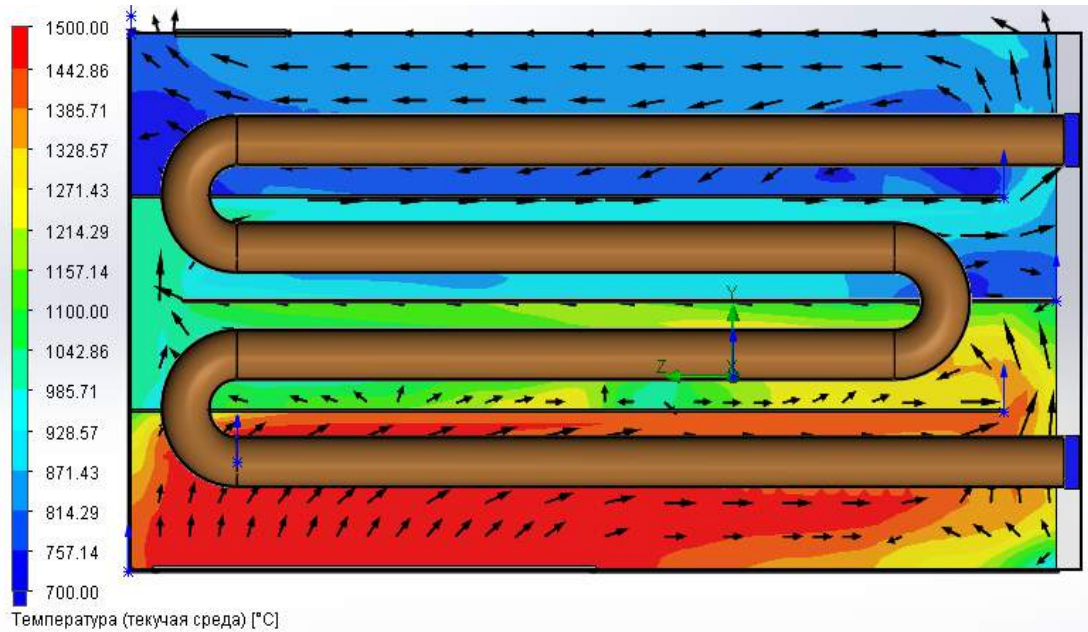


Рис.4. Температура теплового потока газовой среды модели НБВК, топливо – уголь.

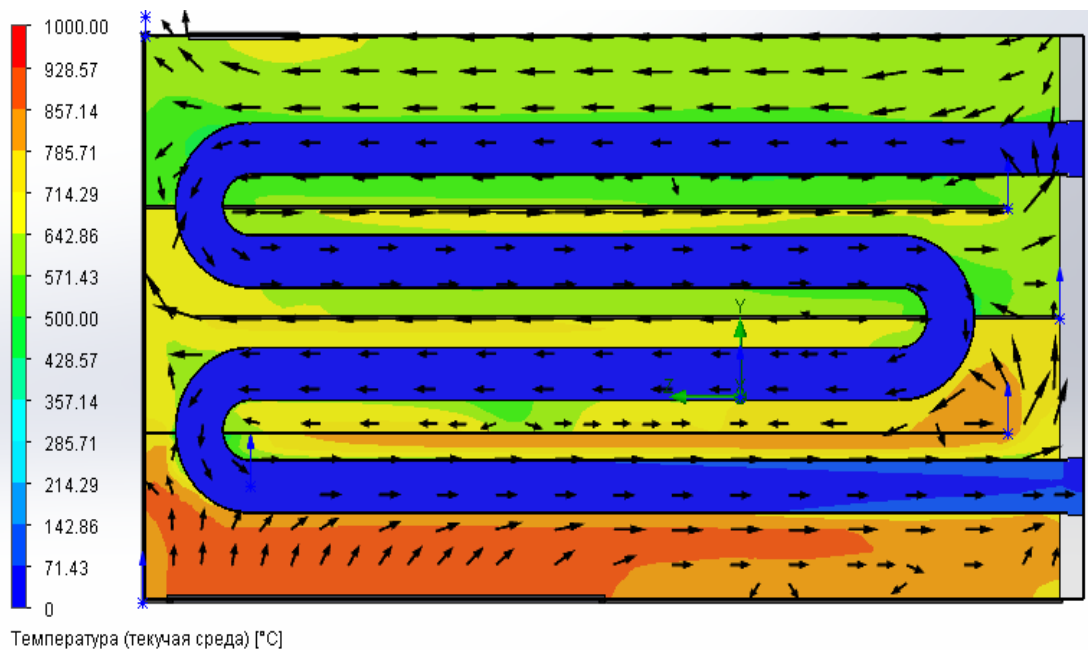


Рис.5. Температура теплового потока газовой среды модели НБВК, топливо - древесина.

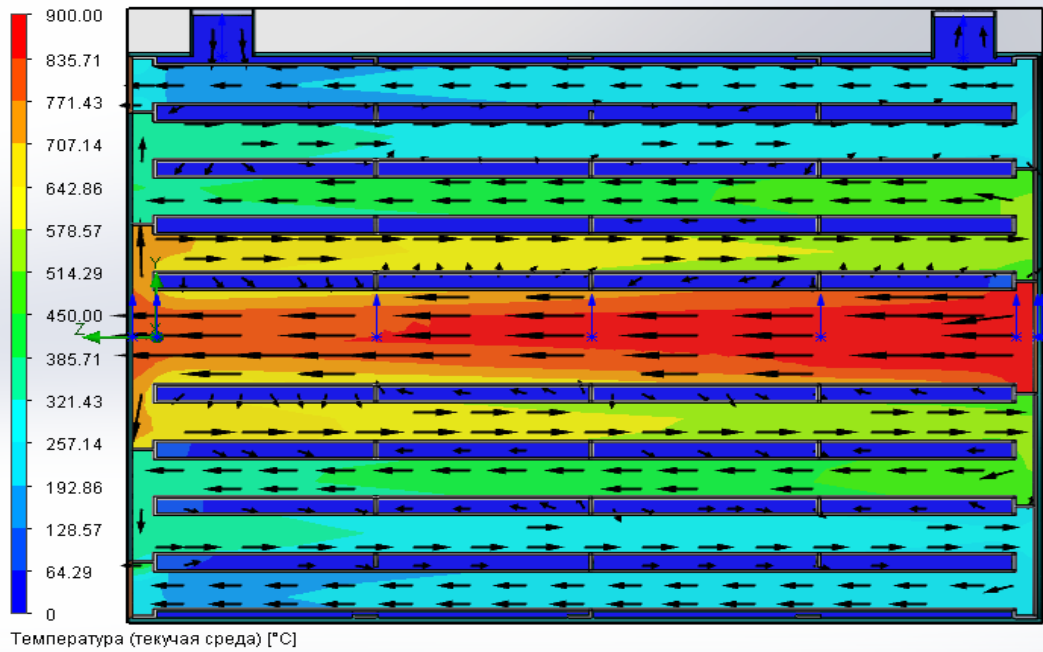


Рис.6. Температура теплового потока газовой среды модели ЖВНБ, топливо – древесина.

