

Редакционный совет:

Председатель: Федоркин С.И., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Заместитель председателя: Николенко И.В., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Заместитель председателя: Любомирский Н.В., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Руководители редакционных комиссий:

– Градостроительство – Нагаева З.С., д.арх., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

– Строительные науки – Шаленный В.Т., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

– Инженерное обеспечение – Зайцев О.Н., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

– Экологическая безопасность – Ветрова Н.М., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Члены редакционного совета:

Андронов А.В., к.ф.-м.н., доц., КФУ им.В.И. Вернадского

Абдулгасис У.А., д.т.н., проф., ГБОУ ВО РК «КИПУ»

Бекиров Э.А., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Беспалов В.И., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Боровский Б.И., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Горбатюк Н.В., к.г.н., доц., КФУ им.В.И. Вернадского

Графкина М.В., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «МГМУ»

Дворецкий А.Т., д.т.н., проф., КФУ им. В.И. Вернадского

Дьяков И.М., к.т.н., доц., КФУ им. В.И. Вернадского

Кукунаев В.С., д.т.н., с.н.с., КФУ им. В.И. Вернадского

Линченко Ю.П., к.т.н., доц., КФУ им. В.И. Вернадского

Лукьянченко М.А., к.т.н., доц., КФУ им.В.И. Вернадского

Любомирский Н.В., д.т.н., проф., КФУ

им. В.И. Вернадского

Морозов А.Д., к. т. н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Маилян Д.Р., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Несветаев Г.В., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Пищулина В.В., д.арх., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Родин С.В., к.т.н., доц., КФУ им.В.И. Вернадского

Рыжаков А.Н., к.ф.-м.н., доц., КФУ им.В.И. Вернадского

Сироджа И.Б., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Серпокрылов Н.С., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Толстой М.Ю., к.т.н., доцент, ИРНТУ

Цопа Н.В., д.э.н., проф., КФУ им. В.И. Вернадского

Чемодуров В.Т., д.т.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Чеботарев В.И., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Шейна С.Г., д.т.н., проф., ФГБОУ ВПО «РГСУ»

Ячменева В.М., д.э.н., проф., КФУ им.В.И. Вернадского

Утвержден к печати согласно протокола заседания
научно-технического совета ФГАОУ ВО

«КФУ им. В.И. Вернадского» № 5 от 08.12.2016.

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

ISSN 2413-1873

СиТБ №5(57) – 2016

**СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

Сборник научных трудов академии
строительства и архитектуры
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского»

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-61830 от 18.05.2015 г.

Техническая редакция:

Янушковский К.А.

©Академия строительства и
архитектуры

СОДЕРЖАНИЕ

Поздравления факультету «Водных ресурсов и энергетики»	3
Факультету «Водных ресурсов и энергетики» - 30 лет	11
Инженерное обеспечение	
Амбросова Г.Т., Матюшенко Е.Н., Функ А.А., Синеева Н.В. Источники повышения концентрации фосфора в сточной жидкости, поступающей на очистные сооружения канализации, и способы их устранения	24
Ангелюк И.П. Утилизация теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов	32
Андропова О.А. О спектральных задачах с внутренней диссипацией энергии	34
Боровский Б. И. Параметры центробежного насоса с конфузормым колесом на повышенном режиме	39
Зайцев О.Н. Критерии оценки и анализа территории теплоснабжения для проведения инженерного районирования	43
Зайцев О.Н. Реализация принципов инженерного районирования теплоснабжения в аналитических моделях	49
Камышникова Е.В. Применение черноморской воды для интенсификации процесса дефосфотации сточных вод	56
Котовская Е. Сравнение экономической эффективности различных коагулянтов при очистки природных вод	62
Николенко И.В., Салиев Э. И., Крымов Р. С. Применение модуля энергетической оптимизации Акватроник Фесто Центр для повышения энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения	67
Николенко И.В., Рыжаков А.Н. Метод оптимизации режимов работы силовых агрегатов насосной станции	77
Хван В.С., Русинов Д.С. Мультициклон.	83
Хван В.С., Пиронко С.А. Теплообменник.	89
Черная М.Л., Копачевский А.М., Субботкин Л.Д. Исследование процессов седиментации применительно к канализационным очистным сооружениям г. Симферополь, Республика Крым	93
Штонда И.Ю., Ручковская А. В. Реконструкция существующих канализационных очистных сооружений с использованием мембранной ультрафильтрации	99
Экологическая безопасность	
Ветрова Н.М., Иваненко Т.А. О подходах к исследованию экологических проблем прибрежных территорий.	104
Волкова Н., Захаров Р., Подвалова С. Качественная оценка возможности использования сточных вод в Крыму при существующем уровне очистки	113
Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В. Совершенствование оборудования и технологии переработки вторичного полимерного сырья с целью обеспечения экологической безопасности	119
Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В. Совершенствование экструзионного оборудования с многосекционным шнеком с целью решения экологической проблемы утилизации комбинированных полимерных отходов	124
Лунёв Д.В., Обручева Л.В. Методика оптимизации гидравлических элементов закрытых оросительных систем	129
Холопцев А. В. Экстремально низкие зимние температуры воздуха на Европейской территории России и Атлантическая мультидекадная осцилляция.	134
Памятка для авторов	142



**Уважаемые преподаватели, сотрудники,
обучающиеся, выпускники
факультета водных ресурсов и энергетики!**

Ваш факультет, отмечающий в этом году свое 30-летие, обеспечивает высокое качество подготовки студентов, создает условия и возможности для их творческого развития, поддерживает стремление обучающихся к достижению успеха.

За 30 лет факультет вооружил знаниями и дал путевку в жизнь нескольким тысячам своих выпускников. Многие из них в Республике Крым занимают руководящие должности в различных сферах деятельности. Выпускники факультета в настоящее время создали мощный инженерно-технический и научный кадровый потенциал для промышленности, энергетики, ЖКХ, образования и науки.

В настоящее время факультет водных ресурсов и энергетики Академии строительства и архитектуры проводит активную инновационную политику в образовательной, научной, социальной и других сферах, направленную на качественное преобразование и устойчивое социально-экономическое развитие Крыма.

Выражаю уверенность, что факультет будет и впредь приумножать славные традиции Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

Желаю всему коллективу факультета здоровья, счастья, благополучия, новых достижений, смелых проектов и свершения творческих замыслов!

**Ректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Крымский Федеральный Университет
им. В.И. Вернадского», профессор**

С.Г. Дони́ч



Уважаемые коллеги!

Поздравляю коллектив факультета Водных ресурсов и энергетики с 30-летием со дня создания. С момента своего становления факультет прошел большой и сложный путь, задавая и сохраняя высокие стандарты образования.

Сегодня факультет является важным многопрофильным научно-учебным комплексом в составе Академии строительства и архитектуры с развитой инфраструктурой и современной материально-технической базой.

Профессорско-преподавательский состав факультета отличают не только высокий профессионализм, но и творческий, инновационный подход в педагогической, организационной и научной деятельности.

Ваш факультет является настоящим флагманом Республики Крым в деле подготовки высококлассных специалистов для водного хозяйства, энергетики, строительства, жилищно-коммунального, сельского хозяйства, различных отраслей и сфер экономики.

Желаю всему коллективу факультета успехов, в вашем благородном и важном деле, по подготовке высококвалифицированных специалистов.

**Директор Академии
Строительства и Архитектуры
(структурное подразделение)
Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Крымский Федеральный Университет
им. В.И. Вернадского», профессор**



С.И. Федоркин



**Уважаемые коллеги-преподаватели, сотрудники,
студенты, выпускники!**

Примите искренние поздравления со столь знаменательной датой — 30-летним юбилеем со дня образования Факультета водных ресурсов и энергетики Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского! За минувшие годы факультетом пройден славный путь становления и развития. Сегодня факультет по праву является флагманом в подготовке кадров, вносит огромный вклад в научный потенциал России, «открывает» молодые дарования и ученых, готовит профессиональных специалистов для отрасли.

Профессорско-преподавательский состав факультета ведет учебный процесс с учетом высоких требований времени, сохраняя традиции сложившиеся десятилетиями. Предметом гордости нашего факультета являются его выпускники, всесторонне образованные, современно мыслящие и ориентированные на решение задач. Многие из них являются победителями профессиональных конкурсов, обладателями дипломов зарубежных университетов и успешно трудятся на российских и международных предприятиях.

От всей души желаю всем преподавателям, сотрудникам и студентам крепкого здоровья, дальнейшей плодотворной работы, движения только вперед, новых творческих побед, реализации всех намеченных планов и дальнейших успехов в нашей многогранной деятельности по подготовке высококвалифицированных специалистов!

**С уважением,
Декан факультета Водных
ресурсов и энергетики**

Э.И.Салиев



Уважаемые коллеги!

Поздравляю коллектив факультета Водных ресурсов и энергетики с 30-летием со дня создания.

Сегодня факультет является важным многопрофильным научно-учебным комплексом в составе Академии строительства и архитектуры с развитой инфраструктурой и современной материально-технической базой.

Профессорско-преподавательский состав факультета отличают не только высокий профессионализм, но и творческий, инновационный подход в педагогической, организационной и научной деятельности.

Ваш факультет является настоящим флагманом Республики Крым в деле подготовки высококлассных специалистов для водного хозяйства, энергетики, строительства, жилищно-коммунального, сельского хозяйства, различных отраслей и сфер экономики.

Желаю всему коллективу факультета успехов, в вашем благородном и важном деле, по подготовке высококвалифицированных специалистов.

В настоящее время факультет водных ресурсов и энергетики Академии строительства и архитектуры проводит активную инновационную политику в образовательной, научной, социальной и других сферах, направленную на качественное преобразование и устойчивое социально-экономическое развитие Крыма в области энергетики.

Выражаю уверенность, что факультет будет и впредь приумножать славные традиции Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

От всей души желаю всему коллективу факультета дальнейшего совершенствования и процветания, а также новых успехов в научно-педагогической деятельности, в решении всех поставленных масштабных профессиональных задач и реализации перспективных планов, а студентам, аспирантам и выпускникам – всегда оставаться востребованными, нужными родному Крыму специалистами.

**С уважением
Министр топлива и энергетики
Республики Крым**

С.А. Бородулина



Уважаемые коллеги!

Республиканский комитет Республики Крым по водохозяйственному строительству и мелиорации сердечно поздравляет профессорско-преподавательский состав, студентов, аспирантов и выпускников Академии строительства и архитектуры Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского со знаменательной датой 30-летним юбилеем факультет водных ресурсов и энергетики.

За эти годы изменялось название факультета и его кафедр, модернизировались уровни подготовки и образовательные технологии, расширялся диапазон профильных дисциплин, но сохранилось главное - прекрасный коллектив, его добрые традиции, базирующиеся на искреннем стремлении подготовить высококвалифицированного специалиста.

За время успешной работы Ваш факультет подготовил высококвалифицированные инженерно-технические кадры, которые внесли существенный вклад в развитие водохозяйственного комплекса Республики Крым, а также других отраслей. Оценив результаты, которые факультет достиг за время своего существования, без преувеличения можно сказать, что именно Вашему факультету водное и жилищно-коммунальное хозяйство Крыма во многом обязано своим успешным становлением и динамичным развитием.

Благодаря целеустремленности, огромной созидательной энергии, творческому поиску, высокому профессионализму, умению бережно хранить заложенные традиции Ваш коллектив неизменно добивается успехов в осуществлении самых смелых планов и идей.

Желаем всему коллективу факультета здоровья, дальнейшего процветания, счастья, неугасимой энергии, новых интересных замыслов, их непременно претворения в жизнь, и удачи в таком благородном деле, как образование.

**С уважением ,
Председатель Республиканского комитета РК
по водохозяйственному строительству
и мелиорации**

И.В. Вайль



**Уважаемые преподаватели, сотрудники, ветераны,
студенты, магистранты, аспиранты и выпускники
факультета!**

Факультет водных ресурсов и энергетики, который отмечает в этом году свой 30-летний юбилей, является современной динамично развивающейся структурой Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского. Образовательная и научная деятельность факультета выполняется по многим важным и перспективным направлениям нашего Министерства, и являются востребованными в Республике Крым.

Современный этап развития жилищно- коммунального хозяйства характеризуется возрастающей ролью образования и уровня подготовки специалистов, которые активно влияют на состояние и перспективы развития отрасли.

Подготовив за годы работы несколько тысяч специалистов, факультет развивается в ногу со временем и чутко реагирует на многие инновационные изменения в технике, технологии, а также структурным преобразованиям в экономике и на рынке труда. Эта тесная взаимосвязь образования, науки, активная деятельность факультета позволила ему достичь успехов в подготовке высококвалифицированных специалистов.

Отрадно, что современная деятельность факультета по подготовке специалистов по программам высшего и послевузовского профессионального образования позволяет ему стабильно занимать лидирующее место в Крыму при подготовке инженерного и научного кадрового потенциала. Хочу отметить, что образовательные программы по подготовке и переподготовке, высокая квалификация профессорско-преподавательского состава факультета позволяют с уверенностью обеспечивать трудоустройство Вашим студентам.

От всей души желаю всему коллективу факультета дальнейшего совершенствования и процветания, а также новых успехов в научно-педагогической деятельности, в решении всех поставленных масштабных профессиональных задач и реализации перспективных планов, а студентам, аспирантам и выпускникам — всегда оставаться востребованными и нужными родному Крыму специалистами.

**С уважением,
Заместитель министра
Жилищно-коммунального хозяйства
Республики Крым**

Я. Зейтулаев



Уважаемые коллеги!

Примите искренние поздравления от имени ГУП РК «Вода Крыма» с 30-летием со дня основания факультета водных ресурсов и энергетики Академии строительства и архитектуры Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

За время становления и развития факультета Вы прошли сложный путь, наполненный огромным трудом и неиссякаемым энтузиазмом по организации учебного процесса, научно-исследовательской работы, и созданию материально-технической базы выпускающих кафедр. Несмотря на эти сложные задачи и непростые прошедшие годы, факультет остается верен своим раз и навсегда выбранным профилям подготовки специалистов для Республики Крым.

Выражаем благодарность руководству и кафедрам факультета за многолетнее сотрудничество в деле подготовки профессиональных кадров для нашего предприятия, совершенствования программ подготовки обучающихся, а также повышения профессиональной компетенции при переподготовке наших специалистов.

Приятно сознавать, что свой юбилей факультет встречает достойно, демонстрируя соответствие уровня подготовки специалистов не только требованиям сегодняшнего дня, но и имея большой творческий и профессиональный потенциал, создает хороший задел для будущих успехов и плодотворных начинаний.

Уверен, что коллектив факультета и в дальнейшем будет успешно решать важнейшую задачу подготовки инженерно-технических кадров как для нашего предприятия, так для других предприятий Крыма, а наши добрые отношения будут развиваться.

От всей души желаю всем крепкого здоровья, счастья, благополучия и всего самого наилучшего!

**Генеральный директор
ГУП РК «Вода Крыма»**

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, representing the name A.V. Sheptunov.

А.В. Шептунов



Уважаемые коллеги!

Поздравляем коллектив факультета и кафедру ЭиЭ с 30-летием со дня основания факультета водных ресурсов и энергетики, который на данный момент является частью Академии строительства и архитектуры Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

Факультет объединяет кафедры, которые обучают и выпускают специалистов таких важных для Крыма областей как электроэнергетика, электроснабжение, водоподготовка, водоотведение, теплогазоснабжение.

В настоящее время факультет является многопрофильным научно-исследовательским и учебным комплексом с современной материально-технической базой, объединяющей ведущих специалистов в область энергетики и водных ресурсов и профессорско-преподавательский состав имеет высокий профессиональный уровень.

Выпускники факультета работают на ответственных постах, являются в инженерных службах, энергохозяйствах, руководителями энергетических участков электрогенерирующих служб, ведущими специалистами электроэнергетических хозяйств Крыма.

Выражаем благодарность руководству и кафедрам факультета за многолетнее сотрудничество в деле подготовки профессиональных кадров для нашего предприятия, совершенствования подготовки обучающихся, а также повышения профессиональной компетенции при подготовке наших специалистов.

Желаю коллективу факультета творческих успехов и достижения высоких целей по подготовке квалифицированных специалистов в области энергетики. От всей души желаю всем крепкого здоровья, счастья, благополучия и всего самого наилучшего!

**С уважением
Генеральный директор
ГУП РК «Крымэнерго»**

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'В' followed by several loops and a long horizontal stroke.

В.Т. Плакида

Факультету Водных ресурсов и энергетики - 30 лет

В этом году отмечает 30-летний юбилей факультет водных ресурсов и энергетики Академии строительства и архитектуры (АСиА) – структурного подразделения Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского. В 2015 году исполнилось 55 лет Академии, которая создавалась на базе Симферопольского учебно-консультативного пункта Одесского технологического института пищевой и холодильной промышленности 13 мая 1960 года в виде Симферопольского общетехнического факультета. Деканом стал кандидат экономических наук, доцент Н. К. Михеев. В январе 1964 года Симферопольский общетехнический факультет был переведен в состав Севастопольского приборостроительного института. 26 мая 1966 г. Этот факультет был преобразован в Симферопольский филиал Севастопольского приборостроительного института. С 1967 по 1969 год директором филиалом руководил доцент, кандидат технических наук О.И. Молчанов, а с 1969 по 1973 год – доцент, кандидат технических наук В.Д. Слепцов. В апреле 1973 года руководство филиала возглавил кандидат технических наук, профессор Анатолий Павлович Трощенковский, ранее работавший деканом строительно-технологического факультета Одесского инженерно-строительного института. В 1982 году Симферопольский филиал Севастопольского приборостроительного института был передан в структуру Днепропетровского инженерно-строительного института (ДИСИ).

Для решения важнейших задач по вопросам водоснабжения Крымской области, с целью дальнейшего улучшения профессиональной подготовки специалистов, обеспечения целенаправленной подготовки кадров, совершенствования форм и методов подготовки организаторов производства в соответствии с приказом Минвуза СССР от 25 марта 1986 года «Об изменении в структуре высших учебных заведений Минвуза СССР в 1986 году» и дополнением от 22 апреля 1986 года с **1 сентября 1986 года** в Симферопольском филиале ДИСИ был организован Гидромелиоративный факультет. Первым деканом факультета был назначен кандидат наук, доцент Марюшин Петр Акимович.



**Декан гидромелиоративного факультета
(1986 - 1990),
кандидат технических наук, доцент
Марюшин Петр Акимович**

Успешное развитие Симферопольского филиала ДИСИ стало основанием в 1990 году создания на его базе Крымского института природоохранного и курортного строительства (КИПКС). При становлении этого института в 1990 году Гидромелиоративный факультет был переименован в Эколого-мелиоративный. С 1990 по 1992 годы Эколого-мелиоративный факультет возглавлял кандидат экономических наук, профессор Закусилов Николай Александрович.

В сентябре 1996 года, после ухода ректора А. П. Трощенковского на пенсию ректором института был избран Н. А. Закусилов. Его заслугой является становление КИПКС в современном виде. Благодаря энергии Н. А. Закусилова была проведена компьютеризация института, перестроен в библиотечно-учебный 4-й корпус, началось строительство «Зимнего сада» в 3-ем учебном корпусе, введены в эксплуатацию волейбольная, баскетбольная площадки и футбольное поле. Успешное развитие КИПКС и создание учебной базы, совершенствование учебного процесса стало основанием присвоения в 1997 году вузу статуса академии – Крымская академия природоохранного и курортного строительства (КАПКС). В 1997 году с учетом нового направления подготовки произошло переименование факультета в «Факультет водного хозяйства и санитарной техники».



**Декан
Эколого-мелиоративный факультет
(1990 - 1992),
кандидат экономических наук, профессор
Закусилов Николай Александрович**

С 1992 года по 2015 года бессменным деканом факультета был кандидат технических наук, доцент Сопов Иван Васильевич. Под руководством Сопова И.В. были осуществлены большие работы по перестройки учебного процесса и учебных планов специальностей ВВ, ТГВ и ГМ к двухуровневой системе высшего образования - от подготовки специалистов к подготовке бакалавров и магистров. Не менее трудной оказалась перестройка всего учебного процесса при переходе из системы высшего образования Украины к системе высшего образования России в связи с изменением статуса Республики Крым при вхождении ее в состав Российской Федерации в 2014 году. Со всеми этими задачами И.В. Сопов блестяще справился.



**Декан
эколого-мелиоративный факультета
(1992 - 1997),
факультета водного хозяйства и
санитарной техники
(1997 - 2004),
факультета водных ресурсов и энергетики.
(2004 - 2015)
кандидат технических наук, доцент
Сопов Иван Васильевич**

После выхода ректора Н.А. Закусилова на пенсию, в июле 2003 года академию возглавил академик Академии строительства Украины, заслуженный изобретатель Украины, профессор, доктор технических наук Сергей Иванович Федоркин. В 2004 году КАПКС получила статус национальной – Национальная академия природоохранного и курортного строительства (НАПКС). С момента повышения статуса с 8.11.2004 факультет переименован в факультет водных ресурсов и энергетики, .

В 2014 году после исторического воссоединения Крыма с Россией распоряжением Правительства Российской Федерации от 04.08.2014г № 1465-р создано Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»).

Академия строительства и архитектуры - структурное подразделение ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» является государственным высшим учебным заведением, осуществляющим подготовку квалифицированных кадров по образовательным программам высшего образования – бакалавриата, магистратуры и аспирантуры для строительной индустрии, а также градостроительства и ландшафтной архитектуры, коммунального и водного хозяйства.

Высокий уровень образования обеспечивает профессорско-преподавательский состав: 177 специалистов, среди которых 13 профессоров, из них 11 докторов наук, 67 кандидатов наук, из них 54 доцента. В настоящее время в Академии строительства и архитектуры обучается 1763 бакалавров, 316 магистров и 52 аспиранта.

С сентября 2015 года декан факультета водных ресурсов и энергетики кандидат наук государственного управления, доцент – Салиев Энвер Ибрагимович.



**Декан
факультета водных ресурсов и энергетики.
с 2015 года
кандидат наук государственного управления,
доцент.
Салиев Энвер Ибрагимович**

По мере развития факультета и открытия новых специальностей изменялось и его название. В настоящее время факультет водных ресурсов и энергетики является структурным подразделением Академии строительства и архитектуры «Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского».

На факультете водных ресурсов и энергетики выпускающие кафедры: Водоснабжения, водоотведения и санитарной техники; Природообустройства и водопользования; Теплогазоснабжения и вентиляции. За годы работы факультета было подготовлено более 7 тысяч бакалавров, специалистов, магистров, которые работают в системе государственного управления Республики Крым, на предприятиях энергетики, ЖКХ, промышленности, сельского и водного хозяйства.

Общеобразовательные кафедры факультета: высшей математики и информатики; социально-гуманитарных наук.

На кафедрах факультета созданы и развиваются современные научные и учебные лаборатории для подготовки бакалавров, магистров и аспирантов, проведения научно-исследовательских работ аспирантами и сотрудниками кафедр.

Захаров Р.Ю., Николенко И.В., Салиев Э.И.

Кафедра «Природообустройства и водопользования»

История кафедры берет свое начало с первого набора студентов на специальность «Гидромелиорация» в 1982 году на строительно-технологическом факультете. Первоначально преподавательский состав, который вел подготовку студентов по специальности «Гидромелиорация», работал на кафедре *Санитарной техники и охраны труда*. В 1986 году кафедра *Санитарной техники и охраны труда* переименована в кафедру *Гидромелиорации и санитарной техники*. Заведующим кафедрой стал доктор наук, профессор Николай Сергеевич Горюнов.



**Заведующий кафедрой
Гидромелиорации и санитарной техники
(1986 - 1991),
доктор технических наук, профессор
Горюнов Николай Сергеевич**

С 1989 по 1991 годы кафедрой руководил доктор наук, профессор Борис Иосифович Боровский, а с 1991 по 1992 год - доктор наук, профессор Борис Иванович Сергеев. В 1992 году эстафету руководства кафедрой принял кандидат наук, профессор Николай Александрович Закусилев. С 1992 по 1999 годы кафедра носила название кафедра Гидромелиорации. В 2000 году кафедра Гидромелиорации и гидротехнических сооружений.

В 2007 году заведующим кафедрой Гидромелиорации и гидротехнических сооружений был избран по конкурсу кандидат наук, доцент Роман Юрьевич Захаров.

В 1990 году образована кафедра Инженерной экологии, с 2000 года кафедра инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности, с 2005 по 2010 годы кафедра Инженерной экологии, с 2010 года Инженерной экологии и экономики природопользования, а с 2012 года Экологического мониторинга и безопасности жизнедеятельности.

В 2013 году две кафедры (кафедра Гидромелиорации и гидротехнических сооружений и кафедра Экологического мониторинга и безопасности жизнедеятельности) объединены в одну – кафедру Прикладной экологии, гидромелиорации и сбалансированного природопользования. Заведующим кафедрой была назначена кандидат наук, доцент Наталия Владимировна Горбатюк.

В 2015 году кафедра в соответствии с основным направлением подготовки в составе Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского переименована в кафедру Природообустройства и водопользования. Заведующим кафедрой был избран по конкурсу кандидат наук, доцент Роман Юрьевич Захаров.

За годы работы кафедры выпущено более 1400 специалистов и магистров, которые в настоящий момент работают в системе водного хозяйства и мелиорации России, в том числе Рескомводхоза РК и ГБУ «Крыммелиоводхоз», ближнего и дальнего зарубежья, проектных и научно-исследовательских организациях, комитете по охране окружающей среды, сельскохозяйственных предприятиях и других организациях.



**Заведующий кафедрой
Природообустройства и водопользования
с 2015 года
кандидат технических наук, доцент
Захаров Роман Юрьевич**

В своем развитии кафедра опирается на два принципа:
принцип воспитания гармоничной личности, способной и реализующей свою способность к творчеству;

принцип непрерывной связи учебного процесса с фундаментальными и прикладными исследованиями кафедры.

Целевыми задачами кафедры являются: удовлетворение потребности общества и государства в фундаментально образованных и гармонически развитых специалистах направления подготовки «Природообустройство и водопользование», владеющих современными технологиями обустройства и защиты природы, основанными на знаниях современных тенденций развития отношений между человеком и природой, инженерными приемами обустройства природы, восстановления её качеств, защиты от природных стихий, повышения полезности компонентов природы, их защищенности от воздействий человека; повышение престижа Крымского федерального университета на рынке образовательных услуг; удовлетворение потребности личности в овладении социальными и профессиональными компетенциями, позволяющими ей быть востребованной на рынке труда и в обществе.

Кафедра намерена существенно увеличить научно-технические и ресурсные возможности за счет реализации различных инновационных подходов. На этой основе будет обеспечен устойчивый рост качества и форм обучения, количества учащихся, эффективность работы по всем направлениям её деятельности.

Основные направления деятельности кафедры: учебно-методическое; научно-педагогическое; научно-исследовательское; экспертно-консультационное; коммуникативное. Предметную область природообустройства составляют не только земли сельскохозяйственного, но и другого назначения (лесного и водного фондов, промышленности, транспорта, поселений, обороны), также нуждающиеся в улучшении, а также рекультивация нарушенных и загрязненных земель, их охрана, комплексное обустройство водосборов.

Понятие «природообустройство» позволяет выработать общие подходы к модификации свойств природных компонентов, согласованию природопользования с природообустройством, сформулировать общие требования к природообустройству, обеспечивающие сохранение и воспроизводство природных ресурсов, гармоничное развитие человеческого общества и окружающей среды. В настоящее время природообустройство – общепринятое направление подготовки специалистов, нацеленное на познание общих закономерностей создания и управления особыми техно-природными комплексами.

«Природообустройство» включает мелиорацию земель различного назначения, восстановление (рекультивацию) нарушенных и загрязненных земель, природоохранное обустройство территорий, борьбу с природными стихиями.

Область профессиональной деятельности выпускников по направлению «Природообустройство и водопользование» – это область науки и техники, занимающаяся целенаправленным изменением свойств природных объектов с целью повышения их потребительской стоимости (полезности), эффективности использования водных и земельных ресурсов, устойчивости и экологической безопасности.

Объектами профессиональной деятельности специалистов по природообустройству являются: геосистемы различного ранга и их компоненты – почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, воздушные массы тропосферы, растительный и животный мир; природно-

техногенные комплексы – мелиоративные системы, инженерно-экологические системы, системы рекультивации земель, природоохранные комплексы, водохозяйственные системы, а также другие природно-техногенные комплексы, повышающие полезность компонентов природы.

Процесс развития теории природообустройства непрерывен, он строится на принципе прямых и обратных связей между производственной деятельностью по преобразованию природы, накоплению эмпирического опыта и теоретических обобщений. Существуют объективные причины появления этого понятия, вызванные необходимостью построения иерархии видов отношения человека и природы: природоведения, природопользования и природообустройства. В таком триединстве заключены все существенные отношения человека и природы. Одно из значений префикса «обу» по нормам русского языка – совершить всестороннее законченное действие над объектом, что подчеркивает суть и раскрывает смысл русского слова «природообустройство».

Захаров Р.Ю.

Кафедра «Водоснабжения, водоотведения и санитарной техники»

С 1 сентября 1990 года в КАПКС была открыта новая специальность "Водоснабжение и водоотведение", и произведен первый набор студентов по этой специальности. Фактически эта выпускающая кафедра была организована в 1992 году, когда студенты первого набора перешли на 3 курс. Кафедра получила название одноименное с названием общеизвестного научно-технического журнала "Водоснабжение и санитарная техника" (ВиСТ). Возглавил кафедру проректор по учебной работе Академии, отличник образования Украины, заслуженный работник образования Республики Крым, член-корреспондент Академии строительства Украины и Крымской Академии наук, кандидат технических наук, доцент Субботкин Леонид Давидович. Вместе с ним организацией учебного процесса занимались доцент Валкина Е.М., старшие преподаватели Резниченко Г.Г., Михина В.А. и Мартыненко Н.Ю. В дальнейшем кафедру усилили профессор Мукук К.В., доценты Сопов И.В. и Мякишев В.А.



**Первый заведующий кафедрой
Водоснабжение и санитарная техника
(1992 - 2008),
кандидат технических наук, доцент
Субботкин Леонид Давидович**

В 1995 году состоялся первый выпуск инженеров-строителей по специальности «Водоснабжение и водоотведение». Дальнейшее пополнение преподавательских кадров кафедры ВиСТ шло преимущественно за счет своих выпускников Богуцкий П.Л., Копачевский А.М., Гилева О.Н., Котовская Е.Е., Крымов Р.С., Черная М.Л., Степанцева Н.А., Денисова А.В., Юрченко О.В.

С момента организации кафедры, ведущие преподаватели занимались научно-исследовательской работой в области очистки природных и сточных вод, в первую очередь для ведущих промышленных предприятий Крыма. Эти предприятия в дальнейшем явились хорошей базой для прохождения производственных практик студентов, многие выпускники распределились на эти предприятия. Выпускниками кафедры в значительной мере пополнялись кадры проектных и научно-исследовательских институтов городов Республики Крым.

Кафедра ВиСТ явилась пионером применения мультимедийных технологий в учебном процессе. На кафедре были созданы 2 компьютерных класса, в которых студенты осваивали азы машинной графики, САПР, осуществляли расчет и проектирование систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий. Все курсовые проекты, выпускные квалификационные работы (дипломные проекты, бакалаврские и магистерские работы) выполняются только с применением мультимедийных технологий. В 2000 году кафедра провела Первый Международный симпозиум по применению мультимедийных технологий в учебном процессе по специальности Водоснабжение и водоотведение. Симпозиум проходил на базе Академии и всесоюзной здравницы Артек.

Наряду с двумя компьютерными классами на кафедре были созданы лаборатория гидравлики и гидротехнических сооружений, лаборатория химии и технологии воды, лаборатория санитарной техники и лекционная аудитория, с установленным мультимедийным оборудованием.

С 2008 года кафедрой руководит профессор, доктор наук Николенко Илья Викторович, академик Академии строительства Украины и Крымской академии наук, заместитель председателя комиссии по энергетике Люблинского отделения Польской Академии наук (ПАН), член международной ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики. С 2008 года название кафедры было изменено, и кафедра стала именоваться, как «**Водоснабжение, водоотведение и санитарной техники**» (ВВиСТ). Кафедра взяла курс на расширение международных научных связей, совершенствование материально-технической базы и усиление ее научного потенциала. На кафедру были приняты кандидаты наук, доценты Салиев Э.И., Бойчук С.Д., Штонда Ю.И., которые имели большой практический опыт работы на производстве в сфере водоснабжения и водоотведения.

С 2009 по 2013 кафедра совместно с Люблинским отделением ПАН проводит ежегодную международную конференцию «Энергия», которая посвящена проблемам энерго-сбережения в технике и технологиях, различных сфер деятельности, а также на кафедре формируются к изданию международные научно-технические сборники «MOTROL». За плодотворную международную научную деятельность Николенко И.В. в 2013 году был награжден почетной медалью Михала Очеповского Польской Академии Наук.