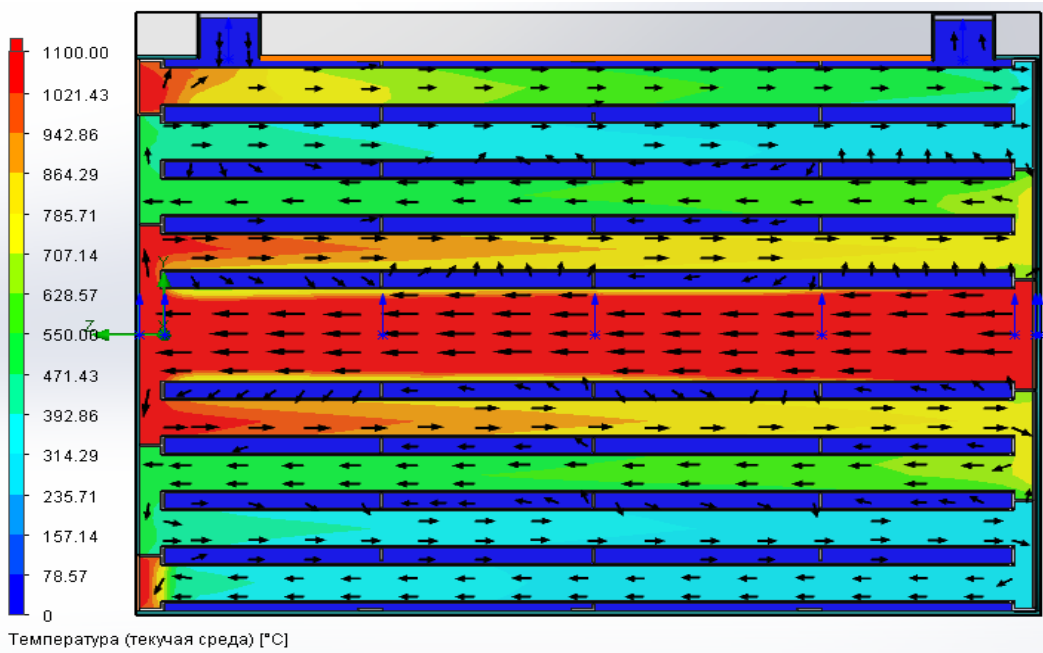


Рис.7. Температура теплового потока газовой среды модели ЖВНБ, топливо – уголь.

Сравнительный анализ полученных результатов моделирования по построению тепловых и физико-технических процессов теплообмена приведен на рис.4-7. Полученные результаты моделирования показали, что процессы теплообмена протекающие в исследуемых моделях отличаются по теплотехническим и физико-техническим параметрам. Постоянное изменение температуры в моделях, указывает на изменение коэффициента теплопроводности, чем выше температура теплового потока, тем меньше коэффициент теплопроводности. Показано, что коэффициент термического сопротивления стенки газохода равен Данный коэффициент будет зависеть от изменения

коэффициента теплопроводности, следовательно, КПД теплогенератора будет на прямую зависеть от величины изменения термического сопротивления материала теплопринимающей стенки. Полученные результаты позволяют определить размеры турбулизатора потока для достижения оптимального эффекта, определить скорости движения твердых частиц и время пребывания в любой точке контура жаротрубного теплогенератора. Анализ изменения температурного потока, разности давления и объемного расхода позволяет определить наиболее рациональные методы снижения расхода топлива путем снижения термического сопротивления

тепловоспринимающих поверхностей нагрева конвективной части теплообменника.

### ВЫВОДЫ

1. Обоснована численная модель тепломассобменных процессов в жаротрубных котлах малой мощности на основе численного решения системы уравнений Навье – Стокса, уравнения сохранения при выбранных начальных и граничных условиях.

2. Определены режимы и границы исследуемой области работы конвективных поверхностей при изменении тепловых нагрузок.

3. В результате исследования выявлено, что постоянное изменение температуры в моделях, указывает на изменение коэффициента теплопроводности, то есть чем выше температура теплового потока, тем меньше коэффициент теплопроводности.

4. Показано, что коэффициент термического сопротивления стенки газохода равен при этом коэффициент будет зависеть от изменения коэффициента теплопроводности, что позволяет сделать вывод о прямой зависимости КПД теплогенератора от величины изменения термического сопротивления материала тепловоспринимающей стенки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаванов, П. А. Водогрейные котлоагрегаты малой мощности: теплотехнические особенности применения / П.А. Хаванов // Вентиляция. Отопление

2. Кондиционирование: АВОК. 2011. N 5. С. 66-71 . Библиогр.: с. 71 (4 назв. ). ISSN 16097843

3. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Пром. теплотехника. — 2008. № 5 с. 62-68;

4. Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. / СПб.: Судостроение, 2005.-392 с.

5. 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.

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. Юрченко О., Любарец А., Дихтярь Т., Зайцев О. Экспериментальные исследования колебаний скорости в сильнозакрученной газовой струе с прецессирующим вихревым ядром // Труды международной конференции «Энергия -2010», Lublin: Motrol, 2010, сб. № 12С, с.266-272

8. Зайцев О., Лукьянченко Д., Меннанов Э., Степанцова Н. Повышение эффективности и работы низкотемпературного водяного отопления // Строительство и техногенная безопасность – 2015. №1 (53) С. 94-98

Zaitsev, O. N., Stepantsova N.A., Kunsy M., Tsiplina A., Emirova E.

## HEAT EXCHANGE IN GAS FLOWS OF HEAT EXCHANGE WATER HEATERS AT SOLID FUEL OPERATION

**Annotation.** In the study, a numerical model of heat-mass-exchange processes in low-power fire-tube boilers is substantiated based on a numerical solution of the Navier-Stokes equations system, the conservation equation for the selected initial and boundary conditions. The regimes and boundaries of the investigated region of operation of convective surfaces are determined with changing thermal loads. It was found that a constant change in temperature in the models indicates a change in the thermal conductivity, that is, the higher the temperature of the heat flux, the lower the thermal conductivity coefficient.

**Key words:** inertia, thermal conductivity, heat generating installation

## ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ

Захаров Р.С., Волкова Н.

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

**Аннотация.** Использование очищенных сточных вод в первую очередь требует обязательных наблюдений за солевым составом, содержанием тяжелых металлов и санитарно-гигиеническими показателями. В Республике Крым особое внимание необходимо уделять таким характеристикам как минерализация, содержание хлоридов и соотношение натрия к кальцию. В силу того, что на протяжении более чем 20 лет очищенные сточные воды не использовались для целей орошения в Крымском регионе, этим показателям при оценке качества очистки сточных вод не придавалось значение, а оно в первую очередь зависит от состояния самих канализационных очистных сооружений (КОС), которое по ряду объектов характеризуется как неудовлетворительное. Данное исследование направлено на отслеживание изменения качественных характеристик очищенной сточной воды с целью определения наиболее перспективных с этой точки зрения КОС.

**Ключевые слова:** очищенные сточные воды, очистные сооружения, качество оросительной воды, минерализация, содержание хлоридов, соотношение натрия к кальцию.

### ВВЕДЕНИЕ

После прекращения поставок днепровской воды на территорию Республики Крым очищенные сточные воды рассматриваются как перспективный альтернативный источник воды для целей орошения [1-3]. Однако необходимо отметить, что данное направление имеет ряд ограничений, в первую очередь связанных с качеством очистки данной категории этого ресурса. В 90-ые годы прошлого века на территории Симферопольского, Ленинского и Сакского районов уже проводились исследования по оценке возможности использования очищенных сточных вод для целей орошения, которые показали возможность развития на поливаемых массивах таких негативных процессов как общее и хлоридное засоление, осолонцевание почвы [4, 5].

На протяжении более чем 20 лет данная категория воды не использовалась в орошаемом земледелии и, оценивая качество очистки сточной воды, внимание уделялось предотвращению развития процесса загрязнения природного объекта-водоприемника. В современных условиях, перед тем как определиться с перспективными зонами орошения очищенными сточными водами нужно учитывать не только количественные, но и качественные показатели.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Качество оросительной воды является одним из основных факторов, определяющих целесообразность использования очищенных стоков для целей орошения.

В настоящее время в Российской Федерации согласно анализу источников [6-8] используются следующие методы по оценки пригодности данной категории воды для полива сельскохозяйственных культур: ирригационный коэффициент (щелочной коэффициент Стеблера), коэффициент ионного обмена,

натриево-адсорбционное отношение, почвенно-мелиоративная классификация. Причем последняя

имеет комплексный характер, оценивается возможность развития процессов общего и хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования. В данном методе выделяют четыре класса, I и II практически не оказывают вредного воздействия на почвы и сельскохозяйственные культуры, III и IV предполагают дополнительную водоподготовку, проведение комплекса мелиоративных мероприятий, а в ряде случаев (при IV классе) - определение целесообразности использования данной воды [7, 8].

Среди публикаций, посвященных вопросу влияния качественного состава очищенных сточных вод на мелиоративную обстановку хотелось бы подчеркнуть работы следующих авторов: Макарычева С.В., Алешинной Н.И., Томаровского А.А., Баева В.Г., Гома Б.С., Чернухи Н.И., Шуравилина А.В. [9-12]. В них делается акцент на изменение солевого состава и сделаны попытки прогнозировать развитие таких негативных процессов как засоление и осолонцевание почвы. В целом полученные авторами результаты, свидетельствуют о том, что в случае использования очищенных сточных вод допустимого по классификациям качества данное направление является перспективным.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – отследить динамику изменения солевого состава по крупным канализационным очистным сооружениям Республики Крым.

Методология – в данном исследовании раскрыта идея более рационального использования местных водных ресурсов и улучшение экологического состояния водных объектов посредством использования очищенных сточных вод для целей орошения, с акцентом на пригодность данной

категории вод для указанных целей и учетом требований и норм, изложенных в:

- ГОСТ 17.1.2.03-90 «Охрана природы критерии и показатели качества воды для орошения» [13];
- СанПиН 2.1.7.573-96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения [14].

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Пик использования очищенных сточных вод для целей орошения приходится на 1985-1995 гг. Согласно [4] в то время количество пригодных для орошения сточных вод составляло около 44 млн. м<sup>3</sup>

из них фактически использовалось 8 млн. м<sup>3</sup>. Солевой состав данной категории водного ресурса регулярно отслеживался. Ниже в таблице 1 приведены данные по этому показателю за 1989 г. по наиболее крупным очистным сооружениям Крымского региона.

Из анализа таблицы 1 наглядно видно, что по крупным очистным сооружениям Крымского региона солевой состав значительно колеблется. Ниже в таблицах 2 и 3 приведены итоги расчета оценки пригодности данной категории воды для целей орошения

Таблица 1.  
Солевой состав очищенных сточных вод в Крыму в 1989 г. [4]

Место отбора пробы	Растворенные элементы, мг-экв/л							Минерализация, г/л
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
Симферополь	2,2	3,0	2,3	3,8	1,8	4,3	0,2	0,56
Евпатория	7,6	23,4	11,7	6,4	5,6	21,7	0,6	2,57
Феодосия	5,2	2,8	4,0	3,8	3,8	8,8	0,5	0,95
Керчь (Бондаренковские КОС)	4,4	9,0	5,2	3,8	4,4	11,3	0,4	1,25
Керчь (Орджоникидзовские КОС)	4,2	33,8	4,2	5,2	8,6	29,6	0,8	2,57
Алушта	3,6	1,6	0,9	3,2	1,0	2,4	0,2	0,46
Судак	6,0	9,0	4,0	3,8	5,0	11,7	0,6	1,31
Бахчисарай	4,0	5,4	1,1	4,4	2,0	5,0	0,2	0,72
Джанкой	6,0	10,4	4,9	5,7	6,3	9,3	0,4	1,39

Таблица 2.  
Оценка пригодности очищенной сточной воды согласно почвенно-мелиоративной классификации (1989 г.)

Место отбора пробы	Степень опасности развития					Класс воды
	общего засоления <sup>*)</sup>	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содоборозования	
1	2	3	4	5	6	7
Симферополь	I	II	III	I	I	III
Евпатория	IV	IV	IV	I	I	IV
Феодосия	II	II	IV	II	I	IV
Керчь (Бондаренковские КОС)	III	III	IV	II	I	IV
Керчь (Орджоникидзовские КОС)	IV	IV	IV	III	I	IV
Алушта	I	I	II	I	I	II
Судак	III	III	IV	II	I	IV
Бахчисарай	II	III	III	I	I	III
Джанкой	III	IV	III	II	I	IV

<sup>\*)</sup> – класс воды обозначен для почв со средним механическим составом

Таблица 3.  
Мелиоративная оценка очищенной сточной воды по современным методикам

Место отбора пробы	Ирригационный коэффициент	Коэффициент ионного обмена	Натриево-адсорбционное отношение
Симферополь	17,6	1,2	2,6
Евпатория	<b>2,5</b>	<b>0,5</b>	<b>8,9</b>
Феодосия	14,4	<b>0,8</b>	4,5
Керчь (Бондаренковские КОС)	6,1	<b>0,7</b>	5,6
Керчь (Орджоникидзовские КОС)	<b>1,7</b>	<b>0,5</b>	<b>11,3</b>
Алушта	32,8	1,7	1,6
Судак	6,0	<b>0,7</b>	5,6
Бахчисарай	10,7	1,2	2,8
Джанкой	<b>5,5</b>	1,2	3,8

Из анализа таблицы 3 наглядно видно, что только по очистным сооружениям городов Симферополь, Алушта, Бахчисарай вода может использоваться без ограничений для целей орошения. Если эти результаты сопоставить с итогами таблицы 2, только по этим объектам вода соответствует второму и третьему классу качества, в остальных случаях это четвертый класс качества воды, то есть при ее использовании как минимум нужны ее первоначальная подготовка, мелиоративные мероприятия на участке, при слабой дренируемости обустройство дренажа и постоянный контроль за почвенно-мелиоративной обстановкой и качеством получаемой продукции. Таким образом, на примере очистных сооружений Крымского региона видно, что почвенно-мелиоративная классификация оросительной воды дает более точный и полный результат, этот вывод так же подтверждается в работе «Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего» [15].