**Заведующий кафедрой
Водоснабжение, водоотведение и санитарной
техники
с 2008
доктор технических наук, профессор
Николенко Илья Викторович**

Для решения задач по повышению уровня теоретической и практической подготовки специалистов кафедра ВВиСТ Академии строительства и архитектуры (структурного подразделения) КФУ им. В.И. Вернадского разработала концепцию своего развития. В рамках этой концепции в 2014 году был открыт филиал кафедры на базе ГУП РК «Вода Крыма», который в 2015 году был преобразован в базовую кафедру, где студенты проходят ознакомительную, производственную и научно-исследовательскую практики.

Для решения задач по повышению эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения, а также практически ориентированной подготовки обучающихся на кафедре по Программе развития КФУ им. В.И. Вернадского в 2015 году был создан научно-образовательный центр (НОЦ) по акватронике на основе оборудования, учебных систем и компонентов фирмы «FESTO» - EDS® «Управление водными ресурсами» фирмы. НОЦ кафедры по водоподготовке и водоотведению получил название «Акватроник Фесто Центр» (АФЦ). Комплекс учебного оборудования НОЦ АФЦ предназначен для моделирования всего цикла водопользования системы водного хозяйства. Оборудование, которое установлено в НОЦ АФЦ содержит четыре основных системы: очистки воды; водоснабжения; транспортировки сточных вод и очистки сточных вод, которые могут работать автономно либо совместно.

НОЦ АФЦ содержит большой набор гидравлических, электронных компонентов, современное программное обеспечение, которые являются первыми в Российской Федерации, а также четвертыми в мире по уровню комплектации. Кроме традиционных средств автоматики комплекс содержит разнообразные средства измерения, компьютерного моделирования и управления. Оборудование НОЦ АФЦ в настоящее время активно внедряется в учебный процесс кафедры.

В 2015 году в компьютерных классах кафедры была внедрена геоинформационная система Zulu предназначенная для компьютерной разработки различных карт в географических проекциях или план-схемы, включая карты и схемы инженерных сетей систем водоснабжения, водоотведения, теплогазоснабжения, с поддержкой их топологии. Комплекс программ геоинформационной системы Zulu, позволяет работать с большим количеством растров, проводить совместный семантический и пространственный анализ графических и табличных данных, создавать различные тематические карты, осуществлять экспорт и импорт данных, что позволяет анализировать и моделировать на современном уровне системы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

По результатам участия в конкурсе по Программе развития КФУ им. В.И. Вернадского в 2016 готовятся к открытию современные высокотехнологические лаборатории по химии воды и лаборатории по очистке природных и сточных вод. Оборудование этих лабораторий будет обеспечивать проведение всех необходимых микробиологических исследований по стандартным методикам, обобщенных физико-химических и химических исследований, исследований на содержание солей тяжелых металлов в воде, определения хлорорганических соединений и содержания радиоактивных веществ в воде.

Подготовка обучающихся на кафедре проводится с использованием традиционных форм работы, таких как лекции, курсовое и дипломное проектирование, лабораторные и практические занятия. Кроме этого используется тестирование, контрольные мероприятия, деловые игры, решение творческих задач в

течение семестра и по завершении темы читаемой дисциплины. Обучающиеся на кафедре привлекаются к участию в олимпиадах по специальности, научно-исследовательской работе по выбранному направлению, начиная с третьего курса. Результаты контрольных мероприятий учитываются в итоговой оценке по дисциплине. В период обучения студенты проходят производственную и технологическую практику на промышленных предприятиях города и области. При кафедре открыта аспирантура и приняты на обучение аспиранты дневной и заочной формы обучения.

Научно-исследовательская деятельность преподавателей кафедры тесно связана с направлениями подготовки обучающихся по специальностям, а именно: разработка и интенсификация технологий очистки природных и сточных вод, и утилизации твердых отходов. Студенты имеют возможность заниматься научно-исследовательской работой после обучения на 1 курсе, принимать участие в ежегодных студенческих научно-технических конференциях, а также в региональных, Всероссийских и международных конференциях и симпозиумах; в региональных олимпиадах (конкурсах) по специальности; во Всесоюзных и международных конкурсах дипломных проектов и научно-исследовательских работ.

Кафедра осуществляет повышение квалификации и переподготовку специалистов на базе высшего образования по специальности "Водоснабжение и водоотведение" с присвоением квалификации инженер-строитель.

За время своего существования с 1992 г. кафедрой выпущено 580 бакалавров, 620 специалистов и 100 магистров. Большинство выпускников работают по специальности на предприятиях жилищно-коммунального, водного хозяйства, строительства, в проектных и научных организациях, в государственных и местных органах власти Республики Крым. Выпускники кафедры успешно работают по специальности на предприятиях и фирмах России, Белоруссии, Украины, США, Израиля, Германии, Японии, Чехии.

Выпускники кафедры в настоящее время являются основой руководящего звена, а также состава инженерно технических специалистов по водоснабжению Республики Крым, среди выпускников кафедры известные специалисты Сафонов С.А., Пастушенко А.В., Прохоров А.С., Ермаков В.Н., Таранов В.А., Скидан В.Ю., Канатаев Э.А., Кибек В.А., Станков В.А., Вербицкая Н.В. и многие другие.

Основными задачами кафедры на ближайшие годы являются расширение научных связей с ведущими научными школами России, совершенствование подготовки научных кадров высшей квалификации для усиления ее научного потенциала, а также развитие и совершенствование материально-технической базы в рамках программ развития Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

Субботкин Л.Д., Николенко И.В.

КАФЕДРА «ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ»

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции была образована 29.01.1997 г. в соответствии с решением Совета Министров № 01-27/126. Первым заведующим кафедрой стал академик Крымской академии наук, профессор, доктор технических наук Кемал Вейселевич Мукук, приложивший много сил для образования кафедры.



**Первый заведующий кафедрой,
(1997 - 2001),
академик Крымской академии наук, профессор,
доктор технических наук
Кемал Вейселевич Мукук**

В 1997 г. был сделан первый набор студентов на специальность «Теплогазоснабжение и вентиляция» (направление «Строительство»). В 2001 г. после ухода на пенсию К. В. Мукука кафедру возглавил профессор, кандидат технических наук Виктор Яковлевич Колесников. Под его руководством была проведена первая аккредитация специальности ТГВ на III уровень (специалист) и в 2002 г. прошел первый выпуск специалистов по данной специальности. В. Я. Колесников скоропостижно скончался в апреле 2006 г. Его имя присвоено лаборатории отопления.



**Заведующий кафедрой,
(2001 - 2006),
профессор, кандидат технических наук
Виктор Яковлевич Колесников**

В 2006 г. заведующим кафедрой ТГВ стал академик Крымской академии наук, лауреат премии Совета Министров СССР, профессор, доктор технических наук Борис Иосифович Боровский.



**Заведующий кафедрой,
(2006 - 2008),
академик Крымской академии наук, лауреат
премии Совета Министров СССР, профессор,
доктор технических наук
Борис Иосифович Боровский**

В 2006 - 2007 г.г. в порядке подготовки к аккредитации по инициативе руководства академии была проведена полномасштабная реконструкция первого и третьего этажей 4-го корпуса под учебно-лабораторную базу кафедры ТГВ с набором всех необходимых помещений. На втором этаже силами кафедры проведена реконструкция помещения, в котором располагается Информационный центр

инновационных технологий и кабинет подготовки магистров. Работы по реконструкции курировал старший преподаватель кафедры ТГВ Александр Васильевич Маркин.

После реконструкции на кафедре образованы предметные лаборатории: теплотехники, теплогенерирующих установок, отопления, газоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, автоматизации, вычислительной техники (компьютерный класс).

В 2007 г. специальность ТГВ была повторно аккредитована на III уровень (специалист) и лицензирована на IV уровень (магистр). После успешного прохождения выше указанных мероприятий профессор Б.И. Боровский по состоянию здоровья обратился к руководству Академии с просьбой о переводе его на должность профессора кафедры ТГВ.

В 2008 г. кафедру возглавил доктор технических наук, профессор, академик Крымской академии наук, Заслуженный деятель науки и техники республики Крым, Олег Николаевич Зайцев.



**Заведующий кафедрой,
с 2008 года,
академик Крымской академии наук, Заслуженный
деятель науки и техники республики Крым,
Олег Николаевич Зайцев**

В настоящее время кафедра ТГВ считается одной из самых активных кафедр в АСиА. Этому способствует наличие опытных и молодых перспективных сотрудников.

В настоящее время осуществляется подготовка бакалавров, магистров, аспирантов в области теплогазоснабжения и вентиляции.

На кафедре трудится 16 преподавателей, среди них 3 доктора наук, профессора, 9 – имеют ученые степени кандидатов наук и звания доцентов.

Главные направления научной работы кафедры – это оптимизация систем отопления, вентиляции, газоснабжения, энергосбережение при проектировании инженерных систем зданий и сооружений, совершенствование процессов в теплогенерирующих установках, а также оптимизация методов расчета и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха на промышленных и курортных объектах Крыма. Кафедра может проводить проектирование систем газоснабжения, теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, теплогенерирующих установок, энергетический аудит зданий.

На кафедре имеются оборудованные по последнему слову техники лаборатории: отопления, газоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, теплотехники, автоматизированного проектирования систем ТГВ. Студенты выполняют свои работы с использованием специализированных компьютерных программ.

Основные направления подготовки: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, теплоснабжение, газоснабжение, теплогенерирующие установки.

Темы курсового и дипломного проектирования приближены к реальному проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, теплоснабжения, газоснабжения, теплогенерирующих установок, в них решаются конкретные инженерные и научные задачи.

Широта и перспективность проводимых на кафедре исследований объясняется тесной связью с производством, отечественными и зарубежными фирмами-производителями теплотехнического оборудования для систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. В Информационном центре инновационных технологий и в лабораториях кафедры выставляются информация и образцы новейшего оборудования ведущих фирм в области теплогазоснабжения и вентиляции: «Данфосс», «Герц», «Виссманн», «Будерос», «Вега», «Интеркондиционер» и других. Специалистами вышеперечисленных фирм регулярно проводятся семинары для студентов и сотрудников компаний, использующих данное оборудование. Передовые технологии указанных фирм преподавателями кафедры внедряются в учебный процесс.

Кафедра ТГВ, занимается внедрением энергосберегающих технологий для производственных и учебных целей. В учебном корпусе, где расположена кафедра, действует тепловой пункт, оборудование для модернизации которого предоставлено фирмой «Данфосс», а для современной системы водяного отопления с переменным гидравлическим режимом — фирмами «HERZ GmbH» и «VOGEL&NOOT». В сентябре 2012

года начала работать гелиоустановки немецкой фирмы «BUDERUS» и фирмы «BAXI». С сентября 2013 года работает тепловой насос фирмы «HERZ GmbH». Все комплектующие были предоставлены — в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве.

Данное оборудование дает 25...30% экономии тепловой энергии для отопления учебного корпуса.



Тепловой пункт, используемый для лабораторных работ в учебном процессе.



Бак-аккумулятор коллектор и фрагмент системы отопления после реконструкции



Солнечный коллектор, система передачи данных о количестве тепла от нагревательного прибора и лабораторный стенд по гидравлике регулируемых систем отопления

За время своего существования с 1997 г. кафедрой выпущено более 2000 бакалавров, 1700 специалистов и 150 магистров. Большинство выпускников работают по специальности на предприятиях жилищно-коммунального, теплоэнергетического сектора, в строительстве, проектных и научных организациях, государственных и местных органах власти Республики Крым. Выпускники кафедры успешно работают по специальности на предприятиях и фирмах России, Белоруссии, Украины, США, Израиля, Германии, Японии, Чехии, Польши, Ливана и других стран.



Бак-аккумулятор гелиосистемы и жаротрубный котел.

Выпускники кафедры в настоящее время являются основой руководящего звена, а также состава инженерно технических специалистов по теплогазоснабжению и вентиляции Республики Крым, среди выпускников кафедры известные специалисты Дихтярь Т.В., Шевченко А.И., Топорен С.С., Лапина Е.А., Кимаковский И.К. и многие другие.

Основными задачами кафедра на ближайшие годы являются расширение научных связей с ведущими научными школами России, совершенствование подготовки научных кадров высшей квалификации для усиления ее научного потенциала, а также развитие и совершенствование материально-технической базы в рамках программ развития Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского.

Зайцев О.Н., Боровский Б.И., Сопов И.В.

Инженерное обеспечение

УДК 628.35:661.635

ИСТОЧНИКИ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРА В СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ НА ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИИ, И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Амбросова Г.Т., Матюшенко Е.Н., Функ А.А., Синеева Н.В.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

Адрес: 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д.113,

E-mail: ematyushenko1991@mail.ru

Аннотация. Поступающая на очистные сооружения канализации (ОСК) сточная жидкость, имеет несколько источников насыщения фосфором: стоки от жилой застройки и промышленных предприятий, иловая вода уплотнителей избыточного активного ила или иловая вода уплотнителей совместного сгущения сырого осадка и избыточного активного ила, иловая вода уплотнителей промытого осадка в схемах с метантенками и вакуум-фильтрами, а также иловая вода иловых площадок, фугат центрифуг и фильтрат фильтр-прессов. Перечисляются достоинства и недостатки известных способов удаления фосфора. Дается сравнительная оценка реагентов, применяемых для удаления фосфора, указываются необходимые условия для успешного протекания процесса кристаллизации. Анализируются экспериментальные данные с точки зрения возможного их применения на функционирующих ОСК.

Ключевые слова: сточная жидкость; очистные сооружения канализации; фосфор; фосфаты; реагенты.

Существующая проблема

С начала 1960-х до середины 1980-х годов считалось, что исключить загрязнение водоёмов можно при сбросе в них сточной жидкости, освобождённой от нерастворимых и растворимых органических загрязнений. Предполагалось, что достаточно удалить из сточной жидкости взвешенные вещества и снизить БПК, загрязнение водоёмов будет исключено, а их цветение будет невозможным.

Опасность цветения водоёмов состоит в насыщении природной воды канцерогенными веществами, выделяющимися в окружающую среду в процессе жизнедеятельности некоторых сине-зелёных водорослей (*Anabaena*, *Oscillatoria*) и диатомовых водорослей (*Asterionella*, *Synedra*, *Melosira*) [1]. В результате природная вода становится непригодной для питьевых целей, так как при длительном употреблении такой воды у человека развивается цирроз печени или нарушается работа центральной нервной системы. Интенсивное развитие водорослей со временем нарушает и условия обитания флоры и фауны водоёмов, так как к концу вегетационного периода они осаждаются на дно водоёма, загнивают и обогащают природную воду продуктами анаэробного разложения органических веществ. Ухудшаются органолептические и физико-химические показатели природной воды, нарушается кислородный баланс водоёма, снижается эстетический вид.

К концу 1970-х годов в Советском Союзе практически все населённые пункты городского типа обладали комплексами, предусматривающими полную биологическую очистку смеси бытовых и производственных стоков. Однако водные объекты продолжали «цвести». Впоследствии

многочисленные исследования учёных показали, что «цветение» водоёмов вызвано присутствием в сбрасываемых стоках биогенных элементов (азота, фосфора и серы).

Первоначально решить проблему эвтрофирования водоёмов предполагалось путём удаления из сточной жидкости только одного биогенного элемента – азота, применив нитрификацию и денитрификацию. Удаление только одного биогенного элемента на действующих ОСК намного проще технически и экономически. Однако в результате проведения многочисленных отечественных и зарубежных исследований был установлен факт преобладающего воздействия на эвтрофирование водоёмов фосфора. Цветение водоёма возможно даже при очень низких значениях фосфора (более 0,2 мг/л).

На сегодня существует три принципиально отличных метода удаления фосфора из сточной жидкости: биологический, физико-химический и комбинированный. Безусловно, из перечисленных способов самым привлекательным является биологический, однако его крайне сложно организовать в производственных условиях, особенно при совмещении с процессом нитрификации и денитрификации.

Физико-химические методы предполагают связывание фосфора в трудно растворимую соль ортофосфорной кислоты путём ввода в сточную жидкость химических реагентов. Самыми распространёнными реагентами при физико-химическом методе являются соли алюминия, железа, магния, а также известь. Этот метод позволяет снизить фосфор вплоть до нуля, при любых исходных значениях фосфора. Реагентные методы удаления фосфора были основательно

изучены в нашей стране в конце 1960-х и начале 1970-х годов [2]. Однако существует ряд существенных недостатков, основным из которых является образование больших объёмов осадка, содержащего ионы железа или алюминия и относящегося к химическим осадкам, подлежащим размещению на специальных полигонах.

Комбинированные методы предполагают сочетание биологических и физико-химических методов. К сожалению, данный метод имеет один существенный недостаток, заключающийся в дополнительном строительстве сооружений, что значительно увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты.

Цель исследований. Определение мест дефосфатирования сточной жидкости

Цель настоящих исследований состоит в изучении мест интенсивного обогащения сточной жидкости фосфором на функционирующих ОСК, разработке простых и эффективных способов его снижения. Авторами настоящей статьи проведен сравнительный анализ методов удаления фосфора и предложен метод удаления фосфора совместно с сульфатами [3, 4].

На сегодня в Российской Федерации ОСК, возведенные по типовым проектам 1960-70-х годов работают по устаревшим технологиям. В данных проектах были включены узлы, являющиеся местом интенсивного дефосфатирования, т.е. обогащения сточной жидкости фосфором: первичные отстойники с подачей в них избыточного активного ила для его уплотнения, преаэраторы в сочетании с первичными отстойниками, регенераторы аэротенков, работающих при низкой нагрузке по органическим загрязнениям, илоуплотнители избыточного активного ила, уплотнители, сгустители или накопители сырого осадка и избыточного активного ила, метантенки, аэробные стабилизаторы, иловые площадки с системой отвода дренажной воды, центрифуги и фильтр-прессы. Ниже приводятся конкретные примеры технологических схем и фактические значения фосфора в иловых или дренажных водах, в фугате или фильтрате. На рис. 1 представлена технологическая схема ОСК г. Искитим (Новосибирский район).

На данном объекте первичным местом дефосфатирования считаются преаэраторы, в которые подаётся весь избыточный активный ил. В 60-ые годы прошлого столетия преаэраторы применялись исключительно для повышения качества осветлённой сточной жидкости, т.е. для снижения концентрации органических загрязнений, поступающих в аэротенки. Такая технология не только сокращала размеры аэротенков, но и

уменьшала затраты на электроэнергию, расходуемую на подачу воздуха в аэротенки.

В первичных отстойниках процесс дефосфатирования получает дальнейшее развитие, т.к. активный ил и сырой осадок находятся в контакте в анаэробных условиях в течение 8 часов (в радиальных) или 24 часов (в вертикальных). Наиболее интенсивно процесс дефосфатирования протекает в тёплый период года. По данным эксплуатации за счёт дефосфатирования концентрация фосфатов после первичных отстойников увеличивается примерно на 1–2,5 мг/л.

Другим местом дефосфатирования на данном объекте является регенератор аэротенка. На этой стадии дефосфатирование происходит из-за низкой фактической нагрузки на активный ил по органическим загрязнениям, способствующей самоокислению активного ила; при этом сточная жидкость обогащается фосфатами на 0,2–0,5 мг/л.

Следующим местом дефосфатирования являются метантенки, в которых в результате распада органических веществ иловая вода сброженного осадка насыщается фосфором. Его концентрация может увеличиваться до 40–50 мг/л (по фосфору) в зависимости от глубины распада органических веществ. Ориентировочно за счёт сброса фугата или фильтрата, образующихся при обезвоживании анаэробно сброженного осадка и сбрасываемых в голову сооружений, концентрация фосфатов в поступающей на очистку сточной жидкости может увеличиваться примерно на 1–1,5 мг/л.

На Новосибирской станции аэрации существует несколько мест обогащения иловой воды фосфатами: уплотнители избыточного активного ила, метантенки, уплотнители промывного осадка, центрифуги, фильтр-прессы и иловые площадки.

На этом объекте избыточный активный ил уплотняется в радиальных илоуплотнителях в течение 13–16 часов в зависимости от времени года. Особенно высока степень обогащения иловой воды фосфатами в тёплый период, когда загружаемый активный ил очень быстро погружается в анаэробные условия, в результате чего и происходит дефосфатирование. Согласно производственным данным концентрация фосфора в иловой воде после уплотнителей возрастает с 4–6 мг/л до 20–25 мг/л (по Р).

В метантенках иловая вода сброженного осадка обогащается фосфором в основном за счёт распада органических веществ и макро- и микронуклеусов. Как уже отмечалось при описании ОСК г. Искитим, иловая вода сброженного осадка имеет концентрацию фосфора примерно 30–40 мг/л (по Р).

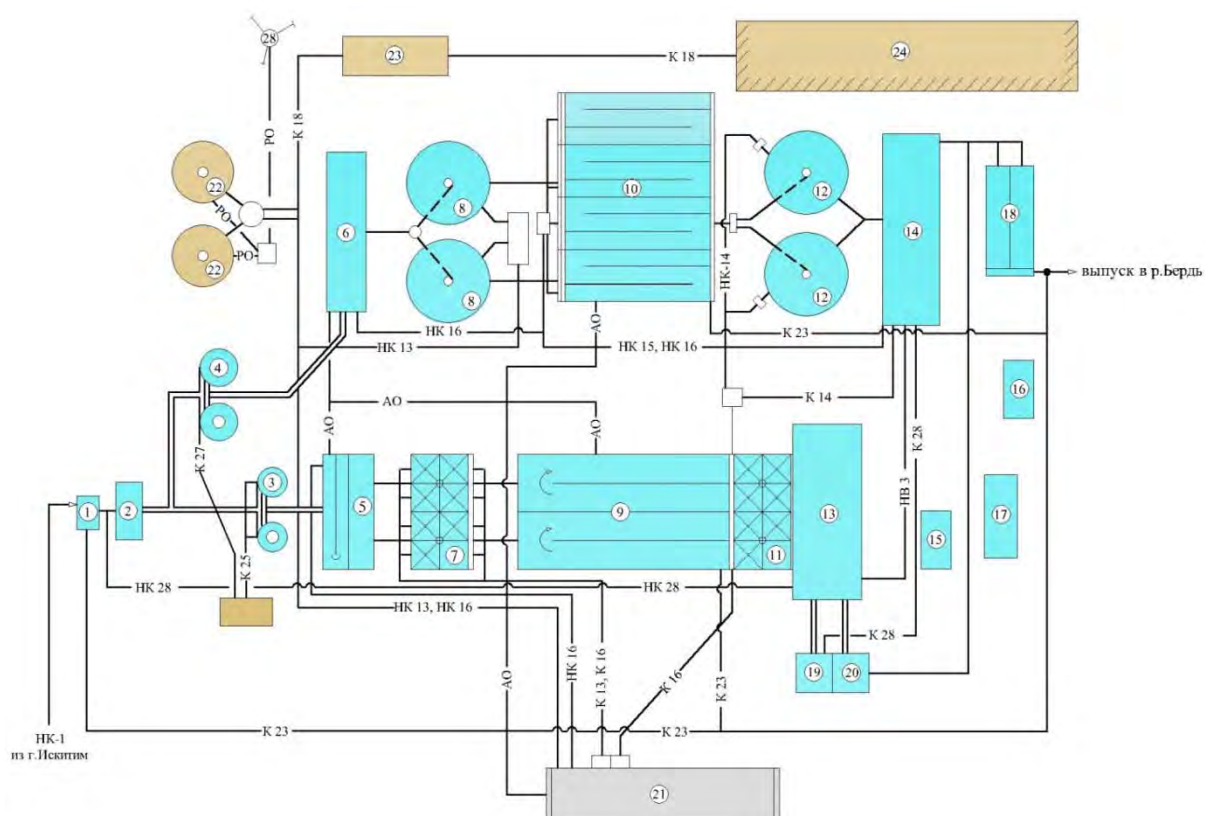


Рис. 1 – Технологическая схема очистных сооружений канализации г. Искитим

1 – камера гашения напора; 2 – здание комминаторов; 3 – песколовки горизонтальные с круговым движением воды (I очередь); 4 – песколовки горизонтальные с круговым движением воды (II очередь); 5 – преаэратор (I очередь); 6 – преаэратор (II очередь); 7 – первичный вертикальный отстойник

(I очередь); 8 – первичный радиальный отстойник (II очередь); 9 – аэротенки двухкоридорные (I очередь); 10 – аэротенки трёхкоридорные (II очередь); 11 – вторичные вертикальные отстойники (I очередь); 12 – вторичные радиальные отстойники (II очередь); 13 – фильтры щебёночные (I очередь); 14 – фильтры песчаные (II очередь); 15 – хлораторная (I очередь); 16 – хлораторная (II очередь); 17 – контактный резервуар (I очередь); 18 – контактный резервуар (II очередь); 19 – резервуар грязной воды; 20 – резервуар чистой воды; 21 – воздушная станция; 22 – метантенки; 23 – цех механического обезвоживания осадка; 24 – иловые площадки на естественном основании без дренажа; НК 1 – напорный трубопровод сточной жидкости от 2 НС; НВ 3 – напорный трубопровод технической воды на промывку барабанной сетки и песчаных фильтров; К 13 – К 16 – самотечный трубопровод смеси сырого осадка и избыточного активного ила I очереди; НК 13 – НК 16 – напорный трубопровод смеси сырого осадка и избыточного активного ила I очереди; К 14 – самотечный трубопровод активного ила; НК 14 – напорный трубопровод циркулирующего и избыточного активного ила; НК 15 – напорный трубопровод циркулирующего активного ила; НК 16 – напорный трубопровод избыточного активного ила (II очередь); К 16 – самотечный трубопровод избыточного активного ила (I очередь); К 18 – самотечный трубопровод сброженного осадка; К 23 – аварийный трубопровод; К 25 – пульпопровод; К 27 – самотечный трубопровод иловой воды из бункеров песка; К 28 – самотечный трубопровод грязной воды от песчаных фильтров (II очередь); НК 28 – напорный трубопровод грязной промывной воды; РО – газопровод; АО – воздуховод

Согласно проектной схеме на ОСК г. Новосибирска для обезвоживания осадка были приняты вакуум-фильтры, которые через несколько лет их эксплуатации были заменены на центрифуги и фильтр-прессы. В настоящее время центрифуги используются для обезвоживания уплотнённого избыточного ила, а фильтр-прессы для смеси сырого осадка и уплотнённого избыточного ила. В проектной схеме в состав узла механического обезвоживания осадка входили резервуар для промывки анаэробно сброженного осадка и

уплотнители для сгущения промытого осадка перед его подачей на вакуум-фильтры. Из-за принципиально изменённой технологии обезвоживания осадка уплотнители промытого осадка начали использовать в качестве сооружений для совместного уплотнения сырого осадка и избыточного ила перед его подачей на фильтр-прессы. Продолжительность нахождения смеси в анаэробных условиях превышает 24 часа. Именно это сооружение является местом интенсивного обогащения иловой воды фосфором. Согласно

производственным данным при концентрации фосфора в избыточном активном иле 2–3 мг/л, а в сыром осадке 10–20 мг/л, в иловой воде после уплотнителей его концентрация возрастает до 30–50 мг/л (по Р).

На ОСК г. Новосибирска иловые площадки были запроектированы на круглогодичный приём сброженного осадка, их общая площадь превышает 140 га. На сегодня часть карт заполнена осадком влажностью 75–80%, часть осадком влажностью более 80%, а часть используется в аварийных случаях, принимая осадок при вынужденной остановке цеха механического обезвоживания осадка. Иловые площадки заполнены осадком более чем на 95%; имеют асфальтобетонное основание, оборудованы системами отвода поверхностной и дренажной воды. Согласно данным лабораторно-производственного контроля смесь иловой и дренажной воды, поступающая в голову сооружений, содержит фосфор в количестве 25–35 мг/л (по Р).

Центрифугирование, как и фильтр-прессование, является причиной обогащения фугата и фильтрата фосфором. В первом случае это происходит за счёт действия центробежной силы, способствующей при высокой скорости вращения ротора (2500–3500 об/мин) высвобождать фосфор из клеток активного ила. При фильтр-прессовании с рабочим давлением сжатия 4–6 атм обогащение фильтрата фосфором происходит за счёт механического разрушения частиц осадка. Как уже отмечалось, на данном объекте центрифугированию подвергается уплотненный избыточный активный ил, а фильтр-прессованию сырой осадок или предварительно уплотненная смесь сырого осадка и избыточного активного ила. Фактически концентрация фосфор в фугате составляет 40–70 мг/л, а в фильтрате 50–70 мг/л. Таким образом, с учётом иловых и дренажных вод, фугата и фильтрата концентрация фосфора на входе Новосибирской станции аэрации увеличивается примерно на 1–2 мг/л и составляет 4–6 мг/л (по Р).

На ОСК г. Якутск местом дефосфатирования является анаэробная зона биореактора, в которой иловая смесь в зависимости от времени суток находится примерно 1–4 часа. На этом объекте для биологической очистки принято два семизонных биореактора, каждый состоящий из двух анаэробных, трёх бескислородных (денитрификатор) и двух аэробных (нитрификатор) зон. В анаэробных и бескислородных зонах сточная жидкость обогащается фосфором на 2–3 мг/л.

Следующим местом дефосфатирования на этом объекте является резервуар-накопитель сырого осадка и избыточного активного ила, предусмотренный для равномерной подачи осадка в барабанные гравитационные сгустители, работающие с флокулянт. Согласно данным эксплуатации фосфор в фильтрате после барабанных сгустителей составляет 30–60 мг/л в зависимости от

времени года и продолжительности нахождения смеси в накопителе. В летний период при повышении температуры смеси осадка процессы дефосфатирования интенсифицируются.

Значительная доля фосфатов поступает в голову сооружений от фильтр-прессов, обезвоживающих анаэробно сброженный осадок. Согласно данным эксплуатации в фильтрате содержание фосфора составляет 55–85 мг/л.

В 2013 году на ОСК г. Якутска в эксплуатацию введён резервуар-усреднитель, принимающий в основном стоки выгребных ям. На сегодня это сооружение является местом максимального обогащения сточной жидкости фосфором, его концентрация может возрастать в зависимости от качества содержимого выгребных ям до 60–120 мг/л. При этом доля стоков из выгребных ям составляет 1–2 % по отношению к общему количеству сточной жидкости, поступающей на ОСК.

Процесс дефосфотирования возможен даже на стадии доочистки сточной жидкости. Это происходит при некачественной промывке фильтров. Активный ил, накапливающийся в фильтрующей загрузке, подвергается дефосфатированию и увеличивает концентрацию фосфора на 0,5–2,5 мг/л. При этом степень дефосфатирования зависит не только от количества накопившихся частиц ила, но и времени их нахождения в загрузке.

На сооружениях биологической очистки часть фосфора расходуется на синтез биомассы, причём абсолютные значения расходуемого фосфора зависят от прироста избыточного активного ила. Так, например, при приросте активного ила 100–1500 мг/л фосфор на стадии биологической очистки может снижаться примерно на 0,7–10 мг/л.

Эффективность удаления фосфора реагентами

В настоящей работе дан краткий анализ применяемым реагентам с указанием их достоинств и недостатков, а также приведены результаты исследований, на основании которых разработаны методы удаления фосфора, позволяющие использовать полученный осадок в качестве органоминерального удобрения.

На сегодня в отечественной и зарубежной практики очистки сточной жидкости для удаления фосфора используются следующие виды реагентов: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, оксихлорид алюминия (ОХА), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaO . Наиболее часто в отечественной практике используют нормальные и основные сульфаты и хлориды алюминия, а также соли железа: сульфат железа (II) и хлорид железа (III).

Влияние дозы вводимого реагента на эффект удаления фосфора, а также предельно-допустимая концентрация ионов вводимого реагента приведены в таблице 1.

Интенсивность процессов, протекающих при введении реагента в сточную жидкость, зависят от многих факторов: температуры и pH среды, концентрации реагирующих веществ, интенсивности перемешивания и наличия пузырьков воздуха, продолжительности контакта сточной

жидкости с реагентом и присутствия веществ, ускоряющих или затормаживающих процесс кристаллизации. Кристаллизация протекает только в пересыщенных растворах, а их можно создать концентрацией реагирующих веществ, pH и температурой.

Таблица 1
Влияние соотношения вводимого реагента на эффект удаления фосфора [2, 6]

№ п/п	Ион металла	Доза вводимого реагента $Me^+:P$	Эффект удаления фосфора, %	Допустимая остаточная концентрация Me^+ в очищенных стоках при сбросе в водоём рыб.-хоз. /ком.-быт. назначения, мг/л
1.	Al^{3+}	1:1	75	0,04/0,2
		1,5:1	85	
		2:1	95	
2.	Fe^{3+}	1:1	75	0,1/0,3
		1,25:1	85	
		5:1	95	
3.	Ca^{2+}	71,5:1	60	180/ –
		143:1	75	
		214,5:1	99,5–99, 7	
		286:1	около 100	
4.	Mg^{2+}	2:1	75	40/50
		5:1	85	
		6:1	95	
		10:1	около 100	

Примечание. В таблице активная часть реагента сокращенно обозначена как Me^+ .