Так же из анализа таблицы 2 можно сделать выводы о том, что при отмеченном в 1989 г. качестве очистки стоков наиболее вероятным при их использовании в орошаемом земледелии являются развитие процессов общего и хлоридного засоления, натриевого осолонцевания.

Как было отмечено выше, уже более 20 лет очищенные сточные воды не используются для целей

орошения, поэтому при оценке эффективности работы КОС основное внимание уделяется процессу предотвращения загрязнения природных водоприемников (рек, морей, озер). К основным отслеживаемым показателям относятся: аммоний солевой, нитраты, нитриты, сульфаты, хлориды, фосфаты, нефтепродукты, взвешенные вещества, АПАВ, БПК, железо, минерализация. Эти характеристики не дают возможности произвести оценку пригодности очищенной сточной воды для целей орошения. Единственный показатель, который можно сопоставить с уровнем 1989 г. является минерализация. Ниже в таблице 4 приведен сравнительный анализ этой характеристики качества очистки сточной воды по крупным КОС Крымского региона и приведен класс воды по возможности развития процесса общего засоления на орошаемом участке за 1989 и 2016 гг.

Из анализа таблицы 4 наглядно видно, что по канализационным очистным сооружениям городов Симферополь, Феодосия, Бахчисарай, Алушта не произошло существенного изменения минерализации. По городам Керчь (Орджоникидзовские КОС), Судак, Джанкой произошло существенное улучшение, а по КОС Евпатории и Керчи (Бондаренковские КОС) – ухудшение.

Таблица 4.  
Сравнительный анализ по уровню минерализации по крупным очистным сооружениям Республики Крым

Место отбора пробы	1989 г.		2016 г. (2 квартал)	
	минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	класс качества воды <sup>*)</sup>	минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	класс качества воды <sup>*)</sup>
Симферополь	559,5	I	471,0	I
Евпатория	<b>2573,8</b>	IV	<b>3887,3</b>	IV
Феодосия	951,8	II	802,0	II
Керчь (Бондаренковские КОС)	<b>1245,7</b>	III	<b>1729,0</b>	IV
Керчь (Орджоникидзовские КОС)	<b>2573,2</b>	IV	<b>665,0</b>	II
Алушта	458,7	I	837,7	II
Судак	<b>1306,1</b>	III	<b>769,0</b>	II
Бахчисарай	723,0	II	884,4	II
Джанкой	<b>1392,1</b>	III	<b>971,8</b>	II

<sup>\*)</sup> – класс воды обозначен для почв со средним механическим составом



Рис. 1. Динамика минерализации сточной воды, сбрасываемой с КОС г. Симферополь в 2016-2017 гг.

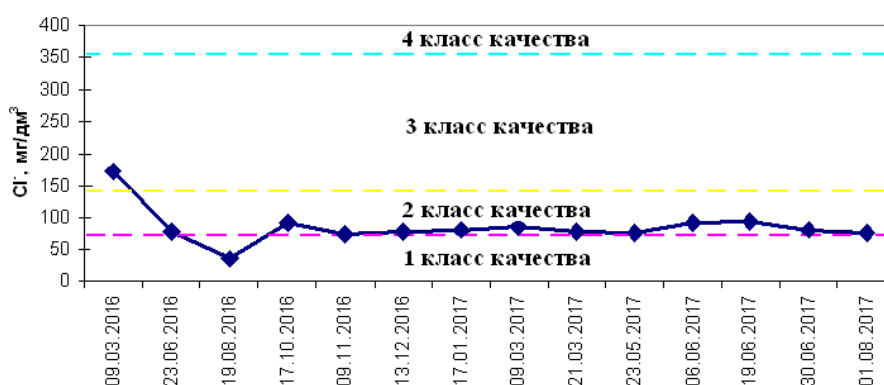


Рис. 2. Динамика содержания хлор-иона в сточной воде, сбрасываемой с КОС г. Симферополь в 2016-2017 гг.

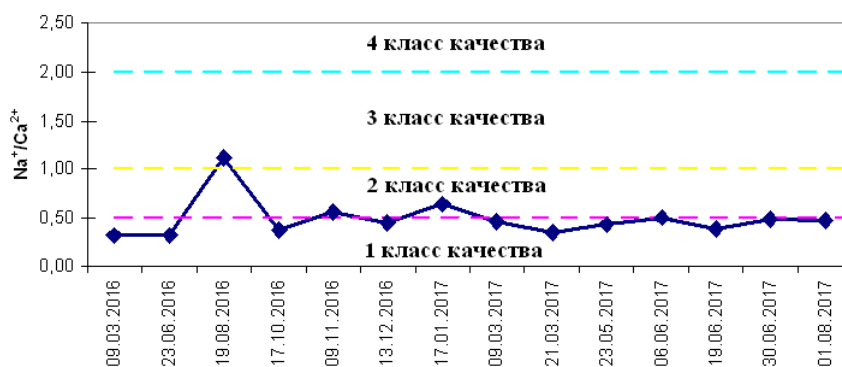


Рис. 3. Динамика соотношения натрия к кальцию в сточной воде, сбрасываемой с КОС г. Симферополь в 2016-2017 гг.

## ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- почвенно-мелиоративная классификация оросительной воды дает более точный и полный результат по оценке пригодности очищенных сточных вод для целей орошения в сравнении с другими методиками, используемыми в РФ;
- при использовании данной категории воды в орошаемом земледелии Республики Крым наиболее вероятным является развитие процессов общего и хлоридного засоления, натриевого осолонцевания;

- несмотря на значительный эксплуатационный срок службы, а в ряде случаев неудовлетворительное

техническое состояние крупных очистных сооружений региона существенного ухудшения по показателю минерализация очищенных сточных вод не произошло;

- технико-технологическое состояние КОС напрямую влияет не только на количественные, но и на качественные показатели сбрасываемых с них сточных вод. Это предполагает в случае необходимости проведение текущих и капитальных ремонтов, модернизацию оборудования, а в ряде случаев и полную реконструкцию;

- для предотвращения возможности развития негативных процессов на орошаемых массивах необходимо регулярно вести наблюдения за солевым составом очищенных сточных вод, используемых для полива;