Для солей железа и алюминия благоприятны низкие значения pH, кристаллы ортофосфорной кислоты образуются при pH от 4 до 5,5, хотя возможно образование этих кристаллов при более высоких значениях. Для солей щелочноземельных металлов (кальций и магний) благоприятно увеличение pH до 10,5–11 [5]. При pH более 11 происходит растворение ранее образовавшихся кристаллов осадка.

Для большинства кристаллизующихся веществ наиболее благоприятна низкая температура. Кристаллизация некоторых веществ (например, солей кальция и магния $CaCO_3$ и $MgCO_3$) начинается при температуре 100°C.

Основным условием успешного протекания процесса кристаллизации является интенсивное перемешивание с наличием большего количества пузырьков газа. Способ перемешивания также является важным фактором, влияющим на процесс кристаллизации, т.к. при перемешивании увеличивается количество соударений реагирующих веществ, что интенсифицирует процессы зарождения и роста кристаллов.

Присутствие в растворе некоторых веществ ускоряет или затормаживает процесс кристаллизации. Например, высокая концентрация хлоридов ускоряет образование многих кристаллов.

Механизм процесса удаления фосфора состоит в химическом взаимодействии вводимых ионов алюминия, железа, кальция или магния со свободными ион-фосфатами (PO_4^{3-}), присутствующими в сточной жидкости, с образованием

труднорастворимых солей ортофосфорной кислоты $AlPO_4$, $FePO_4$, $Ca_5OH(PO_4)_3$, $MgNH_4PO_4$, $CaNH_4PO_4$.

В задачи настоящих исследований входило изучение влияния дозы вводимых реагентов на эффект удаления фосфора при разных значениях pH. Опыты проведены на натуральной сточной жидкости ОСК г. Новосибирск и г. Искитим с концентрацией фосфора от 2 до 28,5 мг/л (по Р). Средняя температура и pH сточной жидкости в период проведения опытов составляли соответственно 15,5–21°C и 7,1–7,4 единицы, ХПК 90–260 мг/л, концентрация азота аммонийного 8,6–42 мг/л, нитритов 0,04–0,23 мг/л, нитратов 0,4–4,8 мг/л, хлориды 10–100 мг/л, сульфаты 22–52 мг/л, общая жесткость (13,2–17,1 °dH). Азот всех форм приведён в пересчёте на N.

Во всех опытах, после введения реагента пробы перемешивались в течение 20 минут на перемешивающем устройстве ПЭ–6500 при 350 колебаний в минуту, фильтровались через фильтр «синяя» лента. После перемешивания замерялась температура и pH сточной жидкости. Затем в профильтрованной пробе определялась остаточная концентрация фосфора. В таблице 2 представлены результаты исследований с хлорным железом при различных значениях активной реакции среды и дозы вводимого реагента. Исследования показали, что в области рекомендуемых значений pH 4–8 и дозе вводимого реагента [2] обеспечивается удаление фосфора лишь на 53,2–77,8%. Увеличение значений pH до 9,5–10,5 повышает эффект извлечения фосфора до 92,8–97,2%.

В таблице 3 представлены результаты различных значениях активной реакции среды и исследований с оксихлоридом алюминия при дозе вводимого реагента.

Таблица 2

Эффект удаления фосфора хлорным железом при разных значениях pH и дозах вводимого реагента

Изучаемый диапазон pH	Соотношение по массе P:Fe ³⁺		
	1:0,8	1:1,3	1:1,8
4	C _p =14,10 мг/л Э _p =19,9%	C _p =15,40 мг/л Э _p =12,5%	C _p =13,80 мг/л Э _p =21,6%
5	C _p =12,40 мг/л Э _p =29,5%	C _p =13,70 мг/л Э _p =22,2%	C _p =12,80 мг/л Э _p =27,3%
6	C _p =11,10 мг/л Э _p =36,9%	C _p =7,97 мг/л Э _p =54,7%	C _p =6,96 мг/л Э _p =60,5%
7	C _p =9,10 мг/л Э _p =48,3%	C _p =6,87 мг/л Э _p =61%	C _p =3,99 мг/л Э _p =77,3%
8	C _p =8,24 мг/л Э _p =53,2%	C _p =6,22 мг/л Э _p =64,7%	C _p =3,94 мг/л Э _p =77,6%
9,5	C _p =2,71 мг/л Э _p =84,6%	C _p =1,56 мг/л Э _p =91,1%	C _p =1,27 мг/л Э _p =92,8%
10,5	C _p =1,27 мг/л Э _p =92,8%	C _p =0,587 мг/л Э _p =96,7%	C _p =0,489 мг/л Э _p =97,2%

Таблица 3

Эффект удаления фосфора ОХА при разных значениях pH и дозах вводимого реагента

Изучаемый диапазон pH	Соотношение по массе P:Al ³⁺		
	1:1	1:2	1:4
5	C _p =5,48 мг/л Э _p =14,2%	C _p =5,48 мг/л Э _p =14,2%	C _p =4,68 мг/л Э _p =26,8%
6	C _p =4,68 мг/л Э _p =26,8%	C _p =4,02 мг/л Э _p =37,1%	C _p =2,87 мг/л Э _p =55,1%
7	C _p =3,64 мг/л Э _p =43%	C _p =3,35 мг/л Э _p =47,6%	C _p =2,22 мг/л Э _p =65,3%
8	C _p =3,5 мг/л Э _p =45,3%	C _p =2,76 мг/л Э _p =56,8%	C _p =1,6 мг/л Э _p =74,9%
9	C _p =2,1 мг/л Э _p =67,1%	C _p =2,06 мг/л Э _p =67,8%	C _p =1,24 мг/л Э _p =80,6%

Как видно из таблицы 3 даже при превышении реагента по массе в 4 раза максимальный эффект составил 80,6 % при значении pH 9, что находится в противоречии с данными, согласно которым оптимальный эффект достигается при pH 4–5,5 и соотношении по массе P:Al³⁺=1:2 [2]. При этом как отмечается в [5] величина pH растворения гидроксида алюминия находится в пределах 7,8–10.

В таблице 4 показаны результаты исследований с хлоридом магния, который вводился из расчёта по массе P:Mg²⁺ (1:1,3; 1:3; 1:6). Исследования выявили, что при использовании MgCl₂·6H₂O можно достичь значения, близкого к 0,2 мг/л, при pH=11 и дозе вводимого реагента, начиная с соотношения P:Mg²⁺=1:1,3.

В таблице 5 представлены результаты исследований с сульфатом магния, который вводился из расчёта по массе P:Mg:NH₄⁺ (1:2:2; 1:5:5; 1:10:10).

В результате химического взаимодействия сернокислого магния и свободных ион-фосфатов образовывалась в присутствии ионов аммония трудно растворимая соль ортофосфорной кислоты

MgNH₄PO₄·6H₂O. Это подтверждено микроскопией и рентгенофазовым анализом образовавшегося кристаллического осадка. При использовании реагента MgSO₄·7H₂O достигается высокий эффект (97,1–99,1%) удаления ион-фосфатов при избыточном количестве в сточной жидкости ионов магния и аммония и высоких значениях. Оптимальным вариантом является соотношение P:Mg:NH₄=1:2:2, в котором остаточная концентрация фосфора соответствует ПДК (0,2 мг/л).

В таблице 6 представлены результаты исследований с известью. Таким образом, при использовании извести можно достичь 100 % удаления фосфора при pH раствора 10,5–11, при этом образующийся осадок можно использовать в качестве низкосортного органоминерального удобрения.

Хлорное железо, ОХА, сернокислый магний и хлорид магния, а также известь могут обеспечить снижение фосфора в сточной жидкости до ПДК (0,2 мг/л) при соответствующей дозе вводимого реагента. Осадок, содержащий ионы железа и алюминия, необходимо размещать на специализированных полигонах.

Таблица 4

Эффект удаления фосфора хлоридом магния при разных значениях pH и дозах вводимого реагента

Изучаемый диапазон pH	Соотношение по массе P: Mg ²⁺		
	1:1,3	1:3	1:6
9	C _p =1,44 мг/л Э _p =28%	C _p =1,35 мг/л Э _p =32,5 %	C _p =1,35 мг/л Э _p =32,5 %
9,5	C _p =1,2 мг/л Э _p =40 %	C _p =1,196 мг/л Э _p =40,2 %	C _p =1,137 мг/л Э _p =43,11 %
10	C _p =0,6 мг/л Э _p =70 %	C _p =0,639 мг/л Э _p =68,05 %	C _p =0,689 мг/л Э _p =65,546 %
10,5	C _p =0,709 мг/л Э _p =64,6 %	C _p =0,842 мг/л Э _p =57,9 %	C _p =0,542 мг/л Э _p =72,9 %
11	C _p =0,23 мг/л Э _p =88,5 %	C _p =0,23 мг/л Э _p =88,4 %	C _p =0,14 мг/л Э _p =92,8 %

Таблица 5

Эффект удаления фосфора сульфатом магния при разных значениях pH и дозах вводимого реагента

Изучаемый диапазон pH	Соотношение по массе P: Mg ²⁺		
	1:2:2	1:5:5	1:10:10
10	C _p = 0,088 мг/л Э _p = 99,1 %	–	–
10,5	–	C _p = 0,121 мг/л Э _p = 98,8 %	–
11	–	–	C _p = 0,3 мг/л Э _p = 97,1 %

Таблица 6

Эффект удаления фосфора известью

Номер пробы	Значение показателя при pH 10,5–11		
	C _p _{исх}	C _p _{кон}	Э _p , %
1	10	0 – 0,027	99,7 – 100
2	100	0,067 – 0,16	99,8 – 99,9

Выводы

В настоящее время в результате применения на стадии биологической очистки или доочистки стоков железо- или алюминий содержащих реагентов образуется химический осадок, который необходимо размещать на специальных полигонах, удаленных на значительном расстоянии от очистных сооружений канализации. В результате эксплуатационные затраты увеличиваются не только за счёт приобретения реагентов для осаждения фосфатов и транспортировки химического осадка к месту размещения, но и за счёт его размещение на полигоне.

С целью сокращения эксплуатационных затрат и использования химического осадка в качестве органоминерального удобрения рекомендуется для осаждения фосфатов применять реагенты щелочноземельных металлов.

Список литературы

1. Ивчатов А.Л., Малов В.И. Химия воды и микробиология: учебник. – А.Л. Ивчатов, В.И. Малов. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 218 с.

2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика; под ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 638 с.

3. Амбросова Г.Т. Сравнительная оценка применяемых методов удаления фосфора из сточной жидкости / Г.Т. Амбросова, А.А. Функ, С.Д. Иванова, Ш. Ганзориг // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016, №2. – С. 25–36.

4. Пат. 2593877 Российская Федерация, МПК С 02 F 9/04, С 02 F 1/58, С 02 F 101/10, С 02 F 103/28, С 02 F 103/32. Способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов / Г.Т Амбросова, Е.Н. Матюшенко, К.П. Гавриленко, М.Ю. Немшилова, К.А. Разгоняева; заявитель и патентообладатель НГАСУ (Сибстрин). – № 2014144829/05; заявл. 05.11.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. – 9 с.

5. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2011. – 198 с.

6. Предельно-допустимые концентрации веществ в водных объектах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/water/pdk/>.

Ambrosova G. T., Matyushenko E. N., Funk A. A., Sineeva N. V.

SOURCES OF PHOSPHORUS CONCENTRATION INCREASE IN WASTEWATER INCOMING TO WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND METHODS OF ITS REMOVAL

Summary. Wastewater incoming to a wastewater treatment plant (WWTP) has several sources of phosphorus saturation: wastewater from housing estate and industrial enterprise, sludge water of excessive activated sludge compactors, sludge water seals the joint condensation of raw sludge and excess activated sludge or sludge water of sludge dewatering basin of combined thickening raw sludge and excessive activated sludge, sludge water of sludge dewatering basin of washed sludge in schemes with sludge digesters and vacuum filters, as well as sludge water of sludge beds, centrifuge effluent of centrifuges and filtrate of filter presses. Advantages and disadvantages of known methods of phosphorus removal are listed. Comparative evaluation of reagents used for phosphorus removal is made and necessary conditions for a successful crystallization process are shown. Experimental data are analyzed from the point of view of their possible application at functioning WWTPs.

Key words: wastewater; wastewater treatment plant; phosphorus; phosphates; reagents.

УДК 62-681

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ БЫТОВЫХ КОТЛОВ

Ангелюк И.П.

ГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: iliya.angeluck@gmail.com

Аннотация: В статье приводится описание возможности утилизации теплоты дымовых газов бытовых котлов, объединенных коллективным дымоходом. Приводится описание европейской нормы по расчету коллективных дымоходов. Описывается теплоутилизационная установка, результаты расчетов коллективного дымохода. Приводится расчет возможного количества теплоты утилизации.

Ключевые слова: коллективный дымоход, теплоутилизационная установка, дымовые газы, теплота, аэродинамическое сопротивление.

Введение

Жилищно-коммунальное хозяйство является одним из наибольших потребителей энергоресурсов страны, и вопросы энергосбережения в этой сфере являются актуальными. При современном многоэтажном жилищном строительстве для отопления квартир все большую популярность приобретает децентрализованная схема теплоснабжения за счет индивидуальных котлов, устанавливаемых в каждой квартире. Такая схема весьма эффективна и с точки зрения транспортировки теплоносителя, и с точки зрения эффективности сжигания газа. Однако, вопрос утилизации теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов, имеющих значительную температуру, недостаточно изучен.

Анализ публикаций

Реализация децентрализованной схемы теплоснабжения за счет индивидуальных котлов, устанавливаемых в каждой квартире, согласно [1], возможен только с применением коллективного дымохода, собирающего дымовые газы от котлов, расположенных по одному стояку подъезда жилого дома. Коллективный дымоход собирает весь объем дымовых газов, имеющих значительную температуру (90 – 140°C) и выбрасывает их в атмосферу. В современных источниках имеется множество публикаций по увеличению энергосберегающего эффекта за счет применения экономайзеров, водоподогревателей и подобных устройств для промышленных котельных, работающих на различном виде топлива, однако не описана возможность утилизации теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов.

Цель и постановка задачи

Целью статьи является описание возможности утилизации теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов. Задача состоит в выявлении возможных сложностей при утилизации теплоты дымовых газов и вычислении возможного количества

тепла, получаемого утилизацией теплоты дымовых газов.

Метод исследований

Методом исследований является анализ нормативной документации, существующих публикаций в сфере энергосбережения и результатов расчетов.

Основная часть

В нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации не описан подбор диаметра коллективного дымового канала и не приводится расчет параметров отходящих дымовых газов в зависимости от высоты и количества присоединенных теплогенераторов. Такой расчет описывается в европейской норме [2]. Данная норма предполагает несколько вариантов расчетов дымового канала – одиночных теплогенераторов с естественной тягой и дымососом; нескольких теплогенераторов, размещенных на разных этажах с естественной тягой и дымососом.

Исходными данными для расчета являются параметры теплогенераторов, дымового канала, (диаметр, материал, изоляция), размещение теплогенераторов и дымового канала. В результате расчета выявляются давление (Р, Па), температура (Т, К), скорость (V, м/с) и количество дымовых газов (m, кг/с) в местах присоединения теплогенераторов и на выходе из коллективного дымохода, проводится сопоставление требуемых условий по давлению с располагаемым давлением в дымоходе и сопоставление температур. Рассчитанные параметры дымовых газов могут быть использованы для расчета возможного количества теплоты утилизации.

Тепло, полученное в результате утилизации можно использовать на нужды здания, где расположена система теплоутилизации, например на отопление лестничных клеток здания, горячее водоснабжение для персонала и т.п., что снизит эксплуатационные затраты обслуживающих организаций.

Для утилизации теплоты дымовых газов необходимо использовать теплообменные аппараты с развитой поверхностью теплообмена, т.к. температура и скорость дымовых газов не высоки. Однако следует учесть, что установка теплоутилизатора в коллективный дымоход создаст дополнительное аэродинамическое сопротивление движению дымовых газов, что может нарушить баланс по давлению коллективного дымохода.

Теплоутилизационную установку следует размещать на участке коллективного дымохода выше присоединения последнего теплогенератора. Необходимо обеспечить доступ к теплоутилизатору и сопутствующему оборудованию для их обслуживания.

Согласно [3] количество тепла, которое возможно получить при рекуперации можно вычислить по формуле:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \cdot \eta \quad (1)$$

где m – расход газов, в нашем случае – дымовых, проходящих через теплоутилизатор, кг/ч; $c = 1,025 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ – теплоемкость дымовых газов; Δt – охлаждение дымовых газов, в теплоутилизаторе, $^\circ\text{C}$; η – коэффициент полезного действия теплоутилизатора.

В качестве расчетного примера был выбран один стояк девятиэтажного жилого дома с установленными на каждом этаже теплогенератором, объединенных коллективным дымоходом, проходящем по лестничной клетке. В качестве теплогенераторов выбраны одноконтурные котлы фирмы Buderus марки U072, мощностью 24 кВт с такими параметрами отходящих дымовых газов:

$$T_{\text{дг mid}} = 393\text{K},$$

$$m_{\text{дг mid}} = 15,1\text{г/с},$$

где $T_{\text{дг mid}}$ – температура дымовых газов при средней тепловой нагрузке; $m_{\text{дг mid}}$ – массовый расход дымовых газов при средней тепловой нагрузке.

В результате расчетов был выведен баланс по давлению и температуре всего коллективного дымохода и получены следующие параметры на участке между присоединением последнего теплогенератора и устьем коллективного дымохода (участок установки теплоутилизатора):

$$P_{\text{т.уст}} = 179\text{Па},$$

$$T_{\text{уст}} = 385\text{K},$$

$$V_{\text{уст}} = 2,53\text{м/с},$$

$$m_{\text{уст}} = 477\text{кг/ч},$$

где $P_{\text{т.уст}}$ – тяга; $T_{\text{уст}}$ – температура дымовых газов; $V_{\text{уст}}$ – скорость дымовых газов; $m_{\text{уст}}$ – массовый расход дымовых газов на расчетном участке.

Для расчета количества теплоты утилизации примем охлаждение дымовых газов в теплоутилизаторе $\Delta t = 10^\circ$, КПД теплоутилизатора $\eta = 0,7$.

Подставляя значения в формулу (1), получим:

$$Q = 477 \cdot 1,025 \cdot 10 \cdot 0,7 = 3420\text{Вт}.$$

Расчет носит приблизительный характер, для его уточнения требуется провести конструктивный расчет теплоутилизатора. Расчет произведен для коллективного дымохода, объединяющего теплогенераторы по одному стояку жилого дома, если учесть, что в подъезде 3 коллективных дымохода, то производительность тепло-утилизационной установки составит около 12кВт.

Выводы

1. Использование теплоты дымовых газов позволит повысить энергоэффективность системы теплоснабжения дома, снизить уровень потребления топливно-энергетических, повысить рентабельность обслуживающих организаций.

2. Для утилизации теплоты дымовых газов необходимо использовать теплообменные аппараты с невысоким аэродинамическим сопротивлением и развитой поверхностью теплообмена.

3. Результаты расчета производительности теплоутилизатора носят относительный характер, но говорят о перспективности использования теплоты дымовых газов бытовых котлов.

4. Необходимо дальнейшее изучение вопроса утилизации теплоты дымовых газов бытовых котлов.

Список литературы

1. СП 41-108-2004. Поквартирное теплоснабжение жилых зданий с теплогенераторами на газовом топливе. - М.: ФГУП ЦПП, 2005.
2. EN 13384-2:2003+A1:2009 Chimneys - Thermal and fluid dynamic calculation methods - Part 2: Chimneys serving more than one heating appliance. 2003.
3. С.Н. Анисимов. Основы проектирования теплообменных аппаратов. Учебное пособие / С.Н. Анисимов. // - Симферополь: РИО НАПКС, 2005. - 186 с

Angelyuk I.P.

HEAT RECOVERY FROM FLUE GASES OF DOMESTIC BOILERS

Summary. The article describes the possibilities of heat recovery from flue gases of domestic boilers united collective chimney. Are described European rules for the calculation of collective chimneys. It describes the installation of heat recovery unit, shows the calculation of collective chimneys. The article provides a calculation of the possible amount of heat recovery.

Key words: collective chimney, heat recovery unit, flue gases, heat, aerodynamic resistance.

УДК 517.9:532

О СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ С ВНУТРЕННЕЙ ДИССИПАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

Андропова О.А.

ГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

Аннотация. В статье рассмотрены спектральные задачи, порожденные начально-краевыми задачами с внутренней диссипацией энергии. Приведены простейшие свойства спектра данной задачи. Более тонкие свойства спектра зависят от отношения областей определения главных операторов задачи. При этом подходе возникают три различных случая: малой, средней и сильной интенсивности внутренней диссипации. В статье приведены основные результаты исследования этих проблем, из которых становится понятно, что спектр задач достаточно своеобразен. Это обосновывает рассмотрение модельных спектральных задач, связанных с исходными.

Ключевые слова: гильбертово пространство, компактный самосопряженный оператор, классы компактности, характеристическое уравнение, динамика изменения собственных значений.

Введение

В работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с исследованием спектральной проблемы, порожденной начально-краевыми задачами с внутренней диссипацией энергии. Приведены простейшие свойства решений спектральных задач, получены утверждения о локализации спектра и утверждение о дискретности спектра задачи. Далее, на модельных примерах выясняется, что спектр рассматриваемой задачи достаточно сложен и своеобразен.

Автор данной работы и его научный руководитель проф. Копачевский Н.Д. познакомились с проблемой исследования эволюции динамических систем с диссипацией энергии на лекции проф. Чуешова И.Д. на 15 Крымской осенней математической школе-симпозиуме по спектральным и эволюционным задачам (КРОМШ 2004, Ласпи-Батилиман). Работы Чуешова И.Д. с соавторами и его монография (см. [1] [3]) посвящены изучению бесконечномерных диссипативных динамических систем, в частности, систем с поверхностной диссипацией энергии.

Следует отметить, что термин диссипация энергии (лат. dissipatio) означает рассеяние. Переход части энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии электрического тока и т. п.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счете в теплоту. Системы, в которых энергия упорядоченного движения с течением времени убывает за счет диссипации, переходя в другие виды энергии, например в теплоту или излучение, называются диссипативными. Примерами диссипативных систем являются: твердое тело, движущееся по поверхности другого при наличии трения, жидкость или газ, между частицами которых при движении действуют силы вязкости и т.п. Исследование спектральной задачи как с поверхностной, так и с внутренней диссипацией энергии представляет собой пока нерешенную

проблему. Поэтому исследование данной задачи осуществляется поэтапно. Так в работе [7] были изучены спектральные задачи, порожденные начально-краевыми задачами только с поверхностной диссипацией энергии.

Постановка задачи

Рассмотрены простейшие свойства спектра, а затем на примерах одномерном, двумерном и в цилиндрических областях обнаружено, что спектр рассматриваемых задач достаточно своеобразен. Выясняется, как этот спектр мигрирует в комплексной плоскости при изменении параметра диссипации от нуля до бесконечности. Приводятся примеры численных расчетов спектра на основе метода итераций. Далее, в общей постановке исследована спектральная задача. На основе одного общего результата, полученного Т. Я. Азизовым, доказано, что в случае общего положения спектр задачи является дискретным с предельной точкой на бесконечности.

Основные результаты

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с исследованием спектральной проблемы с внутренней диссипацией энергии. Рассматривается задача без начальных условий в области Ω с границей $\partial\Omega = \Gamma \cup S$:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \beta K \frac{\partial u}{\partial t} + Au = f \text{ (в } \Omega), \quad (1)$$

$$K = K^* > 0, \quad \frac{\partial u}{\partial n} = L_2(\Omega), \quad \beta > 0, \quad (2)$$

$$u = 0 \text{ (на } S), \quad (3)$$

Здесь функция $u(t, x)$ является искомой, функция $f(t, x)$ - заданной. Параметр β характеризует изменение внутренней диссипацией энергии.

Слагаемое $\beta K \frac{\partial u}{\partial t}$ в уравнении (1) при $\beta > 0$ порождает внутреннюю диссипацию полной энергии динамической системы. При отыскании решения однородной задачи (1)-(3) только с

внутренней диссипацией энергии (параметр поверхностной диссипации энергии $\alpha = 0$) в виде:

$$u(t, x) = e^{-\lambda t} u(x), \quad x \in E, \quad (4)$$

приходим к спектральной задаче

$$Lu + \lambda^2 u - \lambda \beta Ku = 0 \quad (\text{в } E), \quad (5)$$

$$\partial u = 0 \quad (\text{в } G). \quad (6)$$

Задача (5)-(6) эквивалентна спектральной проблеме:

$$(\lambda^2 A - 1 - \lambda \beta C + I)\eta = 0, \quad \eta = \lambda^{-\frac{1}{2}} u \in E, \quad (7)$$

где свойства операторов A^{-1} и C изучены при исследовании абстрактной задачи с поверхностной и внутренней диссипацией энергии и коротко могут быть сформулированы в следующих утверждениях.

Утверждение 1. Оператор $A^{-1} : F \rightarrow F$ - ограничен. Если F компактно вложено в E , то $A^{-1} : E \rightarrow E$ является компактным положительным оператором.

Утверждение 2. Оператор

$$C_0 := S^* S, \quad S^* = A^{-\frac{1}{2}} K^{\frac{1}{2}}, \quad S = K^{\frac{1}{2}} A^{-\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

с областью определения $D(K^{\frac{1}{2}})$ может быть расширен по непрерывности до ограниченного самосопряженного и неотрицательного оператора

$$C = S^* S \in D(E). \quad (9)$$

Пусть параметр внутренней диссипации β является неотрицательным и может принимать значения $\beta = 0$ и $\beta = \infty$. Тогда могут быть сформулированы некоторые свойства решений спектральных задач (5) (6), (7). Число $\lambda = 0$ не является собственным значением сформулированных выше спектральных задач. Спектр изучаемых задач расположен в правой комплексной полуплоскости и симметричен относительно вещественной оси. Операторный пучок $L_\beta(\lambda) := \lambda^2 A - 1 - \lambda \beta C + I$ может быть представлен в виде

$$L_\beta(\lambda) = (Q - \lambda \beta C)(U + (Q - \lambda \beta C)^{-1} \lambda^2 A^{-1}). \quad (10)$$

Тогда справедливо следующее утверждение.

Утверждение 3. Пусть

$$= \{\lambda \in \mathbb{C} : (Q\beta)^{-1} \in \sigma_{\text{ess}}(C)\}, \quad (11)$$

тогда в области $\mathbb{C} \setminus \Lambda$ спектр операторного пучка $L_\beta(\lambda)$ дискретен и возможные предельные точки принадлежат множеству Λ и точка $\lambda = \infty$. Если F компактно вложено в E , то оператор A^{-1} компактен (см. утверждение 1). Тогда вне области Λ пучок $L_\beta(\lambda)$ является фредгольмовым операторным пучком, т.е. имеет структуру $L_\beta(\lambda) = I + \Phi(\lambda)$, где $\Phi(\lambda) = (Q - \lambda \beta C)^{-1} \lambda^2 A^{-1}$ аналитическая оператор-функция из $\mathbb{C}$. При этом $L_\beta(0) = I$. Тогда по теореме И.Ц. Гохберга (см. [8], с. 39) следует, что спектр задачи в этом случае дискретный с предельной точкой на бесконечности. При $\beta = 0$

спектр задачи расположен на мнимой оси и имеет вид:

$$\lambda_k = \pm i \lambda_k^{1/2} (1/2) \quad (12)$$

Сложность и своеобразность спектра исследуемой задачи вынудила рассмотрение модельных спектральных задач. Рассмотрена задача (7) при условии, что оператор внутренней диссипации K имеет вид

$$K = A^\gamma, \quad 0 \leq \gamma \leq 1. \quad (13)$$

В этом случае спектральная задача существенно упрощается. Выяснена необходимость рассмотрения трех различных случаев: $\gamma = 0$, $0 < \gamma < 1$, $\gamma = 1$, поскольку задача на собственные значения для операторного пучка L_β при условии (13) в каждом из описанных выше случаев имеет решения разного вида. В каждом случае исследовано поведение

собственных значений $\{\lambda_k^\pm\}_{k=1}^\infty$ - решений определенного квадратного уравнения, - при фиксированном параметре внутренней диссипации β , при фиксированном параметре γ из выбранного диапазона и при изменении параметра k . Следует

отметить, что $\{\lambda_k^\pm\}_{k=1}^\infty$ выражаются через собственные значения $\lambda_k(A)$ оператора A . С помощью программы, написанной в пакете Maple 9.01, для случая, когда

$$A = -\Delta, \quad \lambda_k(A) = k^2,$$

$k = 1, 2, \dots$, поведение чисел $\{\lambda_k^\pm\}_{k=1}^\infty$ проиллюстрировано на комплексной плоскости.

В случае $\gamma = 0$ в программе вычисляются собственные значения $\lambda_k^\pm$ по формуле

$$\lambda_k^\pm = \frac{\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\lambda_k(A)}}{2}, \quad k \in \mathbb{N}, \quad (14)$$

при фиксированном $\beta = 3$ и при изменении k от 1 до 30 с шагом равным 1. Результатом применения программы является рис. 1. Рисунок изображает две ветви собственных значений. При малых k собственные значения лежат на действительной оси. Далее, при увеличении k движутся по действительной оси навстречу друг другу, "схлопываются" в двукратной точке и движутся по вертикальной прямой $\text{Re} \lambda_k = \beta/2$ на бесконечность. Положительная ветвь движется от действительной оси вверх, отрицательная вниз.

Случай $0 < \gamma < 1$ вынуждает рассмотрение трех подслучаев $0 < \gamma < 1/2$, $\gamma = 1/2$, $1/2 < \gamma < 1$. Результатом рассмотрения случая $0 < \gamma < 1/2$ является рисунок 2, который демонстрирует две ветви собственных значений. При малых значениях параметра k собственные значения $\lambda_k^\pm$ и λ_k^- будут лежать на действительной оси. Далее, при увеличении параметра k две ветви будут двигаться навстречу друг другу по действительной оси. Ветвь λ_k^- будет двигаться слева направо, а λ_k^+ справа налево до тех пор, пока они не "схлопнутся".

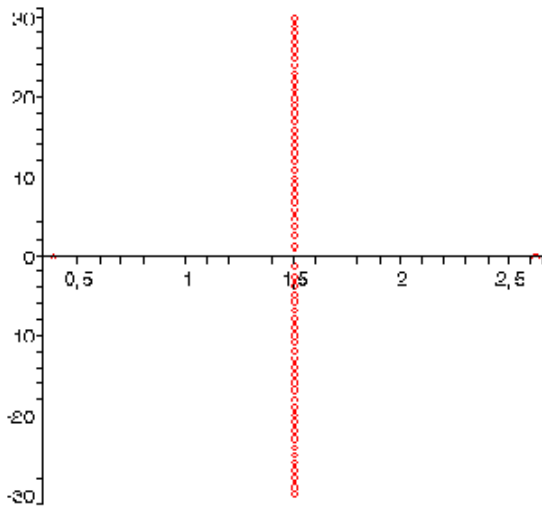


Рис. 1. Ветви собственных значений в случае $\gamma = 0$ при фиксированном $\beta = 3$ и при изменении k от 1 до 30 с шагом равным 1.

При дальнейшем увеличении k ветви λ_k комплексно сопряженных собственных значений будут двигаться на бесконечность по кривым близким к параболам.

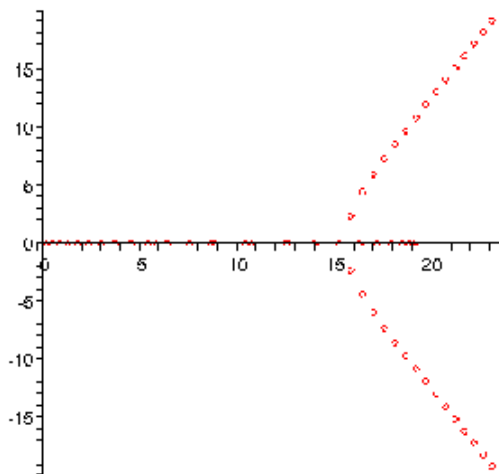


Рис. 2. Ветви собственных значений в случае $\gamma = 0,3$ при фиксированном $\beta = 6$ и при изменении k от 1 до 30 с шагом 1.

В случае $1/2 < \gamma < 1$ картина миграции собственных значений при изменении k противоположна случаю $0 < \gamma < 1/2$. Ниже на рис. 3 представлен результат применения программы при $\gamma = 0,7$, $\beta = 0,5$ в случае изменения k от 1 до 30 с шагом равным 1. При малых k спектр будет состоять из конечного числа комплексно сопряженных собственных значений, которые образуют две ветви. Эти собственные значения "схлопываются" на действительной. Дальнейшее увеличение k порождает две ветви действительных собственных значений λ_k^+ и λ_k^- , каждая из которых стремиться к бесконечности.

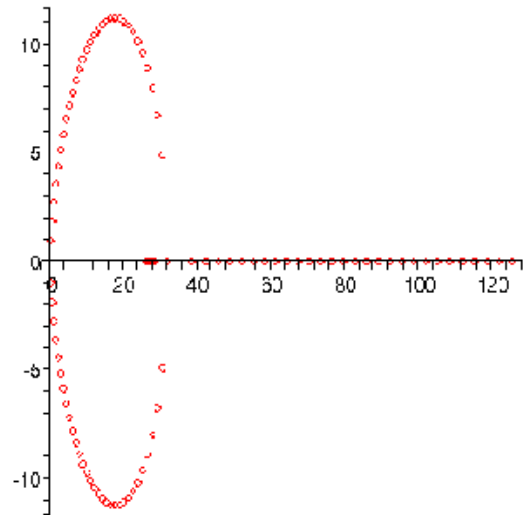


Рис. 3. Ветви собственных значений при $\gamma = 0,7$, $\beta = 0,5$ в случае изменения k от 1 до 30 с шагом равным 1.

Случай $\gamma = 1/2$ обязывает рассмотрение случаев, когда $0 < \beta < 2$, $\beta = 2$, $\beta > 2$. Результатом рассмотрения этих случаев является рисунок 4.

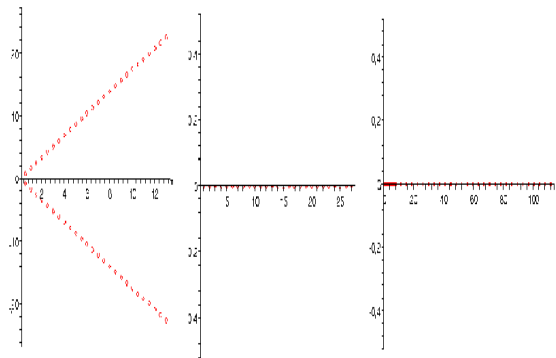


Рис. 4. Ветви собственных значений $\lambda_k^{\pm}$ для трех случаев $0 < \beta < 2$, $\beta = 2$, $\beta > 2$ при изменении k от 1 до 30 с шагом равным 1, при $\gamma = 1/2$ и фиксированном параметре β из соответствующего диапазона ($\beta = 1, \beta = 2, \beta = 4$ соответственно расположению рисунков).

На первой комплексной плоскости видны две ветви комплексно сопряженных собственных значений. С ростом k они будут двигаться на бесконечность по траекториям, представляющим собой прямые. На втором рисунке при изменении k имеется ветвь из двукратных точек на действительной оси. Эта ветвь движется слева направо, т.е. убегает на бесконечность. Третий рисунок представляют собой две ветви собственных значений, каждая из которых движется по действительной оси на бесконечность.

Рисунок 5 демонстрирует поведение точек спектра с случае $\gamma = 1$. Для малых значений параметра k имеются комплекснозначные сопряженные собственные значения $\lambda_k^{\pm}$. При увеличении k их действительная часть увеличивается, а мнимая уменьшается. Далее

образуются две ветви действительных собственных значений λ_k^- и λ_k^+ с предельными точками равными бесконечности и $1/\beta$ соответственно.

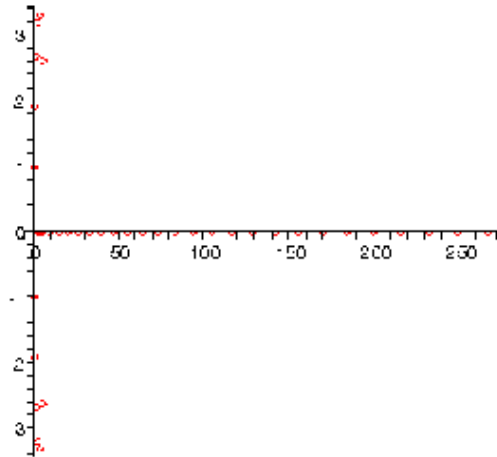


Рис. 5. Две ветви собственных значений при $\gamma = 1$, $\beta = 0,5$, $k=1, \dots, 30$.

Таким образом, рассмотрены всевозможные случаи положения параметра γ . В каждом случае проанализировано поведение собственных значений при фиксированном параметре β и при изменении k .

Ниже представлен рис. 6, изображающий полную миграцию спектра модельной задачи при изменении трех параметров k , β , γ .

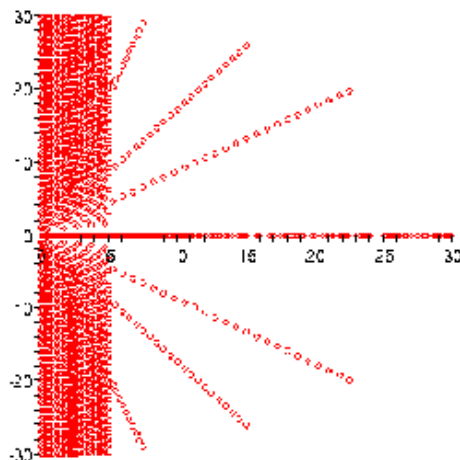


Рис. 6. Миграция спектра модельной задачи при изменении трех параметров k , β , γ : $k=1, \dots, 30$ с шагом равным 1, $\beta=0, \dots, 10$ с шагом равным 0,5 и $\gamma=0, \dots, 1$ с шагом равным 0,5.

Выводы

Таким образом очевидно, что исследование спектра задачи с внутренней диссипацией связано с определенными трудностями. Исследование спектральных проблем с поверхностной и внутренней диссипацией продолжается. Полученные результаты будут отражены в последующих публикациях автора.

Список литературы

1. Chueshov, I., Eller, M., Lasiecka, I. Finite Dimensionality of the Attractor for a Semilinear Wave Equation with Nonlinear Boundary Dissipation // Communications in Partial Differential Equations, Vol. 29, No 11-12, pp. 1847-1876, 2004.
2. Chueshov, I. Introduction to the Theory of Infinite-Dimensional Dissipative Systems. Kharkov: Acta. In: Russian, English translation: Kharkov: Acta, 2006. See also <http://www.emis.de/monographs/Chueshov>.
3. Chueshov, I., Lasiecka, I. (2004). Global attractors for von Karman evolutions with a nonlinear boundary dissipation. J. Diff. Equations 198: 196-231.
4. Копачевский Н.Д., Крейн С.Г., Нго Зуи Кан. Операторные методы в линейной гидродинамике: Эволюционные и спектральные задачи. М.: Наука, 1989. 416 с.
5. Копачевский Н.Д., Крейн С.Г. Абстрактная формула Грина для тройки гильбертовых пространств, абстрактные краевые и спектральные задачи // Украинский математ. вестник, Т.1, №1(2004), с.69-97.
6. Копачевский Н.Д. Абстрактная формула Грина для тройки гильбертовых пространств и ее приложения к задаче Стокса // Таврический вестник информатики и математики (ТВИМ), Симферополь, №2, 2004. с.52–80.
7. Андропова О.А., Копачевский Н.Д. О линейных задачах с поверхностной диссипацией энергии // Современная математика. Фундаментальные направления. Москва: Рос. инст. Дружбы народов, 2008. Том 29. С. 11–28.
8. Гохберг И.Ц., Крейн М.Г. Введение в теорию линейных несамосопряженных операторов в гильбертовом пространстве. – М.: Наука, 1965. 448 с.
9. Андропова, О.А. Начально-краевые и спектральные задачи с поверхностной и внутренней диссипацией энергии. / Ученые записки Таврического Национального Университета им. В.И. Вернадского, серия Математика. Механика. Информатика и Кибернетика: 2009, Т. 22(61).1, с.1-13.
10. Андропова, О.А. Случай малой интенсивности в задачах с внутренней диссипацией энергии. // Ученые записки Таврического Национального Университета им. В.И. Вернадского, серия Математика. Механика. Информатика и Кибернетика: 2009, Т. 22(61).1, с.1-13.
11. Андропова О.А. Случай малой интенсивности в задачах с внутренней диссипацией энергии. // Таврический вестник информатики и математики. 2015. № 3 (28). С. 8-23.
12. Андропова О.А. Случай средней интенсивности в задачах с внутренней диссипацией энергии. // Таврический вестник информатики и математики. 2015. № 4 (29). С. 17-31.

Andronova O.A.

ON SPECTRAL PROBLEMS WITH INTERNAL ENERGY DISSIPATION

Summary. In the article the spectral problems, generated by the initial boundary value problem with the internal dissipation of an energy, are considered. Here is a simple properties of the spectrum of this problem. More subtle properties of the spectrum depends on the ratio of the domains of the main operators of the problem. With this approach, there are three different cases: small, medium and high intensity of the internal dissipation. The article presents the main results of the study of these problems, of which it becomes clear that the range of tasks rather peculiar. This justifies the consideration of model spectral problems associated with the source.

Key words: hilbert space, compact self-adjoint operator, classes of compact operators, characteristic equation, dynamics of the eigen values motion.

УДК 629.7.036 621

ПАРАМЕТРЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С КОНФУЗОРНЫМ КОЛЕСОМ НА ПОВЫШЕННОМ РЕЖИМЕ

Боровский Б.И.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: tim4enko.zin@yandex.ru

Аннотация: В статье показано, что центробежный насос с конфузорным колесом на повышенном режиме, превышающим расчётный режим, т.е. режим максимума КПД, обеспечивает КПД существенно выше, чем насос с диффузорным колесом. В то же время на расчётном режиме экономичность центробежного насоса с конфузорным колесом незначительно превышает экономичность центробежного насоса с диффузорным колесом. Это, как будет показано, связано с тем, что течение в конфузорном колесе увеличивает теоретический напор колеса. Экспериментальные исследования центробежных насосов с конфузорными колёсами показали, что с увеличением конфузорности повышается напор и КПД насоса при снижении уровня пульсаций и вибраций насоса. При этом повышение напора значительное.

Ключевые слова: Центробежный насос, конфузорное колесо, конфузорное течение жидкости, теоретический и действительный напоры, экономичность насосов.

Введение

Насосы входят в различные технические системы, в том числе, в системы жизнеобеспечения зданий и сооружений. Они определяют их надёжность, ресурс, технико-экономические характеристики и энергоэффективность. Поэтому создание энергоэффективных насосов с высокими эксплуатационными и рабочими характеристиками является актуальной проблемой. При проектировании центробежных насосов с конфузорностью необходима предварительная оценка их экономичности, в том числе, на повышенных режимах.

Анализ публикаций

В работе [1] теоретически решена задача обтекания решётки профилей центробежного колеса. Показано, что характер течения существенно различается в зависимости от конфузорности межлопастного канала колеса, определяемой отношением площадей колеса на входе и выходе:

$$F_1/F_2 = \frac{D_1 b_1 \sin \beta_{1л}}{D_2 b_2 \sin \beta_{2л}} \quad (1)$$

где цифрами 1 и 2 обозначены параметры колеса на входе и выходе.

В случае диффузорных колёс $F_1/F_2 \leq 1$, при конфузорных колёсах $F_1/F_2 > 1$. Для диффузорного колеса коэффициент влияния конечного числа лопастей K_Z всегда меньше единицы ($0 \leq K_Z < 1$), $\bar{H}_T < \bar{H}_{T\infty}$ (теоретический напор колеса всегда меньше теоретического напора при бесконечном числе лопастей), а угол отставания потока на выходе колеса от направления лопастей $\delta = \beta_{2л} - \beta_2$ является положительным,

$\delta > 0$. При конфузорных колёсах $F_1/F_2 > 1$ угол отставания потока оказывается отрицательным, $\delta < 0$, и поэтому угол потока на выходе больше угла лопасти, $\beta_2 > \beta_{2л}$. В связи с этим возможны значения $K_Z > 1$, $K_Z < 0$ и $\bar{H}_T > \bar{H}_{T\infty}$. В частности, возможно $\bar{H}_T > 0$ при $\bar{H}_{T\infty} < 0$.

Изложенное показывает, что в конфузорном колесе характер течения обеспечивает повышение напора без увеличения наружного диаметра и частоты вращения колеса. Конфузорность течения определяется отношением скоростей потока на выходе и входе в колесо

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \bar{D}_1 \frac{b_1 \sin \beta_1}{b_2 \sin \beta_2} \quad (2)$$

$$\text{где } \bar{D}_1 = \frac{D_1}{D_2}.$$

Угол потока на выходе колеса находится из формулы

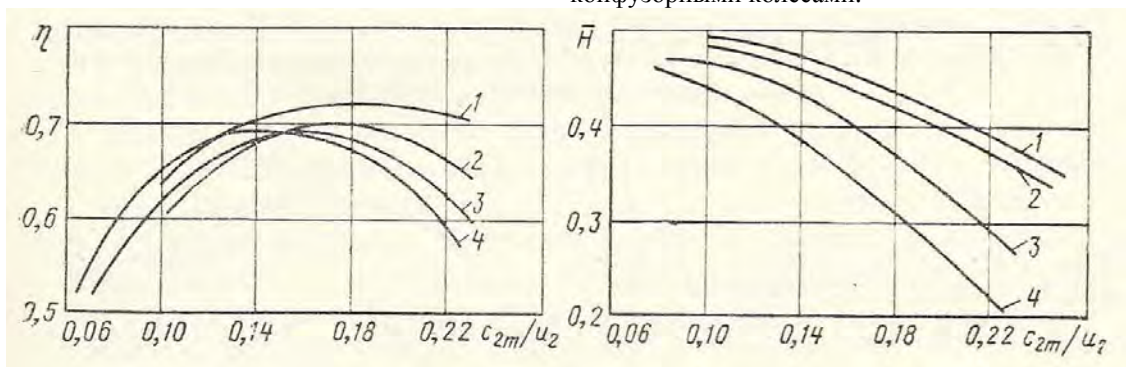
$$\operatorname{ctg} \beta_2 = \frac{(1 - \bar{H}_T)}{c_{2m}},$$

$$\text{где } \bar{H}_T = \frac{H_T}{u_2^2}; \quad c_{2m} = \frac{c_{2m}}{u_2}.$$

Эти особенности течения в конфузорном центробежном колесе экспериментально подтверждены при испытаниях конфузорного колеса ($F_1/F_2 = 2,2$; $\beta_{2л} = 10^\circ$). Колесо работало в свободном пространстве без спирального сборника, углы потока на выходе колеса непосредственно измерялись [2]. В работах [3] и [4] испытания центробежных насосов со спиральными отводами показали энергетическую эффективность

использования конфузорных колёс с большой степенью конфузорности. Исследования [5], проведенные на насосе с диффузорным и конфузорным колёсами показали, что насосу с конфузорным колёсом соответствуют меньшие пульсации и вибрации. В работе [6] получены соотношения для оптимизации конфузорных колёсах с учётом скорректированных по экспериментальным данным расчётных соотношений [7]. Работа [8] содержит модель расчёта экономичности центробежных насосов с конфузорными колёсами на расчётном режиме. Однако отсутствует объяснение, почему на повышенных режимах выигрыш в экономичности значительный, достигающий 19%.

Цель и постановка задачи



Некоторые геометрические и экспериментальные параметры этих вариантов даны в табл. 1.

Таблица 1.

Данные испытанных вариантов центробежного насоса ($\bar{D}_1 = 0,53$, $Z = 7$)

Вариант	$\beta_{1л}$, град.	$\beta_{2л}$, град.	F_1/F_2	$\bar{c}_{2mp}$	$\eta_{\max}$	$\eta_{\max}/\eta_{\max.4}$	$\bar{c}_{2m} = 0,22, \eta/\eta_4$	$\bar{c}_{2m} = 0,22, H/H_4$
1	78,5	9	11,24	0,18	0,71	1,043	1,19	1,80
2	58,5	20	4,47	0,18	0,70	1,015	1,10	1,65
3	37,0	20	3,16	0,16	0,69	1,0	1,04	1,35
4	25,5	20	2,26	0,14	0,69	1,0	1,0	1,0

Приведём дополнительные параметры вариантов насоса: $b_1 = 22$ мм; $b_2 = 6,5$ мм; $D_2 = 86$ мм; $Q = 17,1$ л/с; $n = 12000$ об./мин.

Вариант 4 наиболее близок к диффузорному колёсу. В табл. 1 различная конфузорность вариантов насоса приводит к отличию в $\eta_{\max}$ в пределах 4,5% что близко к превышению $\eta_{\max}$ насоса с конфузорностью над кпд насоса с диффузорностью, 3,4% [8]. Вместе с тем, на повышенном режиме $\bar{c}_{2m} = 0,22$ это отличие составляет уже 19%.

В работе [8] приведены соотношения для расчёта теоретического напора $\bar{H}_T$ конфузорного колёса на различных режимах и потерь энергии на расчётном режиме.

Потери энергии в колесе определяются по формуле:

$$\bar{L}_K = 0,5\xi_K \bar{D}_1^2,$$

Целью статьи является разработка модели оценки экономичности центробежных насосов с конфузорными колёсами на повышенных режимах. Задача состоит в сравнении расчётных и экспериментальных данных и расчётного сопоставления показателей насосов с конфузорным и диффузорным колёсами.

Метод исследований

Методом исследований является анализ литературных данных с последующим математическим способом разработки модели оценки экономичности центробежных насосов с конфузорными колёсами на повышенных режимах.

Основная часть

На рисунке приведены экспериментальные характеристики вариантов центробежного насоса с конфузорными колёсами.

$$\text{где } \xi_K = 0,15 + \frac{0,18}{(0,77 - h_u)}.$$

Удельная работа циркуляционных си

$$h_u = \frac{\bar{D}_1 \left(\bar{D}_1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)}{\bar{H}_T}.$$

Потери в спиральном отводе складываются из потерь в спиральном сборнике и коническом диффузоре:

$$\bar{L}_{отв} = 0,5\xi_{отв} \bar{H}_T^2$$

где $\xi_{отв} = \xi_c + \xi_{кд} (c_r/c_{2u})^2$ (для других видов отводов [9]).

Коэффициент потерь в спиральном сборнике

$$\xi_c = 1,1 + 1,45(c_r/c_{2u})^2 - 2,4(c_r/c_{2u})\cos\alpha_2,$$

$$\text{где } \operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{c_{2m}}{H_T}; \quad c_r/c_{2u} = 0,55 - 0,65.$$

Коэффициент потерь в коническом диффузоре

$$\xi_{\text{кд}} = 1,15 \operatorname{tg}\alpha_3 (F_{\text{вых}}/F_r - 1)^{1/3},$$

где индекс «г» соответствует горлу отвода (вход в конический диффузор),

$$\alpha_3 = 2 \arctg \frac{(D_{\text{вых}} - D_r)}{2 \cdot l_{\text{кд}}},$$

где $D_r = \left(\frac{4F_l}{\pi} \right)^{1/2}$ – эквивалентный диаметр горла отвода.

Гидравлический КПД

$$\eta_r = 1 - \frac{\bar{L}_{\text{кр}}}{H_T} - 0,5 \xi_{\text{отв}} \bar{H}_T.$$

Полный КПД η определяется произведением гидравлического КПД, объёмного, дискового и механического КПД [8]. В нашем случае эти КПД, соответственно, равны 0.98, 0.99, 0.97. Действительный напор

$$\bar{H} = \bar{H}_T - \bar{L}_K - \bar{L}_{\text{отв}}.$$

На режимах $\bar{Q} = Q/Q_p > 1$ потери в колесе не изменяются, а коэффициент потерь в отводе [9]:

$$\xi_{\text{отв}} = \xi_{\text{отвр}} + A_2 \left(1 - Q \cdot \frac{\bar{H}_{\text{тр}}}{H_T} \right)^2$$

где при $\xi_{\text{кд}} < 0.21$ $A_2 = 0.32$, при $\xi_{\text{кд}} > 0.21$ $A_2 = 5.8 \xi_{\text{кд}} - 0.9$.

Результаты расчётов по приведенной методике приведены в табл.2

Таблица 2.
Результаты расчётов для вариантов (1) и (4)

Вариант	$\bar{c}_{2\text{тр}}$	$\bar{H}_{\text{тр}}$	$\xi_{\text{кд}}$	$\xi_{\text{отвр}}$	$\bar{c}_{2m}$	$\bar{Q}$	$\bar{H}_T$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.18	0.702	0.25	0.30	0.22	1.17	0.694
4	0.14	0.570	0.25	0.30	0.22	1.57	0.437

продолжение табл.2.

$\xi_{\text{отв}}$	$\bar{L}_{\text{отв}}$	$\bar{L}_K$	η	η_1/η_4	Эксп., η_1/η_4	H_1/H_4	$(H_1/H_4)_{\text{эксп}}$
9	10	11	12	13	14	15	16
0.319	0.076	0.03	0.796	1.19	1.19	1.88	1,80
0.900	0.084	0.04	0.670				

Результаты расчётов, приведенные в табл 2, показывают, что расчёты хорошо согласуются с экспериментальными данными. Уменьшения КПД и напора варианта (4) вызваны большим отклонением режима $\bar{c}_{2m}$ от расчётного режима, чем в варианте (1). Уменьшение теоретического

напора, по сравнению с расчётным, составляет 32%, коэффициент $\xi_{\text{отв}}$ увеличился в 3 раза. Отметим, что выигрыш в кпд 19%, а в напорности 80%.

В табл. 3 приведены результаты расчётов насоса с оптимальной конфузурностью и насоса с диффузурностью, которые исследованы в работе [8].

Таблица 3.
Результаты сравнения насосов с конфузурным и диффузурным колесом

колесо	$\bar{c}_{2\text{тр}}$	$\bar{H}_{\text{тр}}$	$\xi_{\text{кр}}$	$\xi_{\text{отвр}}$	$\bar{c}_{2m}$	$\bar{Q}$
1	2	3	4	5	6	7
конфузурное	0.18	0.811	0.05	0.37	0.22	1.17
диффузурное	0.18	0.410	0.30	0.45	0.22	

продолжение табл. 3

$\bar{H}_T$	$\bar{L}_K$	$\bar{L}_{\text{отв}}$	η	η^k/η^d	$\bar{H}$	H^k/H^d
8	9	10	11	12	13	14
0.806	0.007	0.135	0.775	1.11	0.662	2.78
0.321	0.042	0.042	0.697		0.238	

Из табл. 3 видно, что на режиме $\bar{c}_{2m} = 0,22$ насос с конфузурным колесом имеет несколько меньший выигрыш по КПД (11%), что связано с меньшим отличием этого режима от расчётного

режима, однако выигрыш в напоре значительный, в 2.78 раз.

Выводы

1. Предложена модель оценки экономических и напорных показателей насосов с

конфузорными колёсами на повышенных режимах. Показано, что расчёт практически совпадает с экспериментом.

2. Расчётные исследования показали, что насосы с конфузорными колёсами имеют значительно выше кпд, чем насос с диффузорным колёсом на повышенных режимах. При этом напорность насоса с конфузорным колёсом значительно превышает напорность насоса с диффузорным колёсом (превышение в 1.8 и 2,78 раз). Это соответствует необходимости существенного увеличения диаметра и частоты вращения диффузорного колёса для получения такой напорности.

Список литературы

1. Черняк, А. П. Зависимость коэффициента и реактивного колёса центробежного насоса от его геометрических параметров и режима работы / А. П. Черняк // Лопаточные машины и струйные аппараты. -1966. - № 1. - С. 176- 203.
2. Локшин И.Л. Применение результатов исследования вращающихся круговых решёток к аэродинамическому расчёту колёс центробежных вентиляторов / И.Л.Локшин // Промышленная аэродинамика. - 1963. - № 25. - С.121 – 183. .
3. Чебаевский В.Ф. Отклонение потока на выходе колёса центробежного насоса / В.Ф. Чебаевский В.И. Петров Б.И Боровский, Г.Т.

Ввозный // Энергомашиностроение, 1969. - № 2. – С. 16 – 18.

4. Боровский, Б.И. Высокооборотные лопаточные насосы / Б.И.Боровский, Н.С.Ершов, Б.В.Овсянников [и др.] //Под ред. Б.В.Овсянникова и В.Ф. Чебаевского. - М.: «Машиностроение», 1975. - 336 с.

5. Боровский Б.И. Исследование пульсаций и вибраций центробежного насоса с конфузорным колёсом / Б.И.Боровский, В.И.Петров, А.И.Чучеров [и др.] // Гидрогазодинамика и тепломасообмен летательных аппаратов. - 1988. - С.22 – 25.

6. Боровский Б.И. Гидродинамическая оптимизация конфузорного колёса центробежного насоса / Б.И.Боровский // Сб. Строительство и техногенная безопасность 2016. №55.

7. Шестаков К.Н. Расчётно-теоретическая оценка коэффициента теоретического напора центробежного колёса / К.Н. Шестаков // Тр. ЦИАМ. -1980.- 32с.

8. Боровский Б.И. Оценка экономичности центробежных насосов с рабочими конфузорными колёсами /Б.И.Боровский, В.И.Петров//Сборник «Строительство и техногенная безопасность», 2016 №57.

9. Боровский Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов /Б.И.Боровский.- М.: « Машиностроение», 1989.- 184с.

Borovsky B. I.

PARAMETERS OF THE CENTRIFUGAL PUMP WITH THE CONVERGING WHEEL IN ELEVATED MODE

Abstract: In article it is shown that a centrifugal pump with a wheel converging at a higher mode than the design mode, i.e. the mode of maximum efficiency, achieves efficiencies substantially higher than the pump with the diffuser wheel. At the same time in design mode, the efficiency of the centrifugal pump with the converging wheel slightly higher than the efficiency of a centrifugal pump with diffuser wheel. This, as will be shown, due to the fact that the flow in the converging wheel increases the theoretical pressure of the wheel. Experimental study of centrifugal pumps with converging wheels showed that with increasing confusingly increases the pressure and the pump efficiency while reducing pulsation and vibration of the pump. This increase in pressure is significant.

Key words: Centrifugal pump, the confused wheel, the converging liquid flow, theoretical and actual pressure, the efficiency of the pumps.

УДК 697.11

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Зайцев О.Н.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

(Статья по проекту Программы развития КФУ ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «ГИС-Ландшафт»)

Аннотация. Выявлено, что в настоящее время наиболее перспективным является получение энергии для децентрализованных систем теплоснабжения котельными установками с локальными модулями термического обезвреживания твердых бытовых отходов и утилизация тепла для отопления и горячего водоснабжения. Однако рациональное использование твердых бытовых отходов возможно при инженерно-экологическом районировании территории для расположения автономных отопительных котельных. Предложен ряд критериев энергетического районирования населенных мест для повышения эффективности использования тепловой энергии в установках по термообезвреживанию твердых бытовых отходов. Обоснованы принципы рационального размещения автономных котельных с установками по термообезвреживанию твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: термообезвреживание, твердые бытовые отходы, теплоснабжение.

Введение и анализ публикаций

Развитие города не возможно без обмена энергией с окружающей средой. Симбиоз промышленных энергетических объектов и жилищно- коммунального хозяйства способствует увеличению количества отходов, которые необходимо утилизировать. В настоящее время рост стоимости на топливно-энергетические ресурсы при увеличении количества бытовых отходов ставит проблему их утилизации первоочередной в ряд важных эколого-энергетических проблем. Основная часть бытовых отходов утилизируется на полигонах, и только небольшая часть отходов утилизируется термически на мусоросжигательных заводах, при этом полученная тепловая энергия практически не используется и существует ряд экологических проблем связанных с выбросами. Несмотря на это термическая переработка твердых бытовых отходов экономически целесообразна для крупных населенных пунктов с высокой плотностью населения.

В мировой практике продукты термической переработки твердых бытовых отходов, получаемые после утилизации, применяются в строительстве и других отраслях промышленности. Однако, энергия, образующаяся в данном технологическом процессе утилизируется не достаточно эффективно.

По оценкам [1-5] потенциал использования твердых бытовых отходов в теплоснабжении может составлять от 8 до 18% от общего количества вырабатываемой энергии.

Использование твердых бытовых отходов (ТБО) от населения в качестве замены части

традиционных топлив, применимых в отопительных котельных позволит:

- решить проблему утилизации твердых бытовых отходов;
- частично заместить и сэкономить дорогое и дефицитное органическое топливо;
- повысить эффективность продукции (увеличить полезное использование ресурсов на единицу продукции)
- снизить загрязнение окружающей среды

В настоящее время наиболее перспективным является получение энергии для децентрализованных систем теплоснабжения котельными установками с локальными модулями термического обезвреживания твердых бытовых отходов и утилизация тепла для отопления и горячего водоснабжения. Однако рациональное использование твердых бытовых отходов возможно при инженерно-экологическом районировании территории [6-8] для расположения автономных отопительных котельных. В этом направлении ориентированы основные исследования настоящей работы.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка критериев энергетического районирования населенных мест для повышения эффективности использования тепловой энергии в установках по термообезвреживанию твердых бытовых отходов.

Для этого решались следующие задачи:

- определение критериев оценки и анализа территории теплоснабжения для проведения инженерного районирования;
- обоснование и разработка принципов рационального размещения автономных котельных

с установками по термообезвреживанию твердых бытовых отходов.

Для исследования были использованы материалы, предоставленные Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук», в частности разработчиками геопортала ТИГ в рамках программы мобильности «ГИС-Ландшафт» Программы развития КФУ ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

Основной раздел

Критерии оценки и анализа территории теплоснабжения для проведения инженерного районирования

Городская территория является топливно-ресурсным потенциалом при правильной организации сбора твердых бытовых отходов от населения. Примерный состав ТБО от населения представлен в таблице 1. Состав ТБО зависит от климатических условий места, социального уровня

населения в местах сбора ТБО и других факторов. Кроме того, существующие мусоросжигательные установки рассчитываются на массу отходов образующихся со всей территории города, данные по составу ТБО, приводятся исходя из расчета производительности такого предприятия [8-12], а для установок термообезвреживания ТБО в автономных котельных топливом, являются твердые бытовые отходы с определенной части городской территории. Количество ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания определяет площадь территории сбора отходов, которую можно условно рассчитать по формуле:

$$S = Bk/d \quad (1)$$

где S – площадь сбора твердых бытовых отходов от населения, га;

B – количество ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания, т/год;

k – коэффициент вариации;

d – плотность населения, чел/га.

Таблица 1.

Состав ТБО от населения

Компоненты ТБО	Состав ТБО, % по климатическим зонам			Удельный состав, кг/сут на человека
	средняя	южная	Северная	
Бумага, картон	33-35,5	27-30,9	29,-33	0,1785
Пищевые отходы	30-38	40-46	28-36	0,1275
Дерево	1,5 – 3,0	1-2	3,6-5,6	0,0153
Металл черный	4-6	4-5,2	4-6	0,0153
Металл цветной	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	
Текстиль	4-7	4-7	5-7	0,0204
Кости	0,5-2	1-2	2-4	0,0076
Стекло	5-8	3-6	6-10	0,0357
Кожа	1,6-1,8	1-2	1,2-2	0,0127
Камни, строительный материал	1-3	1-2	1-2	0,0076
Пластмасса	1,7-2	1,5-1,8	1,1-1,8	0,0102
Полимеры	2,1-2,5	2,3-2,6	2-3	0,0076
прочие	2,1,-4,1	2,1,-4,1	2,1,-4,1	0,0079

Система сбора твердых бытовых отходов не предусматривает сортировку при отборе у производителя. Однако наличие на выделенной территории отбора пунктов по сбору вторсырья: макулатуры, ветоши, полиэтилена и стекла, также значительно влияет на состав ТБО и соответственно на его теплотворные характеристики, что необходимо учитывать при расчете количества ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания. При этом, определение площади сбора ТБО по формальному признаку не всегда рационально, так как городская территория населенна не равномерно. На территории располагаются административные здания, школы, детские сады, объекты торговли и другие общественные сооружения, некоторую площадь занимает зеленая зона, то есть проявляется гетерогенность городской среды. Поэтому следует

выделить гомогенную жилую зону, определить среднее количество жителей, исходя из этого рассчитывать количество ТБО, используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания по следующей формуле:

$$Bi = PSidi \quad (2)$$

где Bi – количество ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания, т/год;

P – норма накопления отходов, т/чел./год;

Si – площадь микрорайона сбора твердых бытовых отходов от населения, га;

di – плотность населения i -го микрорайона, чел/га.

Однако для рационального размещения автономных котельных с установками термообезвреживания ТБО не достаточно рассчитать количество ТБО используемого в

качестве топлива и определить площадь сбора ТБО. Необходимо выделить участки, где централизованные распределительные системы испытывают наибольшую тепловую нагрузку, а введение автономной котельной позволит снизить эту нагрузку и рационально перераспределить ее.

Основные схемы распределительных систем теплоснабжения можно разделить на тупиковые, кольцевые и комбинированные, в зависимости от ситуационного плана территории. Наибольшую сложность при обеспечении тепловой энергии несут периферийные участки. Так как по мере удаления теплопроводов от источника происходит снижение температуры теплоносителя, обусловленное теплопотерями в окружающую среду. Кроме ситуационного расположения на повышение тепловой нагрузки могут влиять микроклиматические, ландшафтные, геологические и гидрогеологические условия.