- среди рассмотренных очистных сооружений по уровню 1989 г. наиболее перспективными источниками воды для целей орошения были КОС городов Симферополь, Алушта, Бахчисарай. В настоящее время без развернутых анализов воды по данным водохозяйственным объектам делать какие-либо выводы не целесообразно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, Е.В. Основные направления решения проблемы орошения в Крыму / Е.В. Николаев, Н.Г. Резник // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2015. - №2(165). – С. 47-53;
2. Ляшевский, В.И. Изучение возможностей использования очищенных сточных вод для орошения в Крыму / В.И. Ляшевский, М.В. Вердыш, В.И. Кременской // Таврический вестник аграрной науки. – 2016. - №4 (8). – С. 121-129;
3. Кременской, В.И. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым / В.И. Кременской, М.В. Вердыш // Природообустройство. – 2016. - №5. – С. 72-77;
4. Сало, Т.Л. Отчет о научно-исследовательской деятельности «Дать оценку пригодности биологически очищенных сточных вод городов Крымской области и изучить влияние их на агромелиоративные свойства почв» / Т.Л. Сало, В.Е. Дышлюк, Г.И. Андрияненко, Г.Я. Чегринец, Р.Г. Никула. – Киев: УКРГИПРОВОДХОЗ, 1990. – 98 с.;
5. Черноказинский, А.В. Научно-технический отчет «Провести полевые исследования и усовершенствовать схемы подпочвенного орошения с использованием сточных вод городов и промышленности» / А.В. Черноказинский, Г.И. Карпий, В.И. Кременской, И.Д. Пай. – Симферополь: КФ ИГиМ УААН, 1994. – 53 с.;
6. Шуравилин, А.В. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель: учеб. Пособие / А.В. Шуравилин, Ю.А. Можайский. – Рязань: изд-во РГАТУ, 2011. – 214 с.;
7. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник / под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.;
8. Методические указания по совершенствованию технологии орошения и повышению эффективности

использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПИМ», 2015. – 147 с.;

9. Басев, В.Г. Екологічна оцінка тривалого використання міських стічних вод для зрошення кормових культур фітоценозів в умовах Донбасу: автореф. дис... канд. біолог. Наук: 24.04.1996 / Басев Володимир Георгієвич, Дніпропетровськ, 1996. 15 с.;

10. Макарычев, С.В. Экологические особенности орошения многолетних трав городскими сточными водами / С.В. Макарычев, Н.И. Алешина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. - №9 (131). – С. 53-57;

11. Алешина, Н.И. Влияние круглогодичного использования сточных вод на агрохимические и агрофизические свойства черноземов / Н.И. Алешина, С.В. Макарычев, А.А. Томаровский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. - №3 (1031). – С. 32-37;

12. Гома, Б.С. Формирование водно-солевого режима почв при многолетнем орошении городскими сточными водами в условиях Египта / Б.С. Гома, Н.И. Чернуха, А.В. Шуравилин, С.М. Елсайед // Вестник Российского университета Дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2010. - №4. – С. 35-42;

13. ГОСТ 17.1.2.03-90 Охрана природы критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 01.07.1991. – М.: Государственный комитет СССР по охране природы. – 10 с.;

14. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для целей орошения и удобрения. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 54 с.;

15. Волкова, Н.Е. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего / Н.Е. Волкова, Р.Ю. Захаров // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. - №3 (27). – С. 144-159;

16. Захаров, Р.Ю. Орошение как способ утилизации очищенных сточных вод в Республике Крым / Р.Ю. Захаров, Н.Е. Волкова // Экономика строительства и природопользования. – 2016. – №1. – С.54-61;

17. Отчет Евгения Пупырева о состоянии системы водоснабжения и водоотведения в Республике Крым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nor.ru/upload/iblock/c0b/Отчет%20Евгения%20Пупырева.pdf>.

Zakharov R. S., Volkova N.

### DYNAMICS OF QUALITY INDICATORS OF THE PURIFIED SEWAGE IN THE CRIMEAN REGION

**Annotation.** Use of the purified sewage first of all demands obligatory observations of salt structure, content of heavy metals and sanitary and hygienic indicators. In the Republic of Crimea special attention needs to be paid to such characteristics as a mineralization, content of chlorides and a ratio of sodium to calcium. Owing to the fact that on an extent of more than 20 years the purified sewage wasn't used for irrigation in the Crimean region to these indicators at assessment of quality of sewage treatment significance wasn't attached, and it first of all depends on a condition of the sewer treatment facilities (STF) which on a number of objects is characterized as unsatisfactory. This research is directed to tracking of change of qualitative characteristics of the purified waste water for the purpose of definition of the most perspective from this point of view of STF.

**Key words:** the purified sewage, treatment facilities, quality of irrigating water, a mineralization, content of chlorides, a sodium ratio to calcium.



## НАРУШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА

Н.М. Ветрова, Э.Э. Меннанов

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,  
295493 РК г. Симферополь, у. Киевская, 181  
e-mail: хаос.vetrova.03@mail.ru, mennanov.emran@mail.ru

**Аннотация.** Исследован участок берегоукрепительных сооружений пансионата «ВОЛНА» в с. Песчаное, выявлены причины наступления аварийного состояния берегоукрепительных сооружений, уточнены принципы разработки системы инженерных мероприятий по стабилизации и в дальнейшем улучшении экологического состояния берегов Западного Крыма.

**Ключевые слова:** береговая зона, берегоукрепительные сооружения, западный берег Крыма, экологическая безопасность.

### ВВЕДЕНИЕ

Для сохранения экологически безопасного состояния берегов в Крыму берегоукрепительные сооружения начали возводиться еще с конца XIX века. Как правило, они представляли собой простые по конструкции волноотбойные стенки из местных материалов, защищавшие дороги и отдельные сооружения в береговой зоне. В это время практически единственными значительными искусственными сооружениями на берегах являлись ограждающие молы в портах городов Ялта и Феодосия, которые спроектировал и построил известный специалист в области строения портовых сооружений А. Л. Бертье-Делагард. Хотя в городе Феодосии портовый мол в различных видах существовал еще со Средневековья. С началом XX века в приморских городах Евпатория, Севастополь, Ялта, Феодосия были возведены набережные [1].

Бурное хозяйственное освоение побережья Крыма началось фактически с 1960-х гг., при этом оно сопровождалось нарастанием на берегах проблем, связанных с уменьшением поступления на пляжи твердого стока рек вследствие их зарегулирования водохранилищами, а также эксплуатацией карьеров строительных материалов в береговой зоне и непродуманным строительством некоторых гидротехнических сооружений. Вместе с тем, влияние изменений уровня моря, как в результате климатической и ветроволновой изменчивости, вносит определенный вклад в изменения береговой линии [4]. При этом активное строительство санаторно-курортных объектов, принадлежавших, главным образом, крупным министерствам и ведомствам, требовало «культурного» изменения берега за счет строительства объектов часто в максимально возможном приближении к морю [13].