Климатические условия, а именно ветровой режим, увеличивающий теплопотребление в централизованной распределительной сети, может быть положительным критерием для рассеивания выбросов от автономных котельных с установками по термообезвреживанию ТБО.

Таким образом основными критериями оценки и анализа городской территории для проведения инженерного районирования с целью рационального размещения автономных котельных

с установками термообезвреживания ТБО можно определить:

- площадь сбора ТБО от населения для работы автономной котельной с установками термообезвреживания ТБО;
- участки с наиболее высокой тепловой нагрузкой в городской распределительной системе теплоснабжения;
- участки с микроклиматическими и ландшафтными характеристиками благоприятных для рассеивания выбросов от автономных котельных с установками термообезвреживания ТБО.

Принципы и методы инженерного районирования городской среды для рационального размещения автономных котельных с установками термообезвреживания ТБО

Инженерное районирование для теплоснабжения за счет вторичных энергоресурсов - это метод исследования городской среды, основная задача которого, выделение закономерностей формирования объективно складывающихся комплексов эффективного использования ТБО в качестве топлива для установок термообезвреживания автономных котельных. Такое районирование городской территории основывается на принципах районирования окружающей среды, приведенных в таблице 2.

Таблица 2.

Принципы районирования и способы их реализации

Принципы районирования	Способы реализации принципов
Общие	
Пространственно-временной неоднородности среды	Методы районирования поверхности, объемного, прогнозного, объемно-прогнозного районирования
Целенаправленности	Операции проверки полученных результатов
Систематики	Методы классификации
Операционные	
Полноты деления	Правила деления объема понятия
Целостности	Методы комплексного районирования
Однородности и взаимосвязи уровней	Алгоритмы автоматического районирования в теоретико-вероятностной и теоретико-графовой трактовке
Иерархичности	Иерархические методы автоматического районирования
Последовательных приближений	Метод восхождения от абстрактного к конкретному
Не пересечения границ	Правила деления объема понятия
Устойчивости границ	Методы прогнозного районирования
Предметно-содержательные	
Зонального антропогенного воздействия на окружающую среду	Методы зонирования территории

Согласно основной методологии принята концептуальная модель – основанную на трех оценочных критериях: количество топлива (ТБО) и площадь сбора ТБО; наибольшая тепловая нагрузка в городской распределительной тепловой сети; благоприятные климатические характеристики для рассеивания выбросов.

Реализация первого принципа пространственно-временной неоднородности городской среды в графоаналитической трактовке теоретически показывает количество ТБО и площадь жилой территории, с которой это количество ТБО собирается. В данную графоаналитическую модель необходимо включить прогноз изменения количественного и

качественного состава ТБО, учитывая проектирование и реконструкции жилой территории. На основании существующих карт-схем распределительных тепловых сетей провести анализ участков, где наибольшая тепловая нагрузка и внести данные в графоаналитическую модель исследуемой территории с учетом развития территории. Аналогично провести районирование микроклиматических условий исследуемой территории.

Принцип целенаправленности обязывает подчинить разработку системы методов единой цели – выявлению пространственной дифференциации в городской среде посредством районирования на основе концептуальных критериев оценки и анализа исследуемой территории.

На основе принципа систематики определяется структура начального этапа инженерного районирования и систему понятий как концептуальную модель внедрения автономных котельных с установкой термообезвреживания ТБО. Схема структуры начального этапа инженерного районирования представлена на рисунке 1.

На схеме выделяется два основных этапа: первый – получение аналитической модели на основе технологических параметров установки термообезвреживания; второй – графоаналитической модели рационального размещения автономных котельных;

Аналитическая модель включает технологические параметры установки термообезвреживания; данные о участках с наибольшей тепловой нагрузкой в распределительной системе; проектные данные. Графоаналитическая модель представляет результат начального этапа в виде карты-схемы характеризующей исследуемую территорию.

На основе принципа полноты деления – проводят деление исследуемой территории на гомогенные участки. Для графоаналитической модели вырабатывается система оценочных уровней. Например, четырехуровневая система представленная на схеме (рис 1). Нулевой уровень – это не соответствие исследуемого участка выбранным критериям. Первый уровень это соответствие исследуемого участка хотя бы одному из выбранных критериев, второй – двум; третий соответствие всем выбранным критериям оценки и анализа исследуемой территории.

Следующий этап районирования исследует участки городской среды третьего уровня согласно принципу целостности. На этом этапе конкретизируются данные по количеству и составу ТБО для установки термообезвреживания, уточняются границы участка, разрабатываются рациональные схемы маршрута транспортировки ТБО.

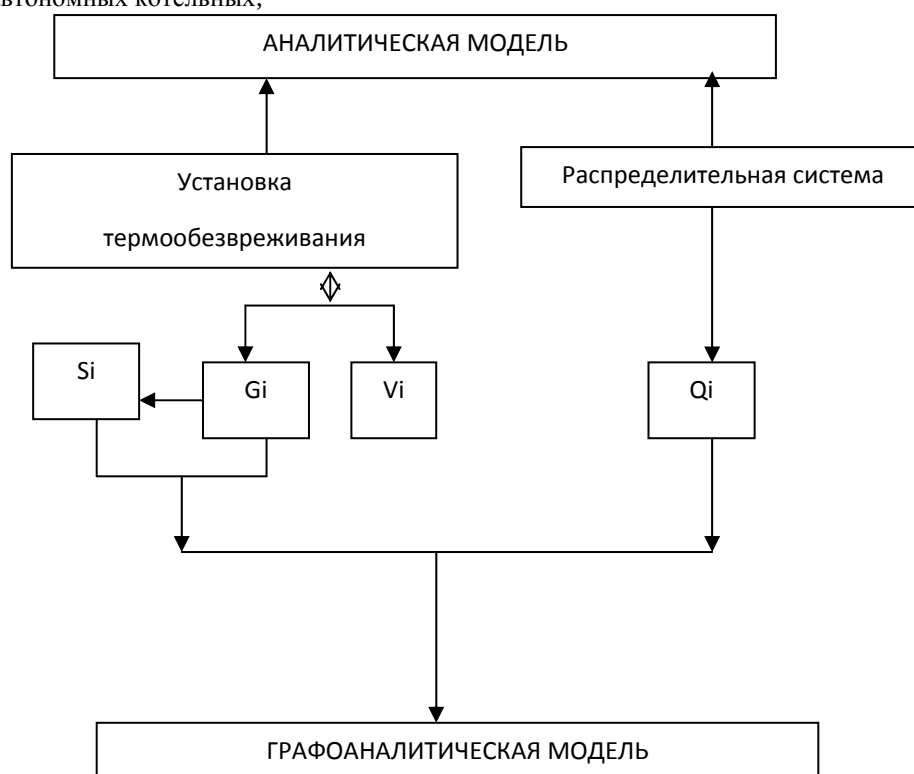


Рис.1. Схема структуры начального этапа инженерного районирования.

Si – площадь сбора ТБО с i-го участка; Gi – количество ТБО ; Vi – объем выброса установки термообезвреживания; Qi – наибольшая тепловая нагрузка в распределительной сети.

Важным является принцип однородности и взаимосвязи уровней. Принцип определяет внутреннюю гомогенность выделяемых участков, а принцип взаимосвязи – внутреннюю гетерогенность, но эти участки должны составлять единое целое, как следствие тесной взаимосвязи составных частей. Например, населенная зона - внутренне гомогенная среда при условии плотной застройки или урбанизированная зона, что отражается на площади сбора ТБО его составе и маршрутах транспортировки. Сочетание зеленой, административной и селитебной зоны, при наличии факторов взаимосвязи – является внутренней гетерогенностью участка. Принцип иерархичности определяет уровни критериев оценки и анализа районизируемой территории: количество и площадь сбора ТБО, наибольшая нагрузка в централизованной распределительной системе или наличие децентрализованного теплоснабжения; благоприятные микроклиматические условия.

Для определения требуемого количества и площади сбора ТБО, используются модели образования ТБО. В этих моделях используются следующие значения переменных величин: население на исследуемом участке, общее число единиц жилья, социальный уровень населения и другие. Наибольшая нагрузка в централизованной распределительной системе или наличие децентрализованного теплоснабжения определяет уровни теплоснабжения на выделенном участке, согласно принципу иерархичности.

Микроклиматические характеристики также автоматически ранжируются.

Принцип последовательных приближений. Общеметодологический принцип, гносеологический принцип общей теории опознавания. Суть этого принципа в восхождении от неопределенного к определенному. Применяется для уточнения технологических параметров (теплотехнических и экологических) работы установки термообезвреживания на предполагаемой территории.

Принцип непересечения границ – принцип исключенного среднего введен из формальной логики, контролирует процедуру районирования, исключая вероятность отнесения участка одновременно более чем в один район.

Принцип устойчивости границ конкретизирует принципы: пространственно-временной неоднородности среды; целостности и не пересечения границ, необходим для выделения устойчивых во времени и пространстве границ и определения характерного времени для существования различных отрезков границ в условиях динамичности выбора маршрутов транспортировки ТБО.

Принцип зональности антропогенного воздействия на окружающую среду используется в

случае внедрения автономных котельных с установками термообезвреживания ТБО на фоне условно чистой среды.

Выводы

1. Исследование топливо ресурсного потенциала ТБО городской территории базируется на принципах инженерно-экологического районирования.
2. Выделены основные критерии оценки городской территории, на котором базируется данный тип районирования.
3. Сформирован принцип локализации процесса термообезвреживания ТБО для установок малой мощности.
4. Выделенные принципы рационального размещения автономных котельных с установками термообезвреживания ТБО от населения позволяют определить технологические и конструктивные особенности установок термообезвреживания малой мощности.

Список литературы

1. Бакланов П.Я. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России/ П.Я. Бакланов, М.Т.Романов- Владивосток: Дальнаука, 2009.-168 с.
2. Романов М.Т. Территориальная организация хозяйства слабоосвоенных регионов России/ М.Т. Романов Владивосток: Дальнаука, 2009.-318 с.
3. Штым А.Н., Воротников Е.Г., Распутин О.В., Штым К.А. Опыт освоения вихревой технологии сжигания твердого топлива // Энергетик.- 2011.- №9.- с.23-25.
4. Штым А.Н., Штым К.А., Дорогов Е.Ю. Котельные установки с циклонными предтопками: монография / А.Н. Штым, К.А. Штым, Е.Ю. Дорогов; Дальневос.федерал.ун-т.- Владивосток: Изд-во дом Дальневос.федерал.ун-та, 2012.-421 с.
5. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования: монография / А.М.Гримитлин, Т.А.Дацюк, Д.М. Денисихина.- СПб : АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.
6. Борисенко К.А., Зайцев О.Н. Современные системы обеспечения теплового режима зданий // Труды Междунар. научно-технической конф. «11-ой Европейский форум энергетиков». – Opole (Poland). – 2008.- С. 247-252.
7. Lubarec A.P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // MOTROL, 2009, №11, p.214-219
8. Socio-Economic Geography in Russia/ a team of authors; [ed.by P.Ya.Baklanov, Academician of RAS]. The Russian Geographical Society. – Vladivostok: Dalnauka, 2015, 310 p.
9. Зайцев О.Н., Топорен С.С., Лукьянченко Д.М. Теплогенерирующие установки малой мощности с вихревыми топками: монография / О.Н.

Зайцев, С.С. Топорен, Д.М. Лукьянченко. - Одесса: ОДАБА, 2014, 132 с.

10. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Пром. теплотехника. — 2008. № 5 с. 62-68;

11. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника. — 2009. № 1 с. 67-73

12. 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.

Zaitsev O.N.

EVALUATION CRITERIA AND ANALYSIS OF THE TERRITORY FOR SUPPLY OF THE ENGINEERING ZONING

Summary. It was revealed that at present the most promising is to provide energy for decentralized heating systems boiler installation with the local units of thermal neutralization of solid household waste and heat recovery for the heating and hot water. However, the rational use of municipal solid waste is possible with engineering and ecological zoning for the location of the autonomous heating plants. A number of criteria for energy zoning of residential areas for more efficient use of heat energy in plants for thermal destruction of solid waste. The principles of rational distribution of independent boilers with installations for thermal destruction of solid waste.

Key words: for thermal, municipal solid waste, district heating.

УДК 697.11

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ИНЖЕНЕРНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Зайцев О.Н.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

(Статья по проекту Программы развития КФУ ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «ГИС-Ландшафт»)

Аннотация. Сформулированы принципы комплексного моделирования и реализации модели: оценка топливно-ресурсного потенциала; определение тепловых потерь в распределительной сети; применение рациональной системы сбора ТБО; микроклиматическая характеристика. Выделены положительные характеристики применения локализации термообезвреживания в противовес недостаткам предприятий большой мощности. Анализ принятой математической модели показал, что при последовательном увеличении плотности населения от участка к участку количество теплоты, которое можно получить при термообезвреживании увеличивается почти в прямой последовательности. Выявлено, что для определения места рационального расположения автономной котельной с установкой термообезвреживания ТБО необходимо, чтобы производительность установок была не менее мощности для обеспечения теплом 1200 человек.

Ключевые слова: термообезвреживание, твердые бытовые отходы, теплоснабжение.

Введение и анализ публикаций

Принципы математического моделирования при реализации принципов инженерного районирования теплоснабжения от твердых бытовых отходов на основе принципов предложенных профессором М.Т.Романовым в территориальной организации хозяйства слабоосвоенных регионов России [2, 3]. Также при построении моделей были использованы данные монографии авторского коллектива под общей редакцией академика Бакланова П.Я. по территориальным социально-экономическим структурам [7].

Согласно основной методологии принята концептуальная модель – основанная на трех оценочных критериях: количество топлива (ТБО) и площадь сбора ТБО; наибольшая тепловая нагрузка в городской распределительной тепловой сети; благоприятные климатические характеристики для рассеивания выбросов [1, 4, 10].

Цель работы: разработка методических основ энергодиагностики Крымского полуострова на основе энергозамещения традиционных видов топлива твердыми бытовыми отходами для формирования геопортала современных ландшафтов региона.

Основные задачи:

1. Анализ современного опыта, методик и технологий инженерного районирования Дальневосточного региона на основе ГИС-технологий и данных ДЗЗ;

2. Разработка теоретических и методических энергозамещения традиционных

видов топлива твердыми бытовыми отходами для формирования геопортала современных ландшафтов региона.

Для исследования были использованы материалы, предоставленные Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук», в частности разработчиками геопортала ТИГ в рамках программы мобильности «ГИС-Ландшафт» Программы развития КФУ ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

Основной раздел

Реализация первого принципа пространственно-временной неоднородности городской среды в графо-аналитической трактовке теоретически показывает количество ТБО и площадь жилой территории с которой это количество ТБО собирается.

В данную графоаналитическую модель необходимо включить прогноз изменения количественного и качественного состава ТБО, учитывая проектирование и реконструкции жилой территории. На основании существующих карт-схем распределительных тепловых сетей провести анализ участков, где наибольшая тепловая нагрузка и внести данные в графо-аналитическую модель исследуемой территории с учетом развития территории. Аналогично провести районирование микроклиматических условий исследуемой территории.

Для определения требуемого количества и площади сбора ТБО, используются модели

образования ТБО. В этих моделях используются следующие значения переменных величин: население на исследуемом участке, общее число единиц жилья, социальный уровень населения и другие. Наибольшая нагрузка в централизованной распределительной системе или наличие децентрализованного теплоснабжения определяет уровни теплоснабжения на выделенном участке, согласно принципу иерархичности.

Микроклиматические характеристики также автоматически ранжируются.

Для анализа определенной территории использован следующий алгоритм:

- план территории разбит на районы, микрорайоны, кварталы площади одного порядка;
- районы, микрорайоны, кварталы пронумерованы;
- выполнен подсчет количества единиц жилья различного уровня дохода;
- определено удельное количество ТБО (методом статистической обработки);
- количество ТБО в сутки от всего квартала по формуле;
- определено количество тепла получаемого от термообезвреживания для квартала;
- суммировано количество ТБО по маршруту;
- найдено количество теплоты для суммарного числа ТБО по маршруту;
- выполнен анализ графической зависимости;
- для получения мест рационального размещения автономных котельных с установками термообезвреживания отходов введено экономически целесообразную производительность в соответствии с выбранным маршрутом;
- анализ полученных данных позволяет выбирать оптимальную площадь сбора ТБО, производительность котельной и количество модулей термообезвреживания.

Указанный алгоритм реализован следующим образом.

Модель определения площади сбора ТБО основывается на формулах (1) и (2) переменными в этой модели являются численность населения, норма ТБО при различных способах отбора отходов, типа жилья и социальном уровне.

$$S = Bk/d \quad (1)$$

где S – площадь сбора твердых бытовых отходов от населения, $га$;

B – количество ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания, $т/год$;

k – коэффициент вариации;

d – плотность населения, $чел/га$.

$$Bi = PSidi \quad (2)$$

где Bi – количество ТБО используемого в качестве топлива для установки термообезвреживания, $т/год$;

P – норма накопления отходов, $т/чел./год$;

Si – площадь микрорайона сбора твердых бытовых отходов от населения, $га$;

di – плотность населения i -го микрорайона, $чел/га$.

Расчет ведется по площади выделенного участка. Определяется количество ТБО в сутки, количество тепла получаемого при сжигании ТБО, удельные показатели по которым рассчитывается нагрузка установки термообезвреживания и территория поступления ТБО. Суточное количество ТБО с выделенного участка считают по формуле:

$$B = \sum v_i \cdot m \cdot d_{mid} + \sum v_i \cdot n \cdot d_{mid} \quad (3)$$

где v_i – удельное количество ТБО в сутки на одного человека, $кг/сут$;

m, n – число единиц жилья в квартале;

d_{mid} – средняя плотность населения в квартале.

Суточное количество тепла полученного при термообезвреживании ТБО с выделенного участка определяется по формуле:

$$Q = \sum q_{mid} \cdot v_i \cdot m \cdot d_{mid} + \sum q_{mid} \cdot v_i \cdot n \cdot d_{mid} \quad (4)$$

где q_{mid} – средняя теплоемкость ТБО, $МДж/кг$.

Ситуационные модели распределения нагрузки в сетях теплоснабжения используются такие же, как при проектировании тепловых сетей. Увеличение тепловой нагрузки в распределительных сетях на периферических участках зависит от теплопотерь обусловленных снижением температуры теплоносителя. Теплопотери на периферических участках определяют из уравнения теплового баланса:

$$3,6 \Delta Q = \Delta t \cdot c \cdot Gw \quad (5)$$

где Δt – падение температуры теплоносителя

Gw – расход воды, $т/ч$;

c – удельная теплоемкость воды, $кДж/(кг \cdot ^\circ C)$.

Графо-аналитические модели построены для схем 1-3 с определением увеличения тепловой нагрузки для распределительных систем тупикового радиального типа.

Элементарная модель задается условиями, представленными в таблице 1.

Таблица 1.
Базовые данные для элементарной модели площади сбора ТБО

Плотность населения	Удельное количество ТБО	Количество ТБО	Количество теплоты от сжигания ТБО	Удельное к-во теплоты от сжигания ТБО	Низшее удельное количество теплоты
d, чел/га	в, кг/сут·чел	B, кг/сут	Q, МДж	Q/d	(G/d)q _{min}
200	0,82	164	1627,208	8,13604	5,248
400	0,82	328	3254,416	8,13604	5,248
600	0,82	492	4881,624	8,13604	5,248
800	0,82	656	6508,832	8,13604	5,248
1000	0,63	630	4802,49	4,80249	4,032
1200	0,63	756	5762,988	4,80249	4,032
1400	0,63	882	6723,486	4,80249	4,032
1600	0,63	1008	7683,984	4,80249	4,032
1800	0,51	918	5664,978	3,14721	3,264
2000	0,51	1020	6294,42	3,14721	3,264
2200	0,51	1122	6923,862	3,14721	3,264
2400	0,51	1224	7553,304	3,14721	3,264
2600	0,51	1326	8182,746	3,14721	3,264
2800	0,51	1428	8812,188	3,14721	3,264
3000	0,51	1530	9441,63	3,14721	3,264
3200	0,51	1632	10071,07	3,14721	3,264

Зависимости количества ТБО и количество получаемого тепла при термообезвреживании ТБО показаны на рис.1.

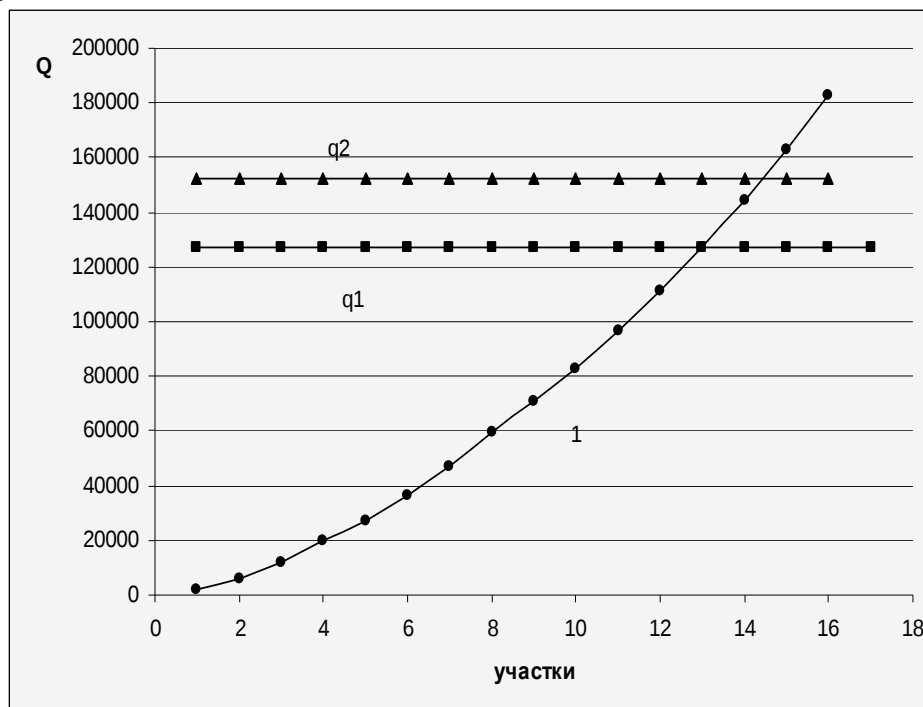


Рис 1. Графоаналитические данные элементарной модели.

Анализ принятой математической модели показал, что при последовательном увеличении плотности населения от участка к участку количество теплоты, которое можно получить при термообезвреживании увеличивается почти в прямой последовательности. На него практически не влияет изменение удельного количества ТБО. Для определения места рационального расположения автономной

котельной с установкой термообезвреживания ТБО ввели производительность установок обеспечивающих тепло 1000 и 1200 человек.

На практике при анализе определенной территории используется алгоритм, приведенный в данной работе ранее.

Апробация работы данной модели проведена для трех схем территорий различного типа:

1. Схема генплана города средней категории поквартально.

2. Схема генплана в соответствии с принципами районирования.

3. Схема ситуационного плана города средней категории по микрорайонам.

Рассмотрим последовательно представленные схемы.

Схема 1. Генплан города средней категории (г. Симферополь). Районирование проведено в соответствии с принципами районирования: территорию разделили на пять районов. По предлагаемому маршруту сбора ТБО провели анализ топливно-ресурсного потенциала выделенного участка и суточное распределение массы ТБО по выбранному маршруту.

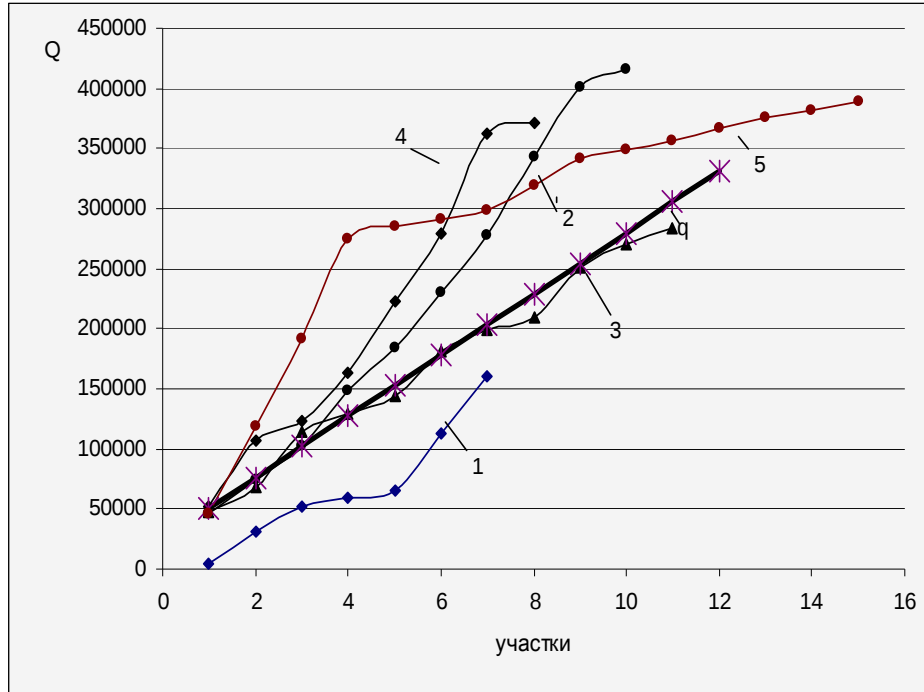


Рис. 2. Аналитическая модель топливно-ресурсного потенциала городской территории: 1,2,3,4,5 – количество теплоты, которое можно получить от ТБО при сборе по маршруту; q – расход тепла потребителя (Схема 1).

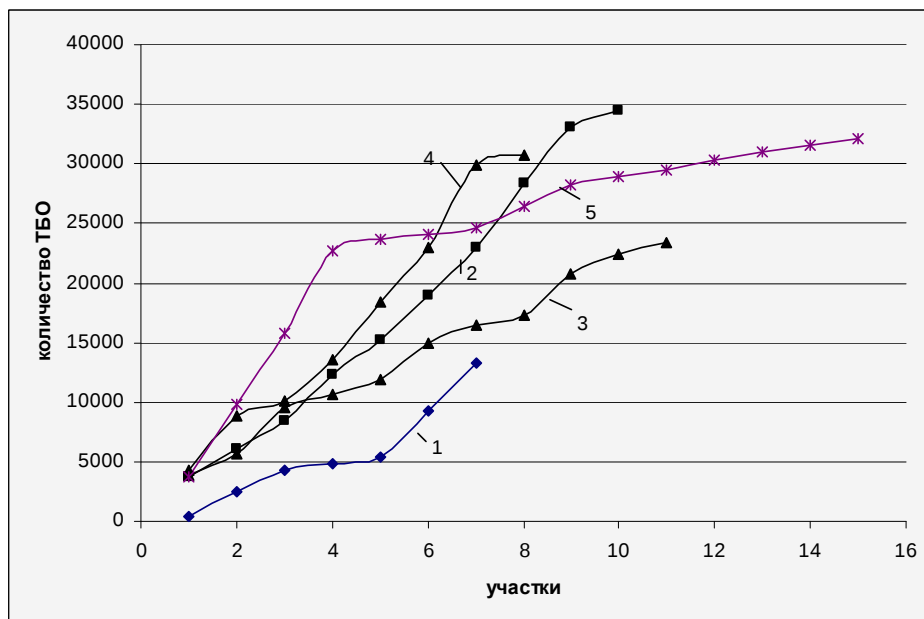


Рис.3. Суточное распределение массы ТБО при проведении районирования. 1,2,3,4,5 – изменение количества ТБО соответственно маршруту сбора ТБО.

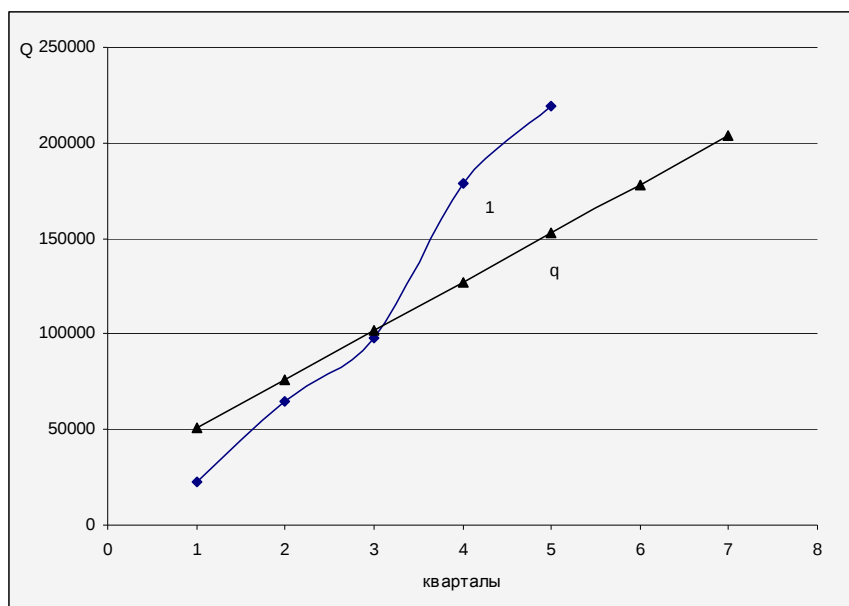


Рис. 4. Аналитическая модель топливно-ресурсного потенциала городской территории: 1 – количество теплоты, которое можно получить от ТБО при сборе по маршруту; q – расход тепла потребителя (Схема 2).

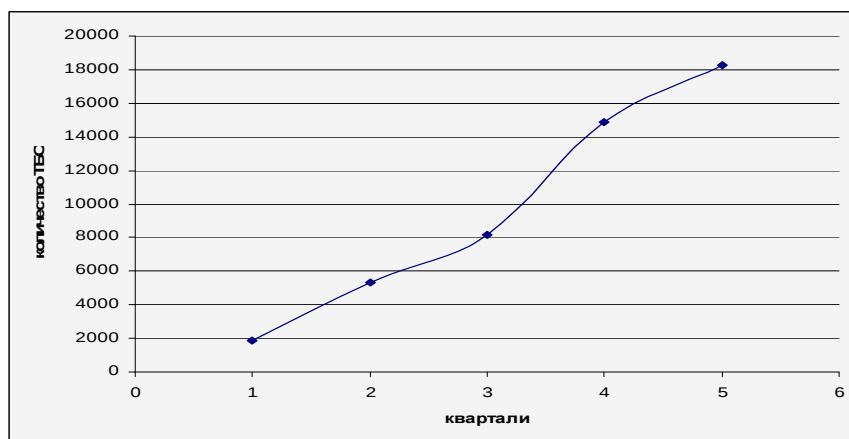


Рис.5. Суточное распределение массы ТБО при проведении районирования по схеме 2. 1 – изменение количества ТБО соответственно маршруту сбора ТБО.

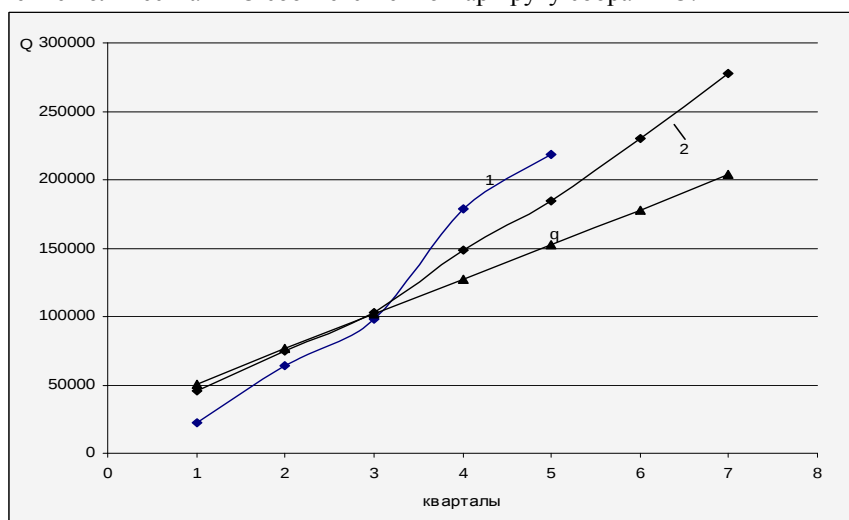


Рис.6. Результаты сравнительной характеристики территории и модели 3.

Таблица 2.
Результаты обработки данных районирования теплоснабжения от ТБО (схема 3).

№ кварталов	Численность населения	Удельное к-во ТБО	Суммированное к-во ТБО по маршруту	К-во теплоты от ТБО
1	2	3	4	5
1	16192	0,82	13277,44	160657
2	45704	0,78	48926,56	592011,4
3	48016	0,785	86619,12	1048091
4	50160	0,67	120226,3	1454738
5	160072	0,76	241881	2926761

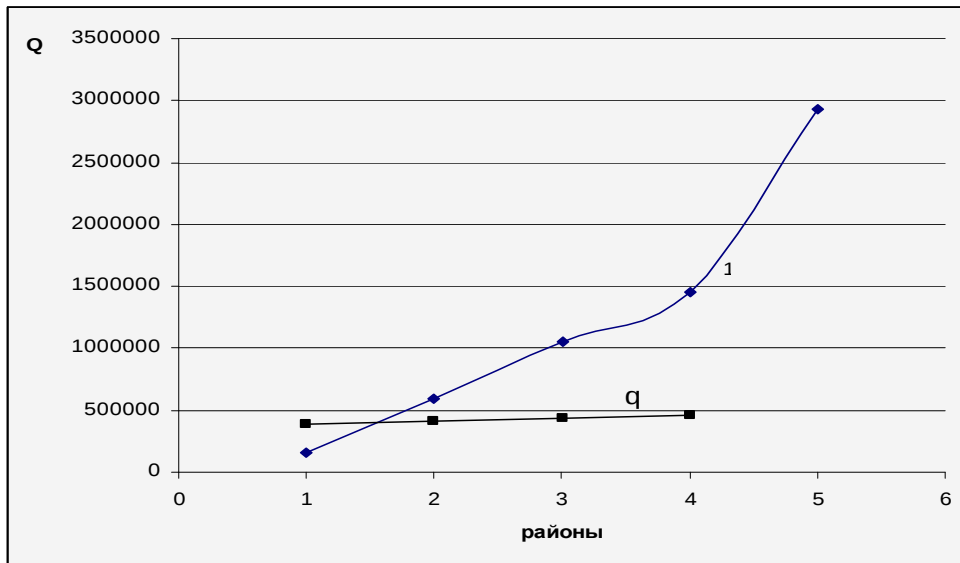


Рис. 7. Аналитическая модель топливно-ресурсного потенциала городской территории:
1 – количество теплоты, которое можно получить от ТБО ; q – расход тепла потребителя. (схема 3)

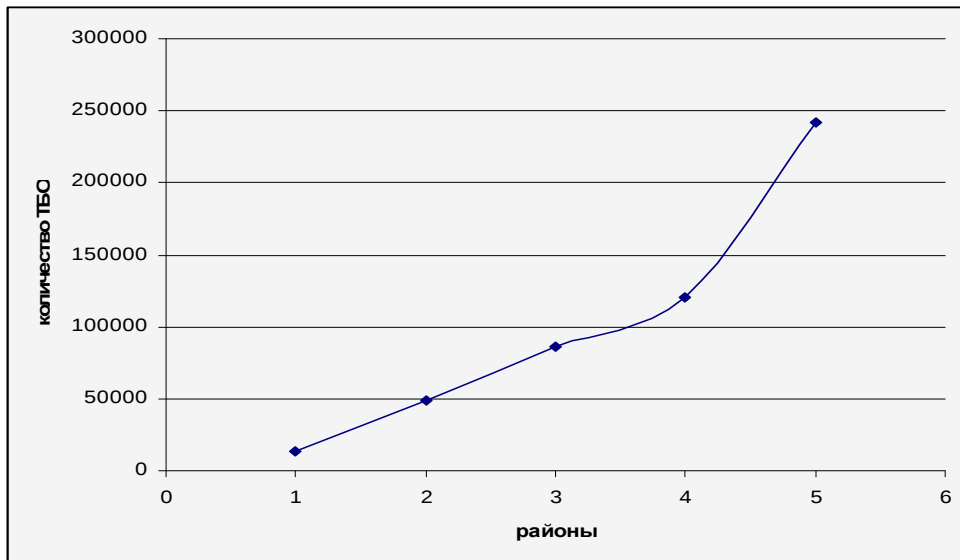


Рис.8. Суточное распределение массы ТБО при проведении районирования по схеме 3.

Сравнительная характеристика графоаналитических данных модели и реальной территории показала, что данные модели района 3 и реального района сходятся в точке оптимума, что подтверждает рациональное размещение автономной котельной с установкой термообезвреживания ТБО.

Моделирование на основе данных по районам также показывает рациональное размещение автономных котельных с установками термообезвреживания. Однако это же и подтверждает что для локальных установок необходимо более детальное районирование и применение

графоаналитических методов. Использование данной модели на практике создает условия рационального использования топлива при сборе ТБО для автономной котельной с установками термообезвреживания, что увеличивает эколого-экономический эффект таких проектных решений.

Выводы

1. Моделирование топливно-ресурсного потенциала ТБО различных видов городской территории показало возможность реализации полученного тепла от установок термообезвреживания ТБО в автономных котельных.

2. Сравнительная характеристика модели и реальных условий показала, совпадение прогностических результатов с реальными данными.

3. Сформированы принципы комплексного моделирования и реализации модели: оценка топливно-ресурсного потенциала; определение тепловых потерь в распределительной сети; применение рациональной системы сбора ТБО; микроклиматическая характеристика;

5. Выделены положительные характеристики применения локализации термообезвреживания в противовес недостаткам предприятий большой мощности.

6. Анализ принятой математической модели показал, что при последовательном увеличении плотности населения от участка к участку количество теплоты, которое можно получить при термообезвреживании увеличивается почти в прямой последовательности. На него практически не влияет изменение удельного количества твердых бытовых отходов. Для определения места рационального расположения автономной котельной с установкой термообезвреживания ТБО принято, что производительность установок должна быть не менее мощности для обеспечения теплом 1000 и 1200 человек.

Список литературы

1. http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D372DC0F-60D4-4FD5-88C6-641411C65E1/0/Chpater6_HE.pdf

2. Бакланов П.Я. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России/ П.Я. Бакланов, М.Т.Романов- Владивосток: Дальнаука, 2009.-168 с.

3. Романов М.Т. Территориальная организация хозяйства слабоосвоенных регионов России/ М.Т. Романов Владивосток: Дальнаука, 2009.-318 с.

4. Штым А.Н., Воротников Е.Г., Распутин О.В., Штым К.А. Опыт освоения вихревой технологии сжигания твердого топлива // Энергетик.- 2011.- №9.- с.23-25.

5. Штым А.Н., Штым К.А., Дорогов Е.Ю. Котельные установки с циклонными предтопками: монография / А.Н. Штым, К.А. Штым, Е.Ю. Дорогов; Дальневос.федерал.ун-та.- Владивосток: Изд-во дом Дальневос.федерал.ун-та, 2012.-421 с.

6. Lubarec A.P., Zaitsev O.N. Power saving technologies in modern systems of water heating // Motrolyzacja I energetyka rolnictwa. Lublin: Motrol, 2009, №11, p.214-219.

7. Socio-Economic Geography in Russia/ a team of authors; [ed.by P.Ya.Baklanov, Academician of RAS]. The Russian Geographical Society. – Vladivostok: Dalnauka, 2015, 310 p.

8. Зайцев О.Н., Топорен С.С., Лукьянченко Д.М. Теплогенерирующие установки малой мощности с вихревыми топками: монография / О.Н. Зайцев, С.С. Топорен, Д.М. Лукьянченко. - Одесса: ОДАБА, 2014, 132 с.

9. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Пром. тепло-техника. — 2008. № 5 с. 62-68;

10. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника. — 2009. № 1 с. 67-73.

11. Юрченко О., Любарец А., Дихтярь Т., Зайцев О. Экспериментальные исследования колебаний скорости в сильнозакрученной газовой струе с прецессирующим вихревым ядром // Труды международной конференции «Энергия -2010», Lublin: Motrol, 2010, сб. № 12С, с.266-272.

Zaitsev O.N.

THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF ENGINEERING ZONING OF HEAT SUPPLY IN THE ANALYTICAL MODELS

Summary. The principles of integrated modeling and implementation of the model: evaluation of the resource potential of the fuel; determination of the heat loss in the distribution network; rational use of solid waste collection system; microclimatic characteristics. Obtained positive characteristics for thermal application localization to counterbalance disadvantages of high power plants. Analysis of the adopted mathematical model showed that sequential increase in population density from site to site the amount of heat that can be obtained for thermal increases almost in direct sequence. It was found that for determining the place of the rational arrangement of autonomous boiler house with installation for thermal MSW requires that plant performance was no less power to provide heat to 1,200 people.

Key words: for thermal, municipal solid waste, district heating.

УДК 628.381.4 / 628.349.087.7

ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕРНОМОРСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Камышникова Е.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: ww_tzo@mail.ru

Аннотация. Дефосфотация может быть использована для предотвращения эвтрофикации сточных вод при их длительном хранении. Данная статья касается физико-химического удаления фосфатов. В лабораторных условиях проведен эксперимент по электролитическому удалению фосфатов из модельного раствора с начальной концентрацией 2,3 мг/л. Представлены результаты электролитической очистки холостого модельного раствора, а также раствора, предварительно обработанного заданными дозами морской воды. Использованы аноды из стали. Плотность тока на аноде составила 18,8 А/м². Показано, что при получасовом электролизе с добавлением 10 мл морской воды на литр раствора можно добиться следовых концентраций, увеличение дозы морской воды в два раза приводит к полному удалению фосфатов, в то время как электролиз холостой пробы за тот же промежуток времени дал эффект очистки 77%.

Ключевые слова: фосфаты, физико-химическая очистка, электролитическая очистка, морская вода, модельный раствор фосфатов

Введение

В настоящее время общество все чаще сталкивается с необходимостью поиска новых источников водоснабжения. Одним из наиболее доступных ресурсов являются сточные воды. В условиях нарастающего дефицита пресной воды очищенные и обеззараженные сточные воды могут быть использованы для нужд сельского хозяйства.

Однако, в случае применения сточных вод в орошении сельскохозяйственных культур существует необходимость усреднения расхода. Это связано как с суточными неравномерностями поступления воды с канализационных очистных сооружений (КОС) и потребления воды для орошения угодий, так и с годичной неравномерностью потребления воды, которая, в свою очередь, связана с продолжительностью вегетационного периода орошаемых культур.

Так как сточные воды богаты биогенными элементами (в особенности – азотом аммонийных солей и фосфором фосфатов), при их усреднении и хранении может происходить явление эвтрофикации.

Известно, что излишняя эвтрофикация вод наблюдается при концентрациях фосфатов более 0,09...1,8 мг/л [1]. Согласно [2], в случае снижения содержания фосфатов до значений менее 0,001 мг/л явление эвтрофикации не происходит вовсе.

Исходя из этого, для предотвращения цветения воды при усреднении и хранении предлагается производить глубокое удаление фосфора фосфатов.

Постановка проблемы и задач исследования

Эффекты очистки, получаемые на реально используемых отечественных сооружениях биологической очистки городских сточных вод, были рассмотрены в работе [3]. Показано, что лишь на 19...28% станций наблюдается дефосфотация до значений ниже 1 мг/л. На 40% станций итоговые концентрации фосфатов превышают 2 мг/л. Существующие сооружения очистки городских сточных вод не обеспечивают надлежащего эффекта очистки.

Способствует повышенным концентрациям фосфатов происходящий в отстойниках активного ила процесс вторичного загрязнения, связанный с пребыванием биологического осадка в анаэробных условиях. В бескислородных условиях происходит выработка ацетата из органических веществ. При потреблении ацетата фосфорными бактериями активного ила происходит выделение в воду накопленных в аэротенках фосфатов. При этом может произойти полный возврат биологически удаленного фосфора в сток.

Предотвращение вторичного загрязнения на классических сооружениях биологической очистки возможно лишь при комбинировании их с физико-химической дефосфотацией [4]. Реагентное удаление фосфора позволяет добиться стабильных концентраций менее 1 мг/л [5].

Анализ данных работы КОС г. Белогорска в период с мая по декабрь 2015 года показал, что среднее содержание фосфатов в воде после биологической очистки превышает 2 мг/л (см. рис.1).

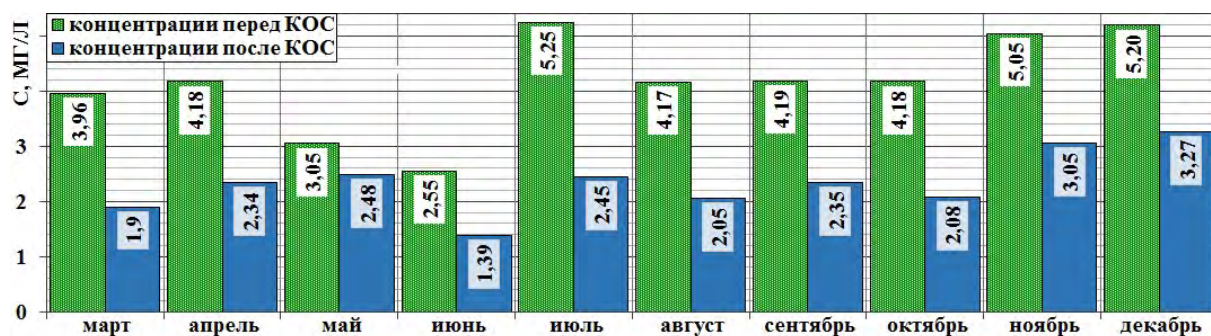


Рис.1. Изменение концентрации фосфатов на входе и на выходе КОС г. Белогорска в период с марта по декабрь 2015 года.

Целью работы было проведение эксперимента по электролитической дефосфатации модельного раствора фосфатов (МРФ) для определения оптимальных значений дозы реагента-дефосфатора при минимальном времени обработки жидкости.

Результаты теоретического исследования

Известно, что путем электролиза можно добиться полного удаления фосфатов из раствора.

Электролитическая очистка воды от фосфатов может производиться посредством растворимых и нерастворимых анодов.

Традиционно для дефосфатации применяют растворимые аноды, изготовленные из сплавов II или III-валентных металлов. При использовании подобных электродов ионы металла попадают в раствор путем растворения анодов.

Наиболее часто используемые растворимые аноды изготавливают из железа или алюминия. Известен метод, предусматривающий использование магниевых анодов – при очистке сточных вод с их использованием образуются безопасные соединения магния. Результаты исследований, представленные в [6] показывают, что для получения эффекта очистки по 99,7% (с достижением концентрации менее 2 мг/л) на 1 м³ сточных вод в час потребляется 70 Вт электроэнергии.

Электролиз с растворимыми анодами удобен в связи с отсутствием необходимости применения реагентов. Недостатками метода является необходимость замены анодов при их срабатывании, а также периодическое использование депассиваторов.

При дефосфатации с использованием анодов из материалов, не окисляющихся электролитически, в сточную воду надлежит дополнительно вводить реагенты, содержащие ионы восстановителя.

Плюсы электролиза с нерастворимыми анодами – отсутствие пассивации электродов и более редкая их замена (связанная, например, с набуханием и отслаиванием материала графитовых анодов), однако при этом возникает потребность в реагентном хозяйстве и необходимость применения дорогостоящих реагентов.

В лабораторных условиях проведен предварительный эксперимент по электролитической очистке растворимыми стальными анодами в присутствии ионов магния и кальция. В качестве недорогого источника данных ионов использована черноморская вода с соленостью 18‰.

Известно, что процентные соотношения между веществами, входящими в состав морской соли, постоянны [7]. Практически это означает, что морская соль содержит по массе 3,7% магния и 1,2% кальция. Пересчитывая эти данные на среднюю соленость Черного моря, получим соответственно 66 и 21 мг магния и кальция в каждом 100 мл черноморской воды.

Планируемый результат эксперимента состоял в связывании фосфатов в нерастворимые соединения железа, кальция и магния с последующей их коагуляцией образующимися на катоде гидроксидами указанных металлов.

Результаты эксперимента

Выбор исходной концентрации фосфатов в МРФ. Для определения требуемой концентрации фосфатов была выполнена обработка данных работы КОС г. Белогорска.

Согласно расчету, доверительный интервал концентраций фосфатов в сточной воде при вероятности 95% составил $2,34 \pm 1,25$ мг/л.

Приготовление МРФ. Модельный раствор был приготовлен на основе водопроводной воды с добавлением ионов аммония и фосфат-ионов. Состав раствора приведен в таблице 1.

Таблица 1.
Состав МРФ

Вещество	Доза по сухому веществу, мг/л	Концентрации, мг/л		
		PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻
Ортофосфорная кислота	2,41	2,3	-	-
Водный аммиак	4,08	-	0,89	-
Хлорид аммония	13,87	-	4,68	9,20

Контроль концентраций ионов в растворе. В ходе эксперимента были использованы следующие методы анализа:

- фотоэлектроколориметрический метод определения фосфатов по ПНД Ф 14.1:2:4.112-97 [8], предусматривающий обработку проб кислым молибденовым реактивом и определение оптической плотности при длине волны 690 нм;

- фотоэлектроколориметрический метод определения аммиака и ионов аммония согласно ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013;

- титриметрический метод определения общей и кальциевой жесткости трилоном Б по ГОСТ 31954-2012 с индикаторами мурексид и эриохром черный;

- расчетный метод определения магниевой жесткости как разности общей и кальциевой жесткостей;

Для контроля pH использован лабораторный pH-метр pH-150M.

Лабораторная установка.

Предварительный эксперимент проводился в электролизной ячейке без мембраны. Объем установки составлял 3,5 л. Обработка воды производилась посредством растворимых стальных анодов.

Условия эксперимента. Плотность тока на аноде составляла 18,8 А/м². Отбор проб для проведения анализа производился через 16 минут, а также через 33 минуты после начала обработки раствора.

Эксперимент включал три серии опытов. В рамках первой серии выполнена электролитическая обработка холостой пробы, т.е. МРФ без добавления морской воды. Вторая серия опытов проводилась на МРФ с добавлением 10 мл морской воды на литр раствора. При проведении третьей серии опытов доза морской воды была увеличена до 20 мл на литр раствора.

Результаты эксперимента. Концентрации и эффекты очистки, полученные в ходе эксперимента за промежутки времени 16 и 33 мин, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты эксперимента по электролитической очистке МРФ

Параметр эксперимента	№ серии опытов		
	1 (холостая)	2	3
D_{MB} , мл/л	0	10	20
$C_{en}PO_4^{3-}$, мг/л	2,3		
$C_{16}PO_4^{3-}$, мг/л	0,792	0,256	следы
$\mathcal{E}_{16}$, %	66	89	96
$C_{33}PO_4^{3-}$, мг/л	0,478	следы	0,0
$\mathcal{E}_{33}$, %	79	96	100

Обозначения в таблице: $C_{en}PO_4^{3-}$ – начальная концентрация в МРФ, мг/л; $C_{16}PO_4^{3-}$ – концентрация фосфатов после электролиза за первый промежуток времени (16 минут), мг/л; $\mathcal{E}_{16}$ – эффект очистки за первый промежуток времени; $C_{33}PO_4^{3-}$ – концентрация фосфатов после электролиза в течение 33 минут, мг/л; $\mathcal{E}_{33}$ – эффект очистки за второй промежуток времени (33 минут).

Из таблицы 2 видно, что шестнадцатиминутный электролиз холостой пробы позволил добиться снижения концентрации фосфатов на 66%, что соответствует конечной их концентрации 0,792 мг/л. Увеличение времени обработки до 33 минут привело к конечной концентрации фосфатов 0,478 мг/л, т.е. эффект очистки составил 79%. Полученный результат связан с выделением на аноде ионов железа и связыванием оных с фосфат-ионами и ионами гидроксида в нерастворимые соединения (гидроксиды и фосфаты железа).

Электролиз пробы, которая была предварительно обработана 10 мл/л черноморской воды с соленостью 18‰, привел к более глубокой степени очистки – шестнадцатиминутный электролиз привел к эффекту очистки 89% (0,256 мг/л), увеличение времени обработки в два раза позволило достигнуть следовых концентраций фосфатов.

Под следовыми концентрациями здесь подразумеваются концентрации фосфатов менее 0,05 мг/л, т.е. значения, не превышающие нижний предел корректных измерений по используемой методике определения фосфатов (методика применяется при концентрациях фосфатов в диапазоне 0,05...80 мг/л) [8].

Увеличение дозы морской воды в два раза (до 20 мл морской воды на литр МРФ) позволило добиться следовых концентраций уже в течение шестнадцатиминутного электролиза. Дальнейшая обработка воды привела к полному удалению фосфатов.

Ускорение процесса очистки при добавлении морской воды связано с увеличением ее электропроводности. Расчетная удельная электропроводность МРФ (согласно примерного расчета, приведенного в [9]) составила 31,7 мкСм/см, в то время как после добавления 10 мл черноморской воды с солесодержанием 18‰ данное значение возросло до 308,6 мкСм/см. Электропроводность раствора после добавления 20 мл морской воды составила 585,5 мкСм/см.

На рис.2 показано изменение окраски молибденового реактива [8], при реакции с содержащимися в модельном растворе фосфатами до электролиза и после (через заданные промежутки времени). Бюксы с анализируемой пробой, расположенные в первом столбце рисунка соответствуют серии опытов с холостой пробой, во втором и третьем столбцах – соответственно опытам с пробами, обработанными с добавлением 10 и 20 мл/л морской воды. Заметно, что пробам, которые проходят электролиз в присутствии дозы морской воды соответствует меньшая интенсивность окраски, что указывает на более глубокое удаление фосфатов из раствора.

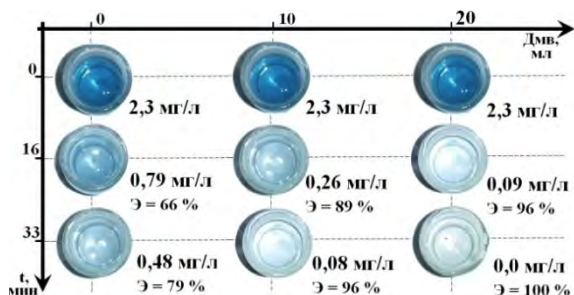


Рис. 2. Изменение окраски кислого молибденового реактива [8] при восстановлении фосфорно-молибденовой гетерополиокислоты витамином С до окрашенного в голубой цвет фосфорно-молибденового комплекса.

Обозначения на рис.2: $D_{\text{мв}}$ – доза морской воды, мл, добавляемая перед электролизом на литр модельного раствора; t – время, в течение которого производится электролитическая обработка модельного раствора, мин.

Дополнительно была проведена серия опытов, предусматривающих обработку МРФ морской водой в тех же дозировках, но без электролиза. После введения доз морской воды была предусмотрена экспозиция в течение 50 минут. Эффект очистки при этом составлял 11,3-11,6% в зависимости от вводимой дозы морской воды. Низкий эффект очистки связан с тем, что при малых начальных концентрациях фосфатов нерастворимые соединения с кальцием и магнием образуются в виде мелких кристаллов с высокой сопротивляемостью к седиментации. Для удаления подобных кристаллов требуется использование фильтрационных сооружений. В случае же электролитической очистки происходит коагуляция кристаллов образующимися на катоде гидроксидами кальция и магния.

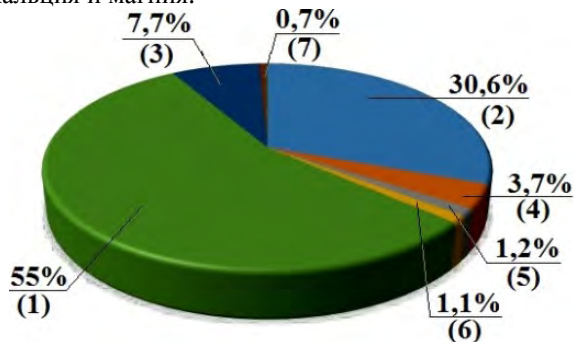


Рис. 3. Процентное содержание основных катионов и анионов в морской воде [7].

Обозначения на рис.3: 1 – хлориды; 2 – натрий; 3 – сульфаты; 4 – магний; 5 – кальций; 6 – калий; 7 – примеси, суммарное содержание которых составляет менее 1%.

Помимо кальция и магния, непосредственно расходуемых в процессе очистки, с дозой морской воды в МРФ также попадает некоторое количество других веществ. Концентрацию их можно рассчитать исходя из постоянства состава морской

воды. На рис.3 приведена диаграмма, показывающая процентное соотношение между содержащимися в морской воде веществами. Диаграмма составлена по данным, приведенным в статье [7].

Зная соленость морской воды и учитывая постоянство ее состава, можно вычислить удельные массы веществ, вносимых в модельный раствор каждым миллилитром морской воды. Основная масса приходится на ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы [7]. Согласно расчету, в 1 мл черноморской воды с соленостью 18‰ содержится 5,5 мг натрия, 9,9 мг хлоридов и 1,4 мг сульфатов. Также присутствуют иные ионы, но в меньших количествах. Расчетные удельные массы веществ, вносимых в МРФ с морской водой, приведены в таблице 3.

Таблица 3.
Расчетные массы веществ

Наименование	$M_{\text{уд}}$, мг на мл морской воды	Масса указанных веществ в дозе морской воды, добавляемой для дефосфотации	
		в 10 мл	в 20 мл
Хлориды	10,0	99,6	199,1
Натрий	5,54	55,4	110,7
Сульфаты	1,39	13,9	27,8
Магний	0,667	6,67	13,34
Кальций	0,210	2,10	4,20
Калий	0,199	1,99	3,98
Гидрокарбонаты	0,074	0,736	1,471
Бромиды	0,017	0,072	0,144
Борная к-та	0,013	0,134	0,268
Стронций	0,007	0,170	0,340
Фториды	0,001	0,005	0,010

Обозначения в таблице 3: $M_{\text{уд}}$ – удельная масса веществ, содержащихся в морской воде, мг на мл.

На рис.4 и 5 показаны массы основных веществ, содержащихся в морской соли, приходящиеся на каждые 50 и 100 мл черноморской воды. Принятая в расчете соленость – 18‰, что соответствует средней солености Черного моря.

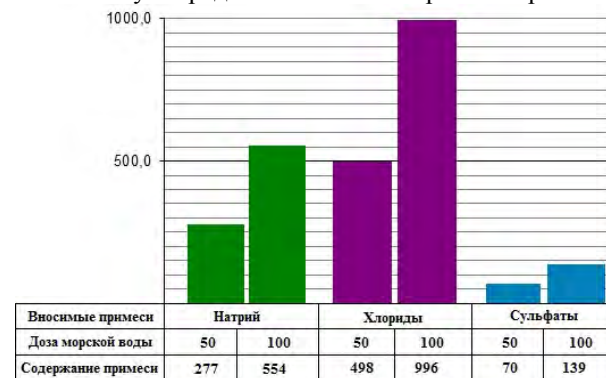


Рис.4 Содержание натрия, хлоридов и сульфатов в 50 и 100 мл черноморской воды с соленостью 18‰.

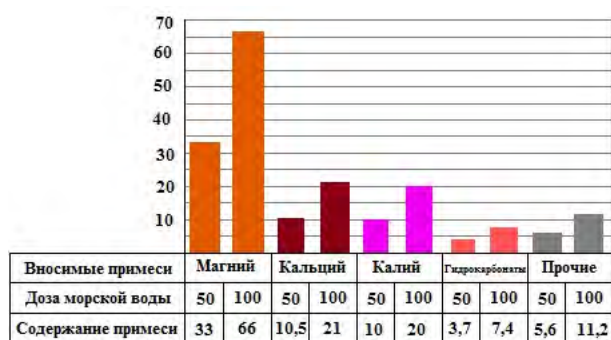


Рис.5 Содержание магния, кальция, калия и гидрокарбонатов в 50 и 100 мл черноморской воды с соленостью 18‰.

Анализ результатов

В процессе исследования был проведен предварительный эксперимент по электролитической дефосфатации МРФ для определения оптимальных значений дозы реагента-дефосфатора при минимальном времени обработки жидкости. В качестве упомянутого реагента была использована вода Черного моря с соленостью 18‰.

При электролитической обработке МРФ морская вода показала себя в качестве эффективного интенсификатора дефосфатации. Проведенные эксперименты с добавлением 10 и 20 мл на литр модельного раствора позволили добиться концентраций менее 0,05 мг/л при исходной концентрации, составляющей 2,3 мг/л.

При проведении проверочных опытов по химическому осаждению без электролитической обработки с предварительным добавлением аналогичных объемов морской воды и экспозицией в течение 50 минут, полученный эффект очистки от фосфатов не превысил 12%, что связано с образованием мелких слабоосаждаемых кристаллов фосфатов кальция и магния.

В ходе эксперимента была предусмотрена серия опытов по электролитической обработке холостой пробы, в ходе которой получен эффект очистки 66...79%. Данный результат связан с тем, что материал анодов выделял в раствор ионы железа, приводящие к образованию кристаллов фосфатов.

Электролиз МРФ в присутствии морской воды позволил добиться полного удаления фосфатов из раствора. Интенсификация процесса связана с увеличением электропроводности воды, а также наличием в морской воде ионов кальция и магния, образующих в процессе электролиза нерастворимые фосфаты и гидроксиды. При добавлении 10 мл морской воды на литр модельного раствора расчетная удельная электропроводность возросла в 9,7 раза, при добавлении 20 мл – в 18,5 раза.

Ускорение процесса удаления фосфатов может привести к снижению затрат на электроэнергию.

Также в процессе электролитической очистки МРФ с добавлением морской воды образуется большее количество электрофлотошлама за счет большей концентрации ионов кальция и магния, что способствует более продуктивному извлечению образующихся нерастворимых фосфатов в процессе коагуляции.

Также, согласно методу, изложенному в [10] при содержании хлоридов 0,06...12,13 мг/л возможна электролитическая обработка воды выделяющимся на электродах хлором. При этом одним из результатов обработки будет снижение концентрации азота аммонийных солей, который наряду с фосфором фосфатов также способен вызывать явление эвтрофикации. Удаление аммонийного азота будет проходить путем окисления хлором через монохлорамин NH_2Cl , дихлорамин NHCl_2 и трихлорамин NCl_3 до свободного азота N_2 . Для оптимального протекания данного процесса требуется лабораторная установка с минимально возможными в техническом плане межэлектродными пространствами – около 1 мм.

Выводы и рекомендации

1. Сточная вода, используемая для нужд орошения, должна быть очищена от включений, которые приводят к эвтрофикации, в особенности – фосфора. Осадить физико-химическим путем возможно лишь фосфор ортофосфатов. Один из методов очистки, позволяющих добиться глубокого удаления фосфатов из раствора – электролитическая очистка.

2. В лабораторных условиях произведены три серии опытов по электролитической очистке модельного раствора фосфатов с использованием растворимых анодов из стали. Электролиз жидкости производился в присутствии заданных доз черноморской воды с соленостью 18‰, при плотности тока на аноде равной 18,8 А/м².

3. Электролитическая очистка холостой пробы привела к снижению концентрации фосфатов на 66% при времени обработки 16 минут и на 79% при времени обработки 33 минуты. Конечные концентрации фосфатов составили 0,79 и 0,48 мг/л соответственно.

4. Предварительное добавление к модельному раствору дозы морской воды 10 мл/л позволило добиться эффекта очистки 89% (0,26 мг/л) при электролизе в течение 16-ти минут, и следовых концентраций фосфатов (менее 0,05 мг/л) при обработке в течение 33 минут.

5. Двукратное увеличение дозы морской воды (до 20 мл/л) привело к интенсификации удаления фосфатов. Следовые концентрации фосфатов получены уже после 16-ти минутного электролиза. Обработка в течение 33-х минут позволила добиться полного удаления фосфатов.

6. Теоретическое патентное исследование показывает, что при дефосфатации воды методом электролиза возможно одновременное удаление аммонийного азота путем окисления выделяющимся

на электроде хлором через монохлорамин, дихлорамин и трихлорамин до газообразного азота. Для интенсификации данного процесса рекомендуется проведение процесса в установках с минимально возможными в техническом плане межэлектродными пространствами.

Список литературы

1. Примаков И.Д. Экологічні проблеми землеробства [Текст]. – Київ: Центр учбової літератури, 2010 г. – 560 С.
2. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие для вузов [Текст] /С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; Под ред. С.В. Яковлева. – 2-е издание, переработанное и дополненное – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.
3. Данилович Д.А., и др. Анализ данных работы очистных сооружений российских городов – основа для технологического нормирования [Текст] // НДТ. 2015. №3-4. С.18-28.
4. Большаков Н.Ю. Оптимизация биологической дефосфотации. Эффективное удаление фосфатов на очистных сооружениях [Электронный ресурс] //Стройпрофи. 2013. № 7(16). С.48-50. Режим доступа <http://stroyprofi.info/files/pdf/16/stroyprofi-16-48.pdf>, свободный (дата обращения 03.11.2015).
5. Родионов А.А. и др. Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов. Опыт очистных сооружений

г.Набережные Челны [Текст] // НДТ. 2015. №2. С.26-33.

6. Dr. J. Bilbao, Dipl.-Ing. S. Egner. Elektro chemisches Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor [Электронный ресурс] / Fraunhofer IGB [Официальный сайт] – режим доступа <http://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/kompetenzen/physikalische-prozesstechnik/naehrstoffmanagement/rueckgewinnung-von-phosphor.html>, свободный (дата обращения 08.11.15).

7. Деев М.Г. Мировой океан. Основные параметры морской воды / М.Г. Деев // Журнал «География». – 2009. - №20.