Вышеуказанные факторы привели к экологическим проблемам побережья, а именно изменение характера и объема естественного движения наносов способствовало, в ряде случаев, деградации пляжей и активизации оползневых явлений, что наряду с недостатком пляжных территорий на Южном берегу Крыма вызвало необходимость строительства гидротехнических сооружений в береговой зоне.

Основными районами размещения берегозащитных сооружений сейчас являются Южный берег Крыма (ЮБК), Западный Крым, Феодосийский залив и акватория г. Керчь (рис. 1) [1].



Рис. 1. Расположение берегоукрепительных сооружений на территории Республики Крым

Если выбранную схему строительства берегоукрепительных сооружений на ЮБК с определенными допусками можно признать целесообразной [5], то стратегия берегозащиты в Западном Крыму оказалась явно поверхностной. Это было вызвано, во-первых, неоправданным стремлением «облагородить» берег традиционными популярными в тот период сооружениями из бетона и железобетона, а во-вторых, механическим перенесением опыта строительства на ЮБК на западное побережье Крыма, где особенности литодинамики и геоморфологии береговой зоны значительно отличаются. При этом, конечно, в ряде случаев сыграла свою роль не полная реализация проектных решений [1].

### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Район побережья Западного Крыма от города Евпатория до города Севастополь имеет протяженность около 75 км. Суммарная длина участков, на которых в настоящее время расположены различные типы берегозащитных

сооружений, составляет порядка 8 км (около 10,6% от всей длины береговой линии).

Село Песчаное как рекреационная зона начало развиваться с 1956 г., когда у самого устья р. Альмы был построен районный межколхозный дом отдыха. В то время здесь были прекрасные песчаные пляжи, а основным поставщиком материала для них был твердый сток р. Альмы. Самоназвание «Песчаное» говорит о составе пляжей в прошлом. Количество терригенного материала, поступающего в виде взвешенных и влекомых наносов, оценивалось величиной около 24 тыс. т/год [2].

Основным источником пляжевых наносов вдоль берегов Западного Крыма является абразия клифов и бенчей. Естественный твердый сток в настоящее время из-за зарегулированности рек практически отсутствует, а закрепление берега бетоном, закрывающее клифы, еще больше усугубляет проблему дефицита наносов [17-18].

Пляжеудерживающие сооружения Западного Крыма в настоящий период представлены бунами (41 единица). В качестве берегоукрепительных сооружений используются преимущественно вертикальные волноотбойные стены, откосно-ступенчатые волногасящие набережные, сооружения проницаемой конструкции и волногасящие покрытия из камня. Длина набережных разных типов после окончания строительства составляла около 6,5 км [1]. Фактически в настоящее время большая часть берегозащитных сооружений Крыма находится в эксплуатации более 30–40 лет (при заложенном в проекты расчетном сроке службы 25 лет), что приводит к ухудшению экологического состояния берегов в результате разрушения берегозащитных конструкций.

Согласно последним обследованиям, только 38,6% берегозащитных сооружений, расположенных в Западном Крыму, находятся в нормальном и удовлетворительном состоянии, 25% — в неудовлетворительном, 36,4% — в аварийном и предаварийном состоянии [11].

Пребывание людей на отдельных участках незакрепленного берега и на сооружениях, еще сохраняющих устойчивость, но не имеющих опоры под собой (лестницы, откосно-ступенчатые сооружения, дороги), а также на опасных участках в основании отвесных и крутых обвалоопасных склонов, особенно во время штормов и после выпадения интенсивных ливневых осадков, может привести к трагическим последствиям. Возникает проблема безопасной эксплуатации пляжей и набережных (рис. 2).

Отдельные сведения о параметрах Крымского побережья начали появляться с конца XIX века (И. Ф. Левандовский, М. Крендовский, Н. А. Соколов, И. В. Мушкетов, В. А. Обручев, А. Ф. Слуцкий, В. И. Вутечич), но планомерное его изучение началось только в 30-е гг. XX в. (В. И. Глушков, М. И. Карбасников, П. К. Божтч, А. И. Дзен-Литовский, В. Р. Добрынин, В. С. Шустов, Н. А. Белов). С 1945 года в Крыму

работали экспедиции АН СССР под руководством В.П. Зенковича в составе А.А. Аксенова, В.Л. Бонгинова, Е.И. Невесского. Результаты этих работ были опубликованы в книгах «Берега Черного и Азовского морей», «Морфология и динамика советских берегов Черного моря», «Основы учения о развитии морских берегов», «Динамика береговой зоны бесприливных морей».



Рис. 2. Разрушенные конструкции откосных сооружений и набережной с. Песчаное

Работы крымских организаций по изучению экологических параметров побережья были вызваны жизненной необходимостью, а на Западном побережье работы начались с 1962 года по инициативе Сакского государственного курорта в связи с разрушением пересыпи Сакского озера из-за работы Прибрежного карьера завода строительных материалов. Было доказана необходимость закрытия карьера для сохранения Сакской пересыпи. Периодически разрабатывалась тематика по состоянию и динамике надводной части береговой полосы Крыма в Институте минеральных ресурсов (ИМР); подводной частью занималась морская партия Крымской геологической экспедиции, однако, обобщением этих материалов никогда не занимались. В ИМР был изучен генезис крымских пляжей, определены условия развития абразии с составлением карты, прошедшие апробацию, составлен кадастр надводной части берегов Крыма, проведено типологическое инженерно-геологическое районирование берегов Крыма.

Исследованиями вдольберегового потока наносов в береговой зоне западного Крыма занимались множество исследователей. В.Ф. Удовик и Ю. Н. Горячкин в результате своих исследований пришли к выводу, что центральный участок западного побережья в холодный период года характеризуется преобладанием непрерывного потока, направленного на север, и преимущественно представляет собой зону транзита наносов с южного участка на северный. Тенденция к резкому возрастанию интенсивности потока и существование устойчивого максимума в его центральной части предполагает помимо транзита так же необходимость дополнительного вовлечения в движение значительных объемов наносов для насыщения потока, что может ускорять процессы разрушения берегов. В теплый

период транзитная функция потока наносов существенно ослабевает, в первую очередь в связи с появлением в северной части центрального участка достаточно устойчивой ветви южного направления [14].

В настоящее время основной объем работ по побережью проводится ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН» и ГКУ РК «Противопопозное управление». Группой ведущих специалистов в настоящее время разрабатывается схема Автоматизированной базы данных для мониторинга морского побережья [9]. ГКУ РК «Противопопозное управление» занимается наблюдением за состоянием берегоукрепительных сооружений. С 80-х гг. XX в. проводят натурные и инструментальные наблюдения за состоянием не только берегозащиты, но и динамики пляжей.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В рамках поставленных авторами исследовательских задач в 2015 году было проведено обследование на типичной территории прибрежной зоны Западного Крыма – территория пансионата «ВОЛНА», в с. Песчаное (ввод в эксплуатацию – 1990 г.).