8. ПНД Ф 14.1:2.4.112-97 Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония [Текст]. утв. ФБУ «ФЦАО» 04.07.1988; введ. в действие с 23.03.2011.

9. Расчет электропроводности воды [Электронный ресурс] // Портал o8ode.ru – режим доступа http://www.o8ode.ru/article/answer/method/The_calculation_of_the_electrical_conductivity_of_water, свободный (дата обращения 08.11.15).

10. Способ электрохимической обработки воды и устройство. [Электронный ресурс]: патент №2500625. Рос.Федерация: рег.номер заявки 2012113272/04 / Бражкин В.С. и др.; Заявлен 03.04.2012. Опубликовано 10.12.2013. Бюл.№34.– режим доступа <http://www.freepatent.ru/patents/2500625>, свободный (дата обращения 15.11.16).

Kamyshnikova E. V.

THE APPLICATION OF BLACK SEA WATER AS DEFOSFOTATOR FOR TERTIARY WASTEWATER TREATMENT

Summary. The defosfotation of wastewater can be used to prevent eutrophication in their length-term storage. This article deals with the physical and chemical removal of phosphate. Experimental electrolytic removal of phosphate from a model solution was conducted in laboratory setting. The concentration of phosphates was 2.3 mg/l. There are results of electrolytic treatment of blank sample solution and solutions who was pretreated prescribed doses of seawater presented. Steel anodes was used. Anode current density was 18.8 A/m². It was shown that trace concentrations of phosphates could obtain during the half-hour electrolysis by addition of 10 ml of seawater. The increase of seawater dose twice leads to complete removal of phosphates. The electrolysis of blank sample lead to the treatment efficiency 77% over the same period of time.

Key words: phosphates, physical and chemical treatment, electrochemical treatment, seawater, model solution of phosphate.

УДК 628.1

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ КОАГУЛЯНТОВ ПРИ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

Котовская Е.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: energia-09@mail.ru

Аннотация. В работе представлены математические модели реагентного фильтрования для коагулянтов: «сернистый алюминий», «хлорное железо», «Полвак», «ПолиДАДМАХ». При помощи этих математических моделей проведены оптимизация дозы коагулянтов и выбор оптимального коагулянта.

Ключевые слова. Оптимизация процесса очистки, математическая модель, реагентное фильтрование, экспериментальная установка, степень очистки.

Введение

Качество жизни человека имеет прямую связь с состоянием его здоровья. В свою очередь здоровье человека прямо пропорционально качеству воды, потребляемой им. На качественный состав воды муниципальных водопроводов влияет множество факторов, таких как: состояние источников централизованного водоснабжения (ИЦВ), степень их загрязнения, динамика их возобновления и самоочищения, технология очистки природных вод и ее составляющие, обеззараживание, качественное хранение, транспортирование и распределение.

Данная работа посвящена одному из процессов технологии очистки. На рынке товаров, используемых для подготовки питьевой воды, имеется значительный ассортимент новых реагентов. Для корректного выбора того или иного коагулянта необходима оценка его эффективности и сравнение с другими традиционными коагулянтами, применяемыми в водоподготовке.

Анализ публикаций

На водопроводных очистных сооружениях (ВОС) наибольшее распространение получили коагулянты сернистый алюминий, хлорное железо. Данные реагенты не всегда эффективны, например, в паводковые периоды или в период пониженных температур коагулянт сернистый алюминий обладает недостаточно эффективными свойствами, при этом на ВОС не проводится достаточной очистки по показателю «мутность» [6, 8].

Так же при применении «сернистого алюминия», в воде, прошедшей очистку остается повышенное содержание остаточного алюминия. Отметим, что остаточный алюминий обладает мутагенным эффектом, воздействует на центральную нервную систему и способствует появлению болезни Альцгеймера [7]. Также к недостаткам традиционных коагулянтов относится:

- малое содержание полезного компонента;
- образование значительного количества осадка при их использовании в схемах с отстойниками;
- плохая растворимость в воде при приготовлении раствора коагулянта;
- слеживаемость коагулянта при сухом хранении и т.д.

Все это предопределило направление исследования, по поиску наиболее эффективного коагулянта, которому были бы не свойственны перечисленные недостатки, и минимизированы эксплуатационные затраты.

Цель и постановка задачи исследований

Цель данной работы – сравнение экономической эффективности применения современных высокомолекулярных коагулянтов с традиционными в схеме очистки воды поверхностных ИЦВ. Для достижения основной и сопутствующей цели были сформулированы и выполнены ряд задач:

- разработка технического решения по созданию биопозитивной конструкции для удаления взвешенных веществ и органических соединений с установленной эффективностью процесса очистки;
- формирование критериев процессов осветления, уточнение критериев процессов фильтрования и сорбции при очистке вод поверхностных ИЦВ от антропогенных загрязнений;
- моделирование процессов очистки поверхностных вод ИЦВ при использовании различных коагулянтов;
- обобщение экспериментальных данных по выбранным критериям и полученной математической модели;
- оптимизирование параметров очистки от взвешенных веществ и органических соединений по эколого-экономическим критериям.

Методика исследования

В работах [1, 2] представлены основные результаты исследования, составлена

математическая модель реагентного фильтрования на крупномасштабной фильтровальной установке (КФУ) схема которой представлена на рис. 1.

Крупномасштабная фильтровальная установка, разработанная по патенту [3, 4], состоящая из первой ступени, включающей в себя осветлитель – рециркулятор осадка и слой фильтрующей плавающей пенополистирольной загрузки и второй ступени, фильтровальной колонны, загруженной активированным углем марки АГ-3.

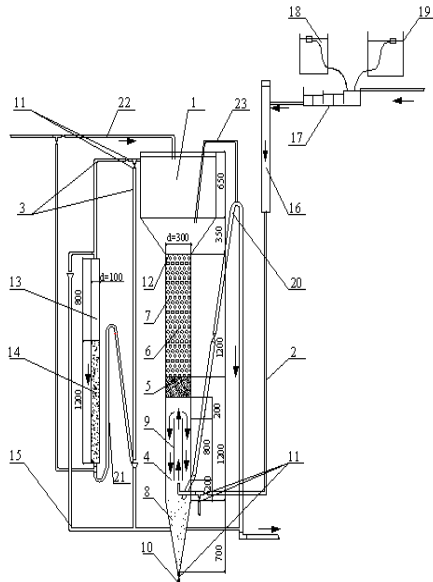


Рис. 1. Крупномасштабная фильтровальная установка

1 – корпус установки; 2 – трубопровод подачи воды для очистки; 3 – трубопровод отвода очищенной воды; 4 – нижняя камера – осветлитель-рециркулятор; 5 – слой взвешенного осадка; 6 – плавающая фильтрующая загрузка; 7 – верхняя камера; 8 – сгуститель шлама; 9 – рециркулятор осадка; 10 – трубопровод для отвода шлама; 11 – задвижка на трубопроводах 2, 3, 10; 12 – пьезометр; 13 – сорбционная колонна; 14 – загрузка сорбционной колонны активированным углем марки АГ-3, высотой 1,2 м; 15 – трубопровод отвода промывной воды; 16 – воздухоотделитель; 17 – смеситель; 18 – бак суспензии замутнителя; 19 – бак дозатора коагулянта; 20 – сифон; 21 – трубопровод отвода очищенной воды из сорбционной колонны; 22 – трубопровод подачи воды на промывку загрузки; 23 – трубопровод перелива из верхней камеры 7

Установка для очистки воды (рис. 1) работает следующим образом. Очищаемая вода подается в корпус установки 1, через трубопровод подачи воды 2. Также в трубопровод 2 дозируется коагулянт и по потребности – замутнитель (раствор бентонита). При прохождении воды через нижнюю камеру 4, при добавлении коагулянта, происходит образование скоагулированных частиц, которые благодаря прохождению через рециркулятор осадка 9 образуют слой взвешенного осадка 5. При

прохождении воды сквозь плавающую грубозернистую загрузку 6, происходит окончательное очищение от загрязнений в верхней камере 7. Очищенная вода выходит из верхней камеры 7, через трубопровод отвода очищенной воды 3 при открытии задвижки 11. Излишний осадок 5 из нижней камеры 4 для взвешенного осадка поступает в рециркулятор осадка 9, затем в сгуститель шлама 8 и удаляется из сгустителя шлама 8 при поступлении сигнала от пьезометров 12 и после открытия задвижки 11 на трубопроводе для отвода шлама 10 во время регенерации. Далее вода, очищенная от взвешенных веществ, по трубопроводу 3 поступает в фильтровальную колонну 13 и фильтруется через загрузку 14, затем отводится по трубопроводу 21 в сток. Подачу воды на промывку загрузки осуществляли по трубопроводу 22. Промывку плавающей фильтрующей загрузки выполняли при открытии задвижки 11 на сифоне 20.

Корпус установки выполнен из трубы круглого сечения $D=300$ мм и имеет общую высоту 4300 мм. Высота плавающей фильтрующей загрузки 1200 мм, крупность зерен 1,5...3,0 мм.

По высоте фильтрующего слоя в корпус врезаны штуцеры ($d_{шт}=3$ мм) к которым подключены пьезометры для контроля потерь напора в слоях загрузки.

После проведения экспериментальных исследований результаты были обработаны и обобщены при помощи стандартных статистических методов [5].

Результаты и их анализ

Обработки экспериментальных данных, разработка основных критериев процесса очистки, обобщение аналитических зависимостей, получение математических моделей реагентного фильтрования на крупномасштабной фильтровальной установке представлены в работах [1, 2].

Общее выражение, описывающее процесс очистки воды в КФУ с применением коагулянта «сернокислый алюминий», имеет индекс корреляции 0,766 (сильная корреляционная связь [5]):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{C_p}{C_0} \times \frac{C}{C_p} = \frac{0,02 + \left\{ 9,46 + 460 \cdot K_v^{1,98} \cdot \left[1 - 3685 \cdot \left(\frac{d}{C_0} - 0,258 \right)^2 \right] \right\}}{C_0} \times \left[0,1717 - 0,4 \cdot \left(\frac{d}{C_p} - 0,51 \right)^2 - 3,1 \cdot \left(\frac{t}{vt} - 0,031 \right)^{1,29} \right], \quad (1)$$

где C_0 , кг/м³ – начальная концентрация взвеси в воде на входе в установку; C , кг/м³ – конечная концентрация взвеси на выходе из установки; C_p , кг/м³ – конечная концентрация взвеси на выходе из осветлителя - рециркулятора осадка; K_v – скоростной критерий; v , м/ч – скорость движения воды в фильтре; t , ч – продолжительность

фильтрации; l_{ϕ} , м – высота слоя фильтрующей загрузки; d , кг/м³ – доза реагента.

Выражение для процесса очистки с применением коагулянта «хлорное железо» имеет индекс корреляции 0,848 (сильная корреляционная связь[5]):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{C_p}{C_0} \times \frac{C}{C_p} = \left[\frac{57,851 \cdot K_v^{0,138} \cdot \left[1 + 3,36 \cdot \left(\frac{d}{C_0} - 0,15 \right)^2 \right]^{0,576}}{C_0} \right] \times \left[0,127 + 3,52 \cdot \left(\frac{d}{C_p} - 0,49 \right)^2 - 945,2 \left(\frac{l_{\phi}}{vt} - 0,0114 \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Для процесса очистки с применением коагулянта «Полвак» получено следующее выражение, индекс корреляции 0,752 (сильная корреляционная связь [5]).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{C_p}{C_0} \times \frac{C}{C_p} = \left[\frac{157,09 K_v^{0,507} \left(1 - 0,75 \frac{d}{C_0} \right)^{0,528}}{C_0} \right] \times \left[0,093 \cdot \left(\frac{d}{C_p} \right)^{1,4} - 0,075 \cdot \exp \left(0,005 - 106,9 \cdot \frac{l_{\phi}}{vt} \right) \right]. \quad (3)$$

Для описания процесса, протекающего в фильтрующей части установки с применением коагулянта «ПолиДАДМАХ» получены соотношения (4) и (5).

В интервале значений критерия d/C_0 от 0,0001 до 0,0055 получено следующее выражение, при индексе корреляции 0,968.

$$\left(\frac{C}{C_0} \right) = 0,002636 \left(\frac{d}{C_0} \right)^{-0,623} + 0,000453 \left(\frac{l_{\phi}}{vt} \right)^{-0,687} - 0,09581$$

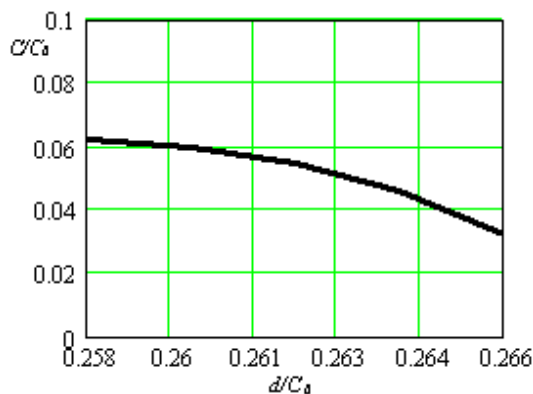
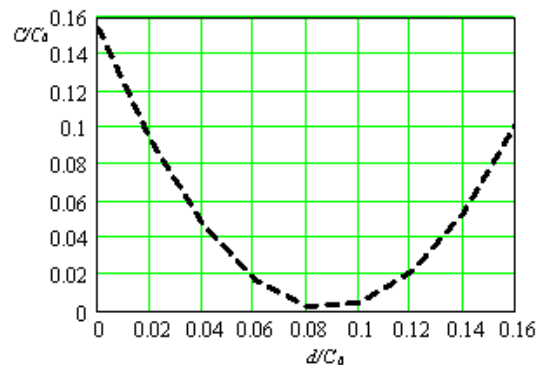
В интервале значений критерия d/C_0 от 0,0055 до 0,021 получено следующее выражение, при индексе корреляции 0,935 (сильная корреляционная связь[5]):

$$\left(\frac{C}{C_0} \right) = 575,47 \cdot \left(\frac{d}{C_0} \right)^{1,71} - 0,0001035 \left(\frac{l_{\phi}}{vt} \right)^{-0,687} - 0,0664$$

Полученные математические модели применим для оценки эффективности испытанных коагулянтов при очистке поверхностных вод ИЦВ от антропогенных загрязнений. При расчетах примем $C_0 = 100 \text{ мг/дм}^3$, скорость фильтрации $v = 6,1 \text{ м/ч}$ (0,0017 м/с), скоростной комплекс $K_v = 0,21$. Для коагулянтов приняты оптимальные условия по комплексам d/C_p (d/C_0) и l_{ϕ}/vt (табл. 1). При помощи полученных математических моделей (1), (2), (3), (4), (5) для четырех коагулянтов оценим эффективность каждого коагулянта и стоимости оптимального коагулянта. При расчетах приняты параметры, отработанные в ходе экспериментальных исследований: $t = 72 \text{ ч}$; $v = 6 \text{ м/ч}$; $C_0 = 300 \text{ мг/дм}^3$; (в установке $l_{\phi} = 1,2 \text{ м}$; $W = 30 \text{ м}^3$). В результате расчетов строим зависимость $C/C_0 = f(d/C_0)$ (рис. 2-6), которые позволят оптимизировать выбор коагулянта.

Таблица 1

Коагулянт	d/C_0	d/C_p	l_{ϕ}/vt	C/C_0
Сернокислый алюминий	0,258	0,51	0,031	0,052
Хлорное железо	0,15	0,49	0,0023	0,059
Полвак	0,866	0,9	0,004	0,013
ПолиДАДМАХ	0,0055	-	0,025	0,011

Рис. 2. Зависимость C/C_0 от d/C_0 для коагулянта «сернокислый алюминий».Рис. 3. Зависимость отношения C/C_0 от d/C_0 для «хлорного железа».

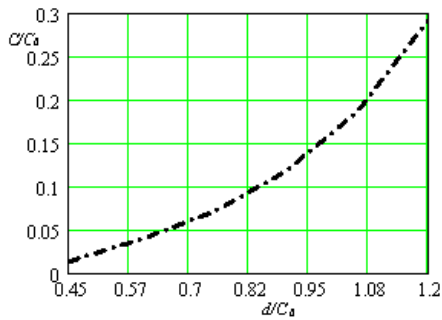


Рис. 4. Зависимость отношения C/Co от d/Co для коагулянта «Полвак».

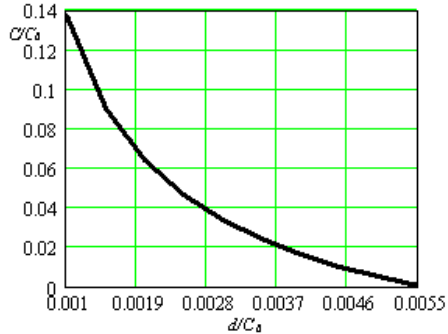


Рис. 5. Зависимость отношения C/Co от d/Co для коагулянта «ПолиДАДМАХ» в диапазоне от 0,001 до 0,0055.

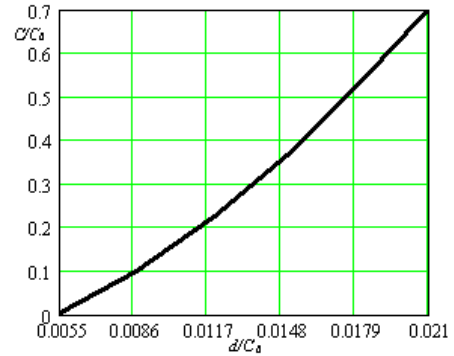


Рис. 6. Зависимость отношения C/Co от d/Co для коагулянта «ПолиДАДМАХ» в диапазоне от 0,0055 до 0,021

Для каждого коагулянта по графикам, приведенным на рис. 2-6, определяется необходимая доза d при трех заданных значениях остаточной концентрации загрязнений $C=0,5; 1; 1,5 \text{ мг/дм}^3$. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2
Зависимость необходимой дозы коагулянта d от остаточной концентрации C

C, мг/дм ³	d, мг/ дм ³			
	«сернокислый алюминий»	«хлорное железо»	«Полвак»	«ПолиДАДМАХ»
0,5	-	1,275	9,9	0,0495
1	-	0,87	13,65	0,03
1,5	3,75	0,48	16,5	0,027

Приведенные (табл. 2) данные использованы для проведения дополнительных расчетов (табл. 3) при расходе очищаемой воды в течении фильтроцикла 30 м³.

Таблица 3
Результаты экономических расчетов

Реагент	d/Co	d, мг/дм ³	d, кг	Стоимость, руб./тонн	Затраты, руб
C=1,5 мг/л (C/Co=0,1)					
«сернокислый алюминий»	0,258	3,87	0,1161	23000	2,670
«хлорное железо»	0,0175	0,2625	0,0078	37000	0,289
«Полвак»	0,84	12,6	0,378	40000	15,120
«ПолиДАДМАХ»	0,0014	0,021	0,00063	175000	0,110
C=1 мг/л (C/Co=0,066)					
«хлорное железо»	0,03	0,45	0,0135	37000	0,499
«Полвак»	0,76	11,4	0,342	40000	13,68
«ПолиДАДМАХ»	0,002	0,03	0,0009	175000	0,158
C=0,5 мг/л (C/Co=0,033)					
«хлорное железо»	0,05	0,75	0,0225	37000	0,833
«Полвак»	0,73	10,95	0,329	40000	13,16
«ПолиДАДМАХ»	0,003	0,045	0,00135	175000	0,236

Из анализа табл. 3 следует, что применение коагулянта сернокислого алюминия не позволяет достичь высокой степени очистки. Наиболее экономически выгодным является применение коагулянта «ПолиДАДМАХ». При применении коагулянта «ПолиДАДМАХ», скоагулированный осадок имеет большую плотность, соответственно и малый объем, что упрощает регенерацию отстойников. Так же для применения традиционных коагулянтов требуется реагентное хозяйство, включающее в себя: растворные и расходные баки; систему насосов-дозаторов. А при применении коагулянта «ПолиДАДМАХ» установка по его приготовлению и дозированию занимает 3 м², проста в эксплуатации. На основании изложенного, целесообразно использование коагулянта «ПолиДАДМАХ».

Выводы

1. В работе представлены математические модели определения степени очистки воды на полупроизводственной фильтровальной установке в зависимости от содержания исходных загрязнений для коагулянтов: «сернокислый алюминий», «хлорное железо», «Полвак», ПолиДАДМАХ.

2. Показана оптимизация выбора дозы коагулянта, а также его вида.

3. На основании данных приведенных в табл. 3. видно, что при равных условиях применения и заданной степени очистки наиболее экономически выгодным является коагулянт ПолиДАДМАХ.

Список литературы

1. Котовская Е. Е. Определение оптимальных доз коагулянта ПолиДАДМАХ при очистке природных вод в системе централизованного водоснабжения / Е. Е. Котовская // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. —

Симферополь: НАПКС, 2009. — Вып. 27. — С. 87—92.

2. Котовская Е. Е. Математическая модель очистки природной воды в установке с плавающей фильтрующей загрузкой с учётом влияния дозы реагента в осветлителе / Е. Е. Котовская // Науковий вісник будівництва. 36 наук. праць. — Харків, 2012. — Вип. 70. — С. 301—307.

3. Пат. 7595 Україна, B01D 21/00. Прояснювач для очищення води / М. М. Гіроль, С. Д. Бойчук, В. О. Мякішев, О. Є. Котовська. — № u20041210372; заявл. 16.12.2004; опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6.

4. Пат. 45093 Украина, МПК CO2F 1/00, B01D 25/00. Установка для очистки воды/ Котовская Е.Е., заявитель и патентообладатель НАПКС. - № u200905184, заявл. 25.05.2009 г.; опубл. 26.10.2009 г., Бюл. №20.

5. Возный С.Т., Гончаров С.М., Ковалев С.В. Основы научных исследований: - К.: Вища шк., 1985. — 192 с.

6. Педашенко Д.Д., Обработка воды реагентами ПолиДАДМАХ и «Аква-АуратТМ10» для водоснабжения г. Ростова-на-Дону. / Д.Д. Педашенко, Л.Н. Божко // Водоснабжение и санитарная техника-Москва, 2005. №10 часть 2. — С. 21—23.

7. Чувилин В.Н. Повышение барьерной роли водопроводных очистных сооружений г. Самары / В.Н. Чувилин, А.К. Стрелков, П.Г. Быкова, А.Д. Смирнов // Водоснабжение и санитарная техника — Москва, 2006. — №9, часть 2. — С. 9—12.

8. Деметков В.В. НПП «СЛАФ» новые возможности в технологических процессах обработки воды. / В.В. Деметков // Вода и водоочистные технологии - Киев, 2006. №3. — С. 52—54.

Kotovskaya E.

COMPARING ECONOMIC EFFICIENCY OF DIFFERENT COAGULANTS IN WATER PURIFICATION

Summary. The paper presents a mathematical model for filtration of chemicals coagulants: «aluminium sulfate», «ferrum chloride», «Polvak». «PolyDADMAC». With the help of these mathematical models of optimization of doses of coagulant and coagulant optimal choice.

Key words: Cleaning process optimization, mathematical model, reactive filtration, the experimental setup, the degree of purification.

УДК 628.1/644.6

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АКВАТРОНИК ФЕСТО ЦЕНТР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Николенко И.В., Салиев Э. И., Крымов Р. С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация: Приведен анализ показателей энергоэффективности, а также динамики их изменения. Выполнена оценка технических потенциалов повышения энергоэффективности в России, а также направления их реализации. Установлено, что насосное оборудование является одним из наибольших мировых потребителей электроэнергии, а повышение его энергоэффективности является важным направлением совершенствования систем водоснабжения и водоотведения. Представлены возможности научно-образовательного центра «Акватроник Фесто Центр», созданного на основе учебных систем и компонентов фирмы «ФЕСТО» по управлению и оптимизация энергопотребления производственных процессов систем водоснабжения и водоотведения.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, водоснабжение, водоотведение, оптимизация, управление.

Введение

Повышение эффективности использования энергии, ресурсов в технических и технологических системах с одной стороны повышает надежность энергоснабжения, а с другой - уменьшает спрос на природные ресурсы. Поэтому условием устойчивого развития и рациональной экономической деятельности является повышение эффективности использования ресурсов и энергии.

Важнейшими характеристиками технического уровня проектируемой и эксплуатируемой системы, машины, их агрегатов являются энергетические, которые отображают объем необходимых энергетических ресурсов для обеспечения соответствующего полезного эффекта от их использования. Энергопотребление изделий определяет стоимость их жизненного цикла для конечных пользователей, а также дополнительные расходы на другие ресурсы. Энергетические характеристики оказывают воздействия на окружающую среду в виде ее загрязнения различными способами и в разной степени. Повышение энергоэффективности приводит к снижению потребления энергии, производство которой оказывает существенное влияние на окружающую среду. При этом следует отметить, что технология, используемая для производства энергии, также оказывает различное воздействие на окружающую среду. Поэтому энергопотребление объекта следует устанавливать и обеспечивать таким образом, чтобы минимизировать стоимость жизненного цикла для конечных пользователей с учетом последствий для других экологических аспектов.

Эффективность использования энергии в экономике страны измеряется основными показателями: производительность энергии,

энергоемкость ВВП, индекс энергоэффективности. В принятой иерархии показателей энергоэффективности верхнем уровне рассматриваются показатели производительность энергии и энергоемкости ВВП, на втором - показатели энергоемкости по отраслям или секторам экономики, на третьем уровне оцениваются показатели энергетической эффективности производства однотипных видов продукции, технологических процессов и услуг в виде специальных физических показателей энергоэффективности в виде удельного расхода энергии на производство единицы продукции, например отопление 1 м² и т.д. На последнем четвертом уровне рассматриваются различные показатели энергоэффективности отдельных технологических процессов, технологий, и видов оборудования, то есть отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к их затратам энергетических ресурсов: КПД агрегата, суточный расход топлива или энергии технологической системы, отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов отношение мощности осветительного прибора к его светопотоку.

Обзор и постановка задач исследований

Развитие человеческой цивилизации сопровождается тенденцией повышения производительности энергии. В последние полтора века производительность энергии повышалась в среднем на 1% в год [1]. Однако этот рост происходит неравномерно: в одни периоды он ускоряется, в другие замедляется.

Для комплексного анализа показателей энергоэффективности наиболее широко

используется энергоёмкость ВВП. Изменения энергоёмкости происходят как по технологическим причинам, так и за счет структурных сдвигов в экономике в целом или в ее отдельных секторах, изменения цен на ресурсы, влияния климатических факторов, социальных и демографических изменений и др. На рис. 1 показана динамика энергоёмкости ВВП ведущих стран мира [2].

Из представленных данных следует, что до первой мировой войны энергоёмкость ВВП России снижалась, а ее динамика согласовалась с траекториями ведущих стран мира. Несмотря на худшие климатические условия, в царской России второй половины XIX века эффективность использования энергии была в 3,5 раза выше, чем в Германии; в 3 раза выше, чем во Франции и Японии; в 4,4 раза выше, чем в Великобритании и США; и в 3,5 раза выше среднемировой.

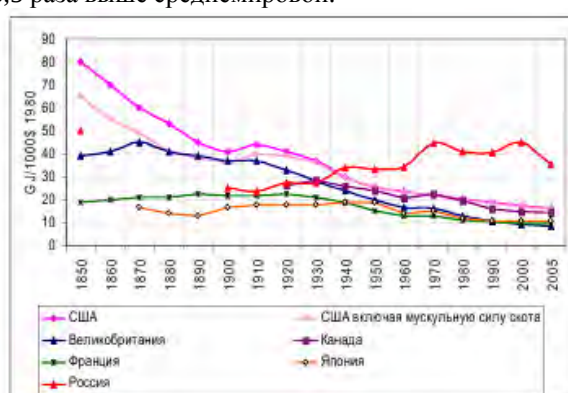


Рис. 1. Динамика энергоёмкости ВВП ведущих стран мира

До начала XX века русская печь в деревянном доме оставалась самой эффективной системой отопления в мире. По эффективности она превышала западноевропейский камин в 3...4 раза. Картина заметно изменилась после революции. В ходе индустриализации в СССР энергоёмкость ВВП неуклонно повышалась. Это происходило на фоне ее снижения в других странах. В итоге, к 1950 г. энергоёмкость ВВП в СССР оказалась существенно выше, чем во всех развитых странах. До середины 70-х годов прошлого века рост энергоёмкости в СССР продолжался. Затем она стала снижаться, но очень медленно: в 1970-1990 гг. в среднем менее чем на 0,5% в год. В эти же годы на Западе наблюдалось намного более динамичное снижение этого показателя. Существующий разрыв в уровнях энергоэффективности России и развитых стран сформировался в основном за счет послевоенного отставания в темпах повышения энергоэффективности. К 1990 г. по энергорасточительности СССР вышел на одно из ведущих мест в мире.

Анализ факторов, определявших трехкратный разрыв в уровнях энергоёмкости ВВП между СССР и США в 1985-1990 гг., показал, что на долю промышленности, определявшей ее высокой материалоемкостью и милитаризацией,

пришлось 45% разрыва, на долю менее совершенной технологической структуры – еще 35%, а на долю всех остальных факторов остальные 20%. Если в царской России все здания, оборудованные водопроводом, имели квартирные приборы учета воды, то в построенных в СССР зданиях приборов учета тепла и воды не было. Приборы учета газа были в квартирах еще в 60-х годах, а затем их демонтировали, а в строящемся жилом фонде не устанавливали. До 1990 г. проектный расход первичной энергии на отопление новых жилых зданий составлял 350...600 кВт·ч/м²/год и в несколько раз превышал зарубежные показатели - 260 кВт·ч/м²/год в Германии и 135 кВт·ч/м²/год в Финляндии и Швеции) [3]. Основной причиной высокая энергоёмкость российского ВВП является сохранение технической и технологической базы плановой экономики СССР.

Высокую динамику снижения энергоёмкости Россия продемонстрировала в конце 20-го и в начале 21-го века. При высоких темпах экономического роста динамично снижалась энергоёмкость ВВП. За 1998-2008 гг., после долгого отставания, Россия вырвалась в мировые лидеры по темпам снижения энергоёмкости ВВП. За десять лет этот показатель снизился на 42% и снижался в среднем более чем на 5% в год, что существенно быстрее, чем в большинстве развитых стран мира. Снижение энергоёмкости ВВП в значительной степени нейтрализовало рост потребления энергии и стало главным энергетическим ресурсом экономического роста. Без прогресса в снижении энергоёмкости потребление энергии в России в 2008 г. на 73% превышало бы фактический уровень, а чистый экспорт энергоносителей снизился бы на 90% [5]. Снижение энергоёмкости происходило по следующим причинам:

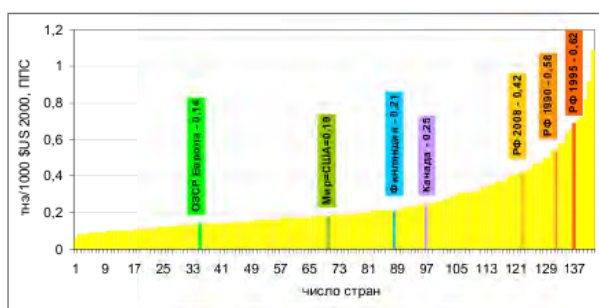
- совершенствования техники и технологических процессов;
- увеличения загрузки имеющегося производственного оборудования по параметрам и по времени;
- за счет структурных сдвигов в отраслях и в экономике в целом.

В 2009 году был принят ФЗ России «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [6]. В общих положениях установлено, что энергетическая эффективность - характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу и т.д. Класс энергетической эффективности - характеристика продукции, отражающая ее энергетическую эффективность. Энергосбережением в соответствии с этим ФЗ называется реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на

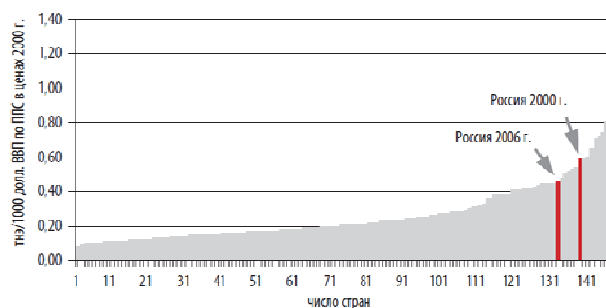
уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.

После длительного и динамичного снижения энергоёмкости ВВП экономический кризис 2009 г. прервал эту динамику. В 2009 г. энергоёмкость ВВП в России выросла на 2,3%, а в 2010 г. снизилась только на 0,2%, то есть оставалась практически неизменной. Проявился парадокс российской политики повышения энергоэффективности: при отсутствии федеральной политики энергоёмкость ВВП быстро снижалась,

а после ее запуска снижаться перестала. Несмотря на заметный прогресс в повышении энергоэффективности, в 2008 г. Россия все еще находилась на 121-м месте из 138 стран по уровню энергоёмкости ВВП (рис. 2). По этому показателю Россия в 2,2 раза превышала среднемировой уровень и уровень США и в 3 раза – европейский уровень. Она также превышала уровни энергоёмкости других стран БРИКС: в 2,1 раза Китая, в 3 раза Индии, в 2,8 раза Бразилии и на 68% – Южной Африки.