Строительно-климатические характеристики участка пансионата «ВОЛНА»:

- по весу снегового покрова - II-район  $S_g = 1.20$  кПа ( $122.3 \text{ кг/м}^2$ ), (СП 20.13330.2011);
- по давлению ветра - IV-й район  $w_0 = 0.48$  Па ( $48.9 \text{ кг/м}^2$ ), (СП 20.13330.2011);
- сейсмическая интенсивность по шкале MSK-64 - для средних грунтовых условий при вероятности превышения сейсмической интенсивности 10% в течение 50 лет - 8 баллов, (СП 14.13330.201, СНиП II-7-81\*);
- строительно-климатический район - ШБ, (СП 131.13330.2012, СНиП 23-01-99);
- грунтами основания служат суглинки с присутствием галечника > 25%.

При проектировании и строительстве пансионата было предусмотрено берегоукрепление в виде железобетонного лестничного сооружения для спуска с планировочной отметки территории пансионата, на отметку поверхности пляжа (-5м) (рис.3). Берегоукрепление (железобетонное лестничное сооружение) было построено как единое целое сооружение, объединяющее все соседние пансионаты, расположенные вдоль побережья.

В 2005 году на сооружении появились первые дефекты и повреждения, а к моменту обследования в 2015 году сооружение практически разрушено. Лестницы соседних пансионатов также полностью разрушены.



Рис 3. Берегоукрепительные сооружения вблизи пансионата «ВОЛНА» в с. Песчаное после ввода в эксплуатацию 1995-2005 гг.





-  - Местоположение пансионата «ВОЛНА».
-  - Обследуемое берегоукрепительное сооружение.

Рис. 4. Фрагмент ситуационного плана пансионата «ВОЛНА»

Согласно результатам визуального освидетельствования конструкций бетонного ограждения берегоукрепления, железобетонного лестничного сооружения, ограждение представляет собой бетонную стену, сложенную из бетонных стеновых блоков, толщиной 400 мм (рис. 5). Надземная часть ограждения была облицована плиткой из природного камня, которая, на момент обследования, частично обрушилась.



Рис. 5. Общий вид бетонного ограждения со стороны моря у пансионата «ВОЛНА»  
Аварийное состояние грунтов основания и фундаментов

По результатам визуального освидетельствования и инструментальных исследований можно сделать вывод, что общее техническое состояние ограждения берегоукрепления (железобетонного лестничного сооружения) относится к IV – категории технического состояния (аварийное).

Осмотр территории вокруг сооружения показал, что за эксплуатационный период морские волны, из-за невыполненных берегоукрепительных работ систематически вымывали грунты основания под фундаментами берегоукрепительных стен. В итоге средняя и

нижняя часть сооружения, потеряв опору, обрушились. Фундаменты разрушены (рис. 6).



Рис. 6. Разрушение грунтового основания лестничного сооружения у пансионата «ВОЛНА»

Верхняя лестничная площадка выполнена из сборных железобетонных плит, а лестницы выполнены монолитными железобетонными. Ограждение представляет собой бетонную стену, сложенную из бетонных стеновых блоков. Средняя лестничная площадка и средние и нижние лестничные марши были выполнены сборными железобетонными. Произошел отрыв лестничной площадки от земляного массива. Доступ на лестничную площадку с двух сторон, для безопасности, перекрыт. Обрушение верхней части сооружения со временем наиболее вероятно. Средние и нижние площадки и лестницы отсутствуют, их элементы обрушились и лежат на берегу (рис.7).



Рис. 7. Обрушившиеся конструктивные элементы средней и нижней частей сооружения у пансионата «ВОЛНА» с. Песчаное

Анализ собранных данных о состоянии конструкций берегозащиты показал, что ограждение сползает к морю, а берегоукрепление (железобетонное лестничное сооружение) не эксплуатируется в течение многих лет из-за полного разрушения средней и нижней частей лестницы. Верхняя часть лестницы находится в аварийном состоянии и может обрушиться в любое время. Пляж завален лестничными маршами и другими железобетонными конструкциями. Морские волны продолжают разрушать берег. Доступа отдыхающих к морю вдоль всего побережья, прилегающего к пансионату, а также и к соседним пансионатам, практически нет.

Разбор выявленных тенденций изменения параметров берегоукрепительных сооружений в районе Западного Крыма позволяет конкретизировать принципы разработки системы

инженерных мероприятий по стабилизации и в дальнейшем улучшения экологического состояния берегов:

- принцип эффективности;
- принцип экономичности: экономия затрат должна обеспечиваться на всех этапах строительства;
- принцип экологичности: конструкция не должна оказывать негативного воздействия на экологическое состояние защищаемого участка побережья - обеспечивать безопасность населения или временно-присутствующих людей от обрушения берега, не загрязнять территорию (почвы, воды) используемыми компонентами или не создавать возможность загрязняющими веществами через конструкцию, не влиять на состояние флоры и фауны в зоне расположения на основе оценки степени воздействия на окружающую среду (ОВОС) [6];
- принцип обеспечения долговечности конструкции сооружений:
  - а) при агрессивных воздействиях компонентов окружающей среды – море и атмосфера: конструкция должна быть устойчивой к многократному попеременному замораживанию-оттаиванию бетона, химическому действию морской воды и других агрессивных минерализованных или пресных вод, параметров атмосферы, ветровой, волновой и уровневому режиму прибрежной зоны моря);
  - б) в объективно складывающихся гидрогеологических условиях берега: конструкция должна проектироваться с учетом параметров типа грунта, формируемых направлений и объемов потоков грунтовых вод, способности к оползнеобразованию и др.;
  - в) в условиях параметров сейсмичности территории;
- принцип обеспечения ремонтпригодности конструкции;

## ВЫВОДЫ

Разрушение конструкций берегоукрепительных сооружений произошло в результате размыва основания волновой активностью моря. В местах разрушения берегоукрепительных сооружений происходит формирование естественного пляжа, материалом для которого служат грунты размываемого берегового склона, что означает неизбежную и довольно значительную потерю территорий и разрушение всех сооружений и построек на этих территориях. Данные берегоукрепительные сооружения являются аварийными, и не подлежат восстановлению и сохраняется опасность для жизни и здоровья людей при их пребывании вблизи данных сооружений.

Анализ состояния существующего берегоукрепления и инженерной защиты Западного побережья Крыма проявил ряд проблем:

во-первых, отмечаются проблемы при эксплуатации сооружений берегоукрепления (на сегодняшний день такие сооружения не выполняют требования нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации);

во-вторых, отсутствует регламентирующий документ, определяющий стратегию берегоукрепительных мероприятий, а также современное научное сопровождение выполнения работ по проектированию, строительству и эксплуатации объектов берегоукрепления не выполняется в комплексе;

в-третьих, присутствуют проблемы при строительстве берегоукрепительных сооружений (отсутствие плавсредств для ведения гидротехнического строительства, ликвидация полигонов изготовления массивов, недостатки технического обеспечения специального строительного производства).