а



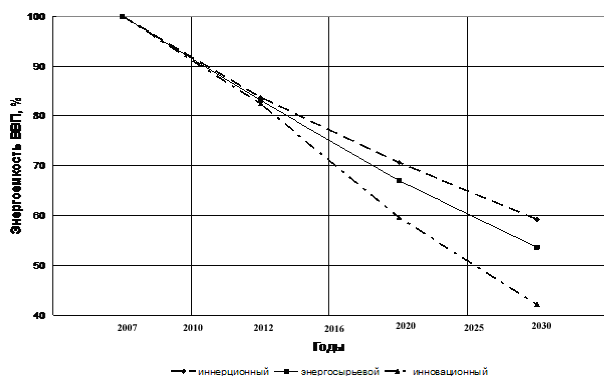
б

Рис. 2. Положение России в рейтинге стран по уровню энергоёмкости ВВП (а) и по месту в рейтинге (б)

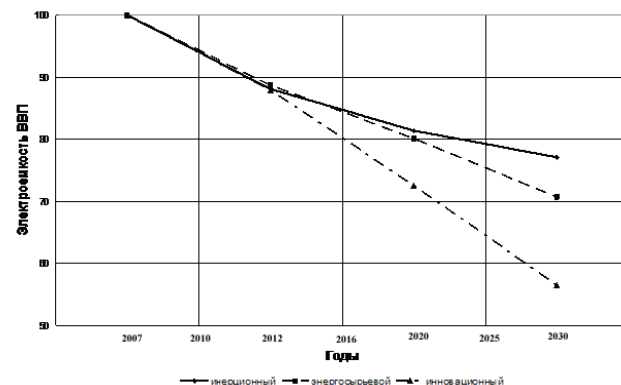
Различия в энергоёмкости отчасти объясняются различиями в структуре экономики, климатом, разной степенью совершенства применяемых технологий. Энерго-ёмкость ВВП Канады равна 60% от российского уровня. Именно из этого сопоставления растут корни задачи по снижению энергоёмкости ВВП России до 2020 г. на 40%. Сравнение со странами со схожим климатом – Финляндией и Канадой – показывает, что потенциал экономии энергии в России (при таком простом методе оценки) составляет не менее 280 млн. тнэ, или 400 млн. тунт.

В Указе Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по

повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» была поставлена задача: снизить энергоёмкость ВВП России на 40% к 2020 г. по сравнению с 2007 г., или снижать ее на 4% в год (рис.3). Ресурс повышения энергоэффективности должен дать эффект, равный всему объему потребления первичной энергии в России в 2008 г. Однако снижение энергоёмкости ВВП России в 2007–2020 гг. на 40% возможно только при условии полной ликвидации разрыва в уровнях энергоёмкости производства основных товаров и услуг с лучшими мировыми образцами уже к 2030 г.



а



б

Рис. 3. Снижение уровней энергоёмкости(а) и электроёмкости(б) ВВП согласно «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ до 2020 г. и оценки на 2030 г. (%)»

Таким образом, Россия располагает одним из наибольших в мире технических потенциалов повышения энергоэффективности, который составляет до 45% от уровня потребления энергии.

Ресурс повышения энергоэффективности является основным энергетическим ресурсом будущего экономического роста страны.

Жилищно-коммунальное хозяйство занимает третье место в РФ после транспорта и энергетики по приросту потребления энергии в 2000-2010 гг. Среди факторов, которые сдерживали рост потребности в энергии в этом секторе, на долю технологического фактора пришлось 28%, еще 17% пришлось на структурный фактор и 55% – на фактор цен. Рост потребления энергии тормозился также за счет снижения численности населения и потребности в горячей воде. Рост жилой площади, а также повышение благоустройства жилого фонда и обеспеченности бытовыми приборами, являлись основными факторами прироста потребности в энергии. Взлет цен на энергию стал основным тормозом роста потребления энергии в жилищном секторе. Если в 2000 г. россияне истратили на оплату энергоснабжения своих жилищ 114 млрд. руб., то в 2010 г. – ровно в десять раз больше – 1140 млрд. руб.

Потребление энергии приводит к затратам конкретных потребителей и загрязнению окружающей среды. Технология, используемая для производства энергии строго, влияет как воздействие на окружающую среду. Поэтому помимо традиционных направлений снижения энергоемкости за счет уменьшения объема используемых энергетических ресурсов, в конце 20-го века в Японии, США, Европейском Союзе сформировалась новая синергическая концепция – *экодизайн*, которая направлена на снижение вредного воздействия на окружающую среду и сокращение потребления энергии, в течение всего жизненного цикла продукции, технологических процессов и услуг. В этот период включают использование сырья, различных материалов и природных ресурсов, процесс производства продукции, упаковки, транспортировки, продажи, эксплуатации и утилизации. Экодизайн учитывает все экологические воздействия продукта с самого раннего этапа его проектирования, а при эксплуатации не должно привести к увеличению потребления энергии, которого также может оказать негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, экодизайн позволяет снизить потребление энергетических ресурсов, что является достаточно важной составляющей в политике Европейского Союза.

Директивы ЕС по экодизайну устанавливают обязательные требования для экологических и энергетических характеристик некоторых видов энергопотребляющего оборудования и продуктов, без снижения потребительских свойств и функциональности, быть безопасными для человека. В соответствии с Директивами Комиссии ЕС - 92/75/CEE, 95/12/CE, 94/2/CE, 96/89/CE и другими, практически у большинства бытовой техники, упаковках лампочек, легковых автомобилей, ключевые потребительские характеристики товара должны указываться на этикетке энергоэффективности. Согласно директиве

Европейского парламента 2005/32/ЕС устанавливается база для определения требований к экодизайну энергопотребляющего оборудования и продуктов, а также вводится маркировки энергоэффективности, которая является обязательным требованием в странах ЕС. Директива ЕС по экодизайну 2010/30/ЕС введена относительно маркировки этикеткой энерго-эффективности в том числе на приборы и оборудование промышленного назначения. В 2012 году принята Директива 2012/27/EU, устанавливающая общие рамки мер по повышению энергоэффективности для достижения цели снижения к 2020 году энергопотребления в Европейском Союзе на 20%.

Обобщая опыт разных стран, использующих маркировку энергоэффективности продуктов, можно выделить следующие направления продвижения энергосберегающей продукции:

- обязательность маркировки энергопотребляющего оборудования и продуктов;
- директивные ограничения производства и продажи энергоемкой техники;
- ограничение импорта продукции с высоким энергопотреблением: так, например, в страны ЕС запрещен ввоз продуктов классов энергоэффективности F и G;
- информационно-пропагандистские меры, разъясняющие экономическую выгоду энергоэффективного оборудования при эксплуатации, его экологическую эффективность.

Опыт маркировки энергоэффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений не столь значителен, как опыт маркировки энергоэффективности бытовой техники. Однако постепенно требования в этой области получают распространение в европейских странах. Например, стоимость выставленного на продажу здания в Австрии существенно зависит от его индекса энергоэффективности. В Великобритании арендные отношения также строятся с учетом энергоэффективности зданий и помещений.

Одним из основополагающих документов, определяющих политику ЕС в области энергосбережения в строительстве, стала Директива 2002/91/ЕС, в которой нашли отражение ключевые вопросы повышения энергетической эффективности инженерных систем зданий. В Директиве отмечается, что на здания различного назначения приходится до 40% от общего объема потребления ТЭР в Европе. Целью Директивы 2002/91/ЕС явилось создание единой методики общей оценки энергоэффективности зданий. При такой оценке должны учитываться не только изоляция здания, но и его инженерные системы, а также расположение здания относительно сторон света и вторичное использование энергии. Документ стал законодательной основой для разработки комплекса мер, направленных на повышение эффективности

использования энергии в зданиях. Директива предусматривает введение стандартов энергоэффективности для всех новых зданий, разработку комплекса энергосберегающих мероприятий на объектах площадью свыше 1000 м², а также обязательное введение сертификатов энергетической эффективности зданий. Директива предусматривает выдачу «энергопаспортов» на каждое сооружение. Собственник дома обязан по требованию съемщиков или покупателей предоставить «энергопаспорт», отражающий важнейшие энергохарактеристики здания: отопление и изоляцию, общую энергоэффективность, сравнение показателей с другими домами и предложения по санации здания. Реализация указанного комплекса мер неразрывно связана с вопросами повышения экономичности работы насосного оборудования, эксплуатируемого в различных инженерных системах.

По данным европейской ассоциации производителей насосного оборудования Euro pump, насосными системами потребляется около 20% вырабатываемой в мире электроэнергии. Только насосы, эксплуатируемые в системах отопления в странах Евросоюза, ежегодно потребляют около 40 млрд. кВт•ч. Повышенное внимание к энергоэффективности насосного оборудования в этих странах обусловлено также и тем фактом, что до 85% совокупных затрат (на приобретение и эксплуатацию) за срок службы насоса составляет стоимость потребленной электроэнергии. Реализация указанного комплекса мер по повышению энергетической эффективности неразрывно связана с вопросами повышения экономичности работы насосного оборудования, эксплуатируемого в различных инженерных системах.

Основной раздел

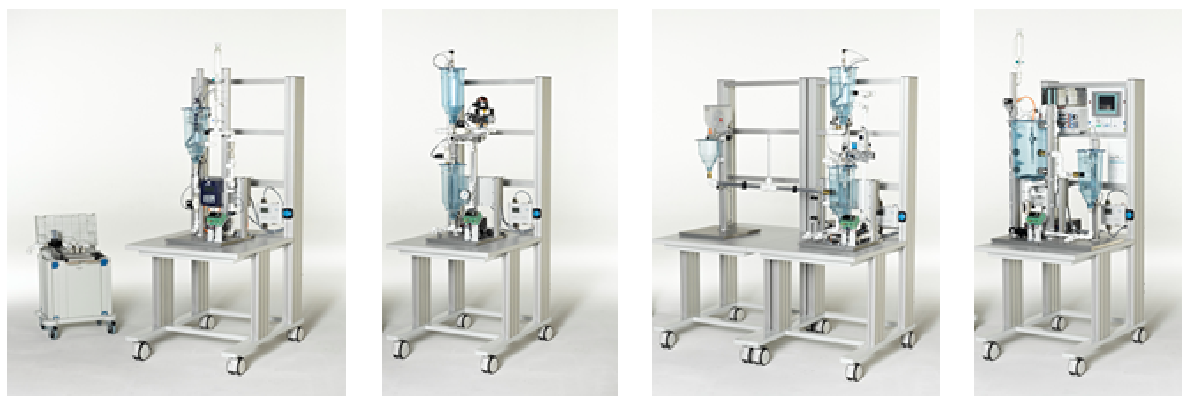
Как уже указывалось, ЖКХ является одним из наибольших потребителей энергии в экономике РФ. Системы водоснабжения и водоотведения (СВВ) энергоемкие и составляют до 35 процентов муниципального потребления энергии. Особенно гидравлические и аэродинамические машины, которые используют значительную часть энергии на станциях очистки воды и сточных вод. Во многих случаях в СВВ станции очистки воды и сточных вод управляются без оптимизированных устройств или мер для оптимизации процессов. Оптимизированные системы используют меньше электроэнергии, что в результате снижает объемы работ по техобслуживанию и увеличивает время жизни операционных модулей. Детальное изучение потребления энергии нужно для того, чтобы

определить потенциал оптимизации. Регулярное измерение показателей работы оборудования СВВ, является важным способом энергосбережения, поскольку полученные данные обеспечивают информацию об эффективности оборудования, и потенциале энергоэффективности.

Для решения задач по повышению энергоэффективности СВВ кафедра водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Академии строительства и архитектуры КФУ им. В.И. Вернадского разработала концепцию создания и развития учебного центра по акватронике, в котором важное место занимают вопросы энергетической оптимизации работы оборудования. В результате был создан научно-образовательный центр по водоподготовке и водоотведению на основе учебных систем и компонентов фирмы «ФЕСТО», который в дальнейшем получил название «Акватроник Фесто Центр» (АФЦ). Комплекс учебного оборудования EDS® «Управление водными ресурсами» фирмы «ФЕСТО» предназначена для моделирования всего цикла водопользования системы водного хозяйства [7]. Под системой рассматривают комплекс основных инженерных сооружений, предназначенных для забора воды из подземных источников, поверхностных вод и включает последующие этапы очистки, транспортировки и хранения.

Учебный комплекс оборудования EDS® «Управление водными ресурсами», который установлен в АФЦ содержит четыре системы: очистки воды; водоснабжения; транспортировки сточных вод и очистки сточных вод. Эти четыре системы были разработаны для использования в изучении модуля энергетической оптимизации СВВ. При изучении модуля «энергетическая оптимизация» система иллюстрирует процессы и меры, связанные с эффективностью использования энергии при обработке и транспортировке воды и сточных вод.

На рис. 4 представлены основные компоненты учебного комплекса оборудования «Управление водными ресурсами» фирмы «ФЕСТО», которые установлены в АФЦ. Учебные компоненты могут использоваться в качестве автономного учебного оборудования для отдельного модуля обучения по специальности строительство по профилю водоснабжение и водоотведение. Учебное оборудование можно изменять индивидуально путем изменения подключения трубопроводов и датчиков. При необходимости моделирования совместной работы систем водоснабжения и водоотведения все четыре компонента соединяются в одну систему, как это представлено на рис. 5.



а

б

в

г

Рис. 4. Компоненты учебного комплекса оборудования «Управление водными ресурсами» фирмы «ФЕСТО»: а – система очистки воды; б – система водоснабжения; в – система транспортировки сточных вод; г – система очистки сточных вод

Управление и оптимизация производственных процессов является СВВ в настоящее время наиболее важной темой, потому что их применение позволяет повысить энергоэффективность. Обеспечение этих процессов невозможно без применения современной аппаратной базы и алгоритмов управления и оптимизации. В СВВ наиболее известными для автоматизации технологических процессов являются операции контроля уровня, давления, скорости потока, концентрации, которые в результате обеспечивают улучшение качества,

повышение эффективности и безопасности работы. С другой стороны, в СВВ возможно уменьшение потребления электрической и тепловой энергии, за счет применения систем управления энергопотреблением, которая контролирует и управляет всем оборудованием и устройствами, влияющими на потребление энергии. Используя системы контроля и управления энергопотреблением, можно обеспечить оптимальные условия работы систем при минимально энергопотреблении.



Рис. 5. Оборудование «Управление водными ресурсами» фирмы «ФЕСТО» с четырьмя объединенными системами

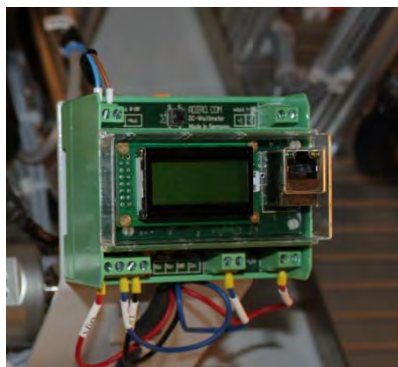
Компоненты учебного комплекса оборудования АФЦ дают возможность изучить все основные процессы работы СВВ, параметры и характеристики процессов, а также позволяют моделировать различные ситуации, с использованием разных параметров и состояний систем. Моделирование процессов, в малом масштабе, реализуется без дополнительных затрат или причинения ущерба, что невозможно в реальных условиях. Для управления и визуализации

работы всего учебного комплекса, либо отдельного модуля или каждой отдельной станции установлены интерфейсный модуль, который совместим со стандартным программным обеспечением FluidSim-H, FluidLab-H, LabView, C++ и VisualBasic. Программное обеспечение для автоматического управления комплексом EDS® «Управление водными ресурсами» предназначен для работы со стандартным персональным компьютером с Windows XP/Vista/7.

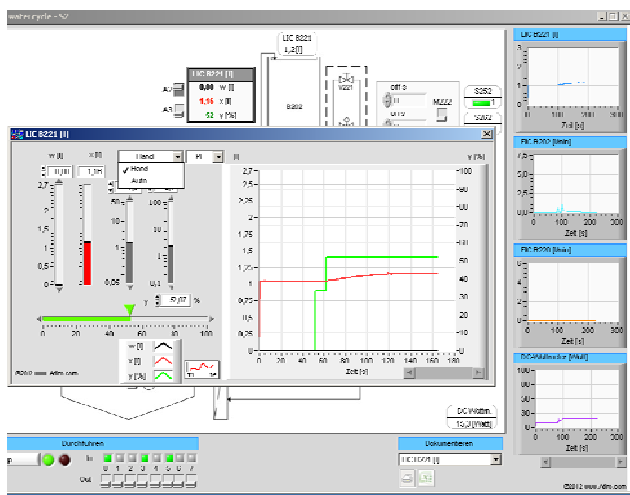
Важной особенностью оборудования АФЦ является наличие современных модулей «Контроль, управления и оптимизации операций» и «Оптимизация энергопотребления на водопроводных и канализационных очистных станциях» [8]. Применение этих модулей позволяет использовать оборудование АФЦ для измерения и анализа потребления электро-энергии в СВВ, а также является основанием для создания стратегий энергоэффективности. Для этого система EDS® «Управление водными ресурсами» не только представляет все основные процессы работы СВВ, но и показывает эффективность использования энергии для различных устройств управления с помощью элементы интерфейсного модуля, которые показаны на рис. 6. Ваттметр (рис. 6а) в каждой системе и модуле выводит на экран текущее значение потребляемой мощности в [Вт] или

показывает величину потребленной энергии за заданный промежуток времени в [Вт*с].

В программном комплексе FluidLab® «Управление водными ресурсами» нижнее окно на правой стороне показывает фактическое энергопотребление (рис. 6б). В примере, показанном на экране, частота вращения насоса переключена вручную от 36% до 52%. Как показано на зеленой диаграмме. Во время переключения режимов работы происходит типичный пик в изменении потребления энергии. Изменение уровня воды в емкости показано на красной диаграмме, а изменение потребления энергии по ваттметру показано на диаграмме в нижнем правом углу. В правом нижнем углу рабочего окна, также показано фактическое энерго-потребление по датчику «ваттметр», которое визуализируется как число «15.3 ватт».



а



б

Рис. 6. Элементы интерфейсного модуля «Оптимизация энергопотребления» в EDS® «Управление водными ресурсами»: а – ваттметр; б - экран FluidLab® «Управление водными ресурсами» при ручном управлении насоса

Режимы работы и регулирования насосов оказывают существенное влияние на энергоэффективность СВВ. Часто, насосы не управляются с наилучшими параметрами регулирования и не достигают максимальной степени энергоэффективности. Для определения параметров работы силового агрегата в условиях эксплуатации необходимо найти оптимальную частоту вращения при управлении насосом, сравнить различные насосы, а также измерить и вычислить эффективность насоса. Оборудование АФЦ позволяет моделировать различные условия эксплуатационные условия СВВ, а также различные режимы регулирования частоты вращения насосных агрегатов.

Для определения потенциалов энергосбережения в СВВ необходимо знать потребление энергии отдельных компонентов и наиболее крупных энергетических потребителей. Это - первый шаг, чтобы реализовать управление энергопотреблением, которое упрощает контроль,

оценку и сокращение потребления энергии. Вторым шагом является сравнение соответствующих значений со значениями энергетически оптимизированных станций, которые показывают наилучшие результаты по энергопотреблению. В результате можно обнаружить, где реально в конкретной СВВ энергия может быть сохранена, а также оценить в какой степени. Моделирование энергоемких процессов на оборудовании АФЦ позволяет выполнить такой анализ.

Технология управления является наиболее важной темой на всех стадиях работы СВВ, потому что ее совершенствование позволяет уменьшить потребление энергии и ресурсов. Чтобы сделать работу очистных установок воды или сточных вод СВВ, более эффективной, отдельные этапы должны быть проанализированы, а последовательность должна быть понятна и перепроверена. Изменение и поддержание уровней заполнения технологических емкостей являются общими повседневными задачами. Эти процессы обычно проходят в

фоновом режиме, которые не сразу заметны. Тем не менее, процессы контроля, такие как уровень заполнения, давление и скорость потока имеют большое значение для обеспечения требуемых параметров технологических процессов. Экономия, улучшенное качество и безопасность для персонала и оборудования достигается при помощи контроля и управления процессами. Как показывает анализ, в настоящее время, процессы регулирования часто выполняются вручную либо малоэффективными системами регулирования. В качестве примера

рассмотрим на рис. 7 схемы автоматизации в EDS® «Управление водными ресурсами» для систем очистки питьевой воды и очистки сточных вод. Процессы управления и параметры настройки контроллера влияют на потребление энергии в СБВ. Если целью схемы автоматизации является стабилизации параметров и режимов работы СБВ путем обеспечения постоянного уровня наполнения емкостей, то подача насоса должна обеспечить минимальное отклонение от заданного уровня.

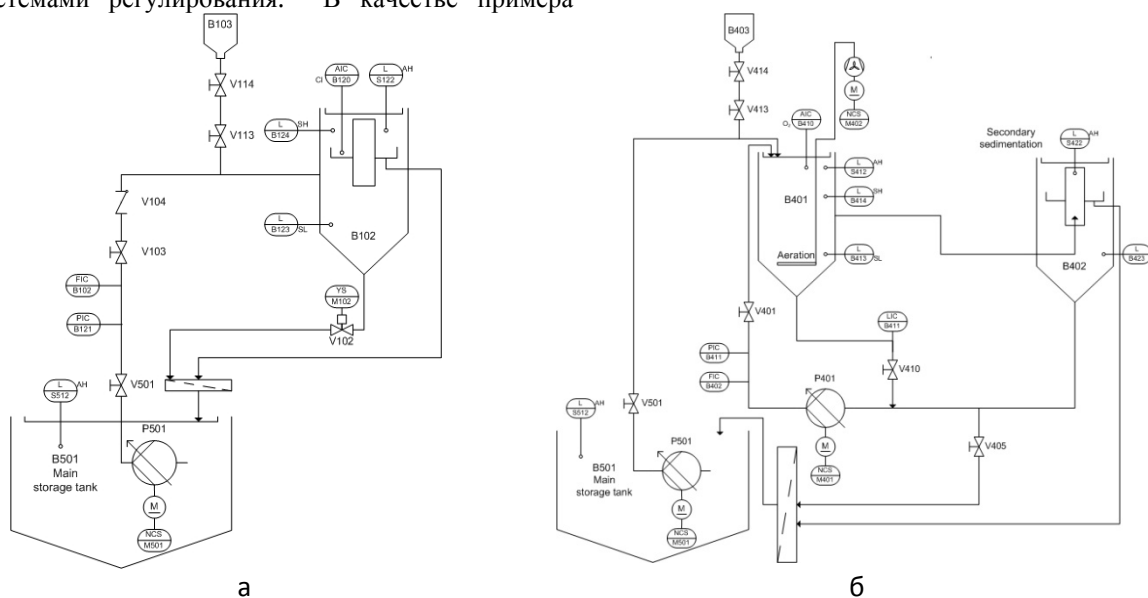


Рис. 7. Схемы автоматизации в EDS® «Управление водными ресурсами» для систем:
а – очистки воды; б – очистки сточных вод

Нахождение оптимальных режимов работы или регулирования насоса для обеспечения минимального энергопотреблением является в реальных условиях проблемой. Для этой задачи демонстрационные решения по выбору оптимальных режимов с помощью АФЦ показаны на рис. 8. При двухступенчатом регулировании (рис. 8а) требование к повышению точности приводит к увеличению частоты изменения режимов работы насоса с частыми включениями-выключениями. Такой режим работы электрооборудования приводит к частым пиковым нагрузкам, высокому энергопотреблению и снижению надежности.

Важным методом стабилизации параметров и режимов работы, современных СБВ, является обеспечение постоянного уровня наполнения емкостей. В случае если системные отклонения параметров недопустимы, то в схемах управления используются непрерывные аналоговые или цифровые контроллеры. Такие контроллеры характеризуются тем, что датчик определенной физической величины генерирует сигнал для обработки сигнала управления переменной. В зависимости от функции управления переменная, которой управляют, определяется при помощи различных математических формул. Основанием

для оптимизации управления частотой вращения насоса является сравнение потребления энергии различных типов контроллеров, в течение заданного отрезка времени при определенных параметрах системы. Модуль «Контроль, управление и оптимизации операций» EDS® «Управление водными ресурсами» позволяет моделировать различные контроллеры для управления частотой вращения насоса, как показано на диаграммах, которые приведены на рис. 8б, в, г. Анализ величин потребляемой мощности и потребленной энергии при различных параметрах регулирования и разных типах контроллеров позволяет на оборудовании АФЦ выполнить оптимизацию энергопотребления.

Очистные станции сточных вод с активной обработкой осадка в СБВ являются основным потребителем электрической энергии. Аэродинамические машины для систем аэрации биологической очистки потребляют более половины всей энергии, которая используется в системах водоотведения. Поэтому во время работы очистных станции большая часть затрат составляет стоимость энергии на аэрацию, а не затраты на оборудование, обслуживание, заработную плату и т. д.

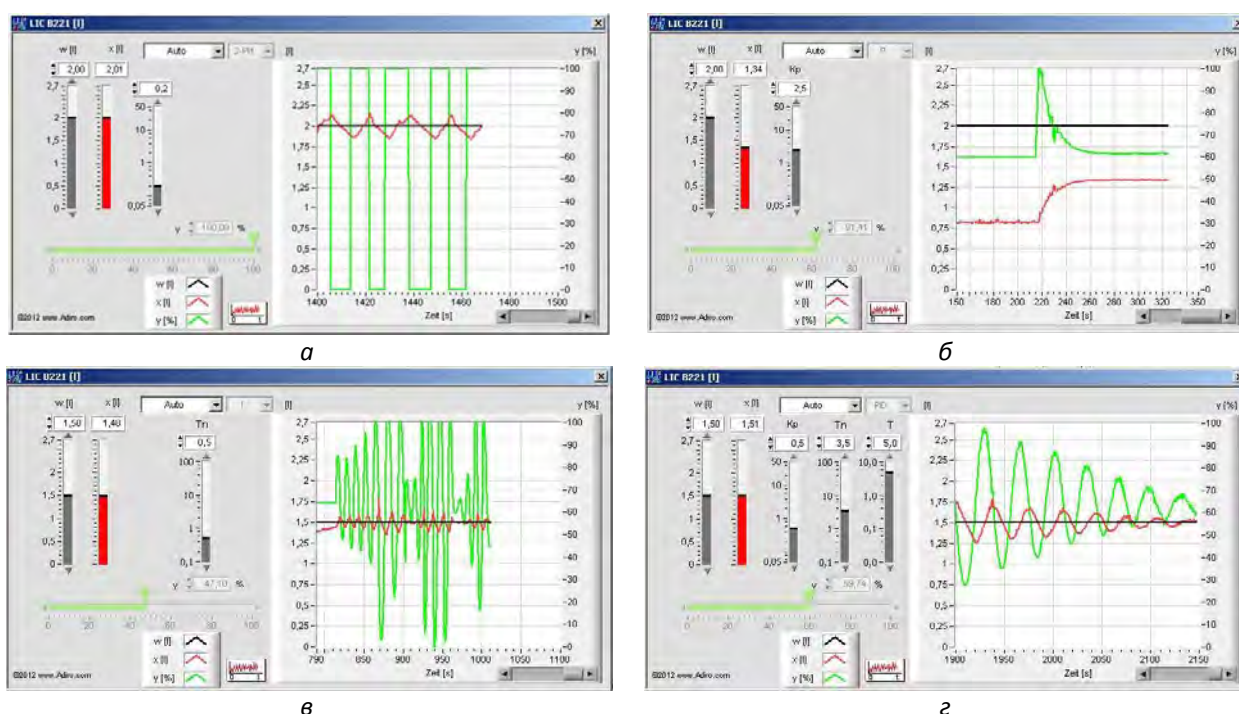


Рис. 8. Демонстрационные решения для различных видов управления уровнем заполнения резервуара: а - двухступенчатый контроллер; б – пропорциональный Р контроллер; в - интегральный I контроллер; г – пропорционально-интегральный контроллер PID с обратной связью

Цель аэрации состоит в обеспечении требуемого количества кислорода из воздуха, которое требуется, чтобы оптимально выполнить биологические, химические и физические процессы очистки сточных вод. Избыток воздуха и кислорода при аэрации приводит к возрастающему потреблению энергии и затратам без дополнительных преимуществ в процессах очистки. Потребность в кислороде при аэрации сточных вод зависит от их характеристик и состава. Чем оперативней и точнее они определяются, тем правильнее определяется потребность в воздухе при аэрации, и тем выше энергоэффективность очистки сточных вод, без какого-либо существенного влияния на ее качество.

Совершенствование конструкций воздуходувок путем повышения их КПД снижает потребление энергии и затраты в системах аэрации. Но даже при сохранении существующих конструкций можно достигнуть аналогичных результатов за счет внедрения современных систем контроля и управления подачей воздуходувки. Цель состоит в том, чтобы предотвратить превышения концентрации кислорода или падения ниже оптимального уровня, требуемого для обработки активного ила. Таким образом, воздуходувкой постоянно подаются требуемые объемы воздуха, поэтому исключается негативное влияние на эффективность процесса очистки и потребление энергии.

Система очистки сточных вод с модулем «Контроль, управление и оптимизации операций» EDS® «Управление водными ресурсами» позволяет разработать предложения по энергетической

оптимизации процесса аэрации. Потребность в кислороде бактерий, съедающих органические вещества при биологической очистке сточных вод моделируется периодическим добавлением сульфита натрия (Na_2SO_3), что вызывает непрерывное потребление кислорода. В процессе моделирования на оборудовании АФЦ процесса очистки стоков за счет регулирования подачи компрессора необходимо обеспечить заданную концентрацию кислорода в аэротенке при минимальном энергопотреблении. Как и в выше приведенном примере рассматриваются различные методы управления: двухступенчатое дискретное и аналоговое с различными видами контроллеров. Применение модулей «Контроль, управление и оптимизации операций» и «Оптимизация энергопотребления» позволяет определить и проанализировать потребляемую мощность и затраты энергии на каждый вид управления и выбрать оптимальный вид управления подачей воздуходувки в процессе аэрации.

Таким образом, в результате применения оборудования АФЦ обеспечивается практически-ориентированное обучение основным процессам СВВ, а также практическому применению методов оптимизации средств автоматизации для повышения энергоэффективности этих систем. Практическое применение учебных модулей АФЦ и методов энергетической оптимизации обеспечивает повышение эффективности использования энергии, ресурсов в СВВ и ускорит реализацию значительного потенциала их экономии, который до настоящего времени остаётся неиспользованным.

Выводы

В настоящее время Российская Федерация имеет один из наибольших в мире технических потенциалов повышения энергоэффективности, который является основным энергетическим ресурсом экономического роста страны. Одним из ведущих способов повышения энергоэффективности является совершенствования техники и технологических процессов, в том числе способов управления.

В начале 21 века по приросту потребления энергии жилищно-коммунальное хозяйство России занимает третье место после транспорта и энергетики. В городских СВВ потребляется до 35 процентов от всего объема муниципального потребления энергии. Наибольшим потребителем являются гидравлические и аэродинамические машины, которые используют значительную часть энергии на станциях очистки воды и сточных вод. Поэтому режимы работы и регулирования гидравлических и аэродинамических машин оказывают существенное влияние на энергоэффективность всей СВВ.

Компоненты учебного комплекса оборудования АФЦ позволяют изучить все основные технологические процессы СВВ, параметры и характеристики режимов работы, а также позволяют моделировать различные ситуации, с использованием разных параметров и состояний систем. Специальный модуль комплекса АФЦ позволяет выполнять моделирование по технологии управления работой гидравлических и аэродинамических машин. Применение модуля

энергетической оптимизации АФЦ является наиболее важным методом повышения энергетической эффективности на всех стадиях работы СВВ, потому что позволяет уменьшить потребление энергии и ресурсов за счет оптимизации режимов управления.

Список литературы

1. Энергетика мира: уроки будущего. Под ред. И.А. Башмакова. // М.: МТЭА-ИНЭИ РАН. 1992, 246 с.
2. I. A. Bashmakov . Three Laws of Energy Transitions. Energy Policy. July, 2007.
3. Ю.А. Матросов. Энергосбережение в зданиях. Проблемы и пути решения. НИИСФ РААСН. М., 2008.
4. Key World Energy Statistics. OECD/IEA. 2010.
5. Башмаков И.А., Мышак А.Д. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии// М.: ЦЭНЭФ, 2012, 81 с.
6. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»/Российская газета от 27 ноября 2009 г.; режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>.
7. T. Schwab, M. Groß, J. Strittmatter. EDS® - Water Management// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany, 2013. 81 p.
8. Energy optimisation in water and wastewater treatment plants/ M. Groß, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany, 