Строительство новых берегозащитных и берегоукрепительных сооружений на проанализированном участке берега даст лишь временный положительный эффект и в дальнейшем может оказать весьма негативные последствия для соседних и даже удаленных участков. В связи с чем, вопрос о защите побережья необходимо решать в масштабах всей береговой зоны Каламитского залива с учетом экологических и эстетических аспектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячкин Ю.Н. Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Часть 1 / Ю.Н. Горячкин // Гидротехника. –2016. –№ 1. – С. 49–54.
2. Горячкин Ю.Н. Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Часть 2 // Гидротехника. – 2016. – № 2. – С. 38–43.
3. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Изменения климата и динамика берегов Украины // Доповіді Національної академії наук України. –2008. –№ 10. –С. 118–122.
4. Горячкин Ю. Н. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. / Ю.Н. Горячкин, В.А. Иванов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. –210 с.
5. Горячкин Ю. Н. Эффективность берегозащитных сооружений Крыма (ретроспективный взгляд) // Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России. Тезисы докладов международной научной конференции, пгт. Кацивели, 15–18 сентября 2014 г. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – С. 77–80.
6. Иваненко, Т. А. Комплекс экологически безопасных технических решений застройки прибрежных рекреационных зон / Т. А. Иваненко, Н. М. Ветрова // Проблемы экологии. – 2013. –№ 1(31). – С. 89–97.
7. Миньковская Р. Я., Иванов В. А. Морские устья рек Украины и устьевые процессы. Часть I. –Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. –488 с.
8. Отчет об обследовании конструкций части ограждения пансионата со стороны моря (литера 15) и конструкций берегоукрепления – железобетонное лестничное сооружение (литера 16) пансионата «ВОЛНА», расположенный по адресу: Республика Крым, с. Песчаное, ул. Набережная, 13 / ИП Киреева В.С. ; № К-150187/12.05.2015 – Симферополь: 2015. – 22 с.
9. Романюк О. С. Состояние изученности крымского побережья и задачи его восстановления // Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей Крымского полуострова / Тезисы докладов научно-практической конференции, г. Севастополь, 16 - 18 сентября 2015 г. – Севастополь: 2015. – С. 14–16.
10. Рыжий М. Н. Проблемы инженерной защиты морских берегов Крыма и пути их решений в современных условиях // Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей Крымского полуострова / Тезисы докладов научно-практической конференции, г. Севастополь, 16 - 18 сентября 2015 г. – Севастополь: 2015. – С. 13–14.
11. Сапронова З.Д. Опыт проектирования и строительства берегозащитных сооружений в Крыму и оценка их эффективности / З.Д. Сапронова, В.С. Снегирев // Строительство и техногенная безопасность. –2013. –Вып. 45. – С. 108–114.
12. Современное состояние береговой зоны Крыма / Под ред. Ю. Н. Горячкина. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. –252 с.
13. Тлявлиня Г.В. Проблемы и перспективы строительства берегоукрепительных сооружений и рекреационных пляжей на черноморском побережье Крыма / Г.В. Тлявлиня, Р.М. Тлявлин, Н.А. Ярославцев // Гидротехника. – 2014. – № 3. – С. –28–39.
14. Удовик В. Ф., Горячкин Ю. Н. Межгодовая изменчивость вдольберегового потока наносов в береговой зоне западного Крыма / Научная электронная библиотека периодических изданий НАН Украины. – Морской гидрофизический институт НАН Украины. – Севастополь: 2013. – С. 363–368.
15. Удовик В. Ф., Горячкин Ю. Н. Оценки межгодовой изменчивости вдольберегового транспорта наносов на участке береговой зоны от Севастополя до Евпатории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2015. –№ 1. – С. 55–66.
16. Coastal erosion [Electronic resource]. – 2014. Access mode: [http://en.wikipedia.org/wiki/Coastal\\_erosion](http://en.wikipedia.org/wiki/Coastal_erosion)
17. Goryachkin Yuri N. Coastal erosion and protection in Ukraine // Coastal erosion and

protection in Europe / Editing A. Williams and E. Pranzini. London: Earthscan, 2012. P. 413–426.

18. Kosyan R.D., Goryachkin Yu.N, Krylenko V.V., Dolotov V.V., Krylenko M.V., Godin E.A. 2012. Crimea and Caucasus Accumulative Coasts Dynamics Estimation using Satellite Pictures // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 12: 385-390.

19. Peichev V. Beach Protection and Long Term Stabilizing of Black Sea Coastal Slopes. Sofia, Prof. M. Drinov Publ. House, 1998, 139-142.

20. Stanev E.V. Regional sea level response to global climatic change: Black Sea examples / E.V. Stanev, E.L. Peneva // Global and Planetary Changes. – 2002. – 32. – P. 33–47

N. M. Vetrova, E. E. Mannanov

## VIOLATIONS OF ENVIRONMENTAL SITUATION IN THE COASTAL ZONE OF THE WESTERN CRIMEA

**Annotation.** The site of coastal protection structures of the boarding house «WAVE» In village Peschanoye, the causes of the emergence of the emergency state of coastal protection structures are revealed, the principles for the development of a system of engineering measures to stabilize and further improve the ecological state of the shores of the Western Crimea are specified.

**Key words:** coastal zone, coastal protection structures, western coast of Crimea, ecological safety.

## РУКОВОДСТВО ДЛЯ АВТОРОВ

### 1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

#### 1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [stepancova.natal@mail.ru](mailto:stepancova.natal@mail.ru).

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Так же прием статей на рассмотрение и рецензирование можно направить по электронной почте по адресу [stepancova.natal@mail.ru](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:lisa.858@yandex.ru). Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

#### Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [stepancova.natal@mail.ru](mailto:stepancova.natal@mail.ru) в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную)

[Лицензионный договор о предоставлении права использования статьи](#)

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия –загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты lisa.858@yandex.ru.в сканированном виде (файл PDF).

## 2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

### Общие требования для подготовки статей

**Объем статьи**, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

**Шрифт.** Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

**Параметры страницы:** верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

**Таблицы.** Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

**Рисунки и графики.** Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

**Формулы.** Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

### Обязательный порядок статьи.

**УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами

**Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.

**Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.

**Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail

**Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.

**Предмет исследования (Subject):** шрифт обычный TNR 9 пт.

**Материалы и методы (Materials and methods):** шрифт обычный TNR 9 пт.

**Результаты (Results):** шрифт обычный TNR 9 пт.

**Выводы (Conclusions):** шрифт обычный TNR 9 пт.

**Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.

**Текстовая часть.** Статья должна содержать следующие разделы:

- ВВЕДЕНИЕ;
- АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
- МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
- РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;

- ВЫВОДЫ;
- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

### **Рекомендации по подготовке аннотации статьи**

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

### **Список литературы оформляется на русском и английском языках.**

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

*Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.*

### **Рекомендации по подготовке списка литературы**

#### **Некоторые общие положения.**

Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.

Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.

Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.

Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).

Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.

Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).

Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.

В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.

В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.

Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.

При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

#### **НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:**

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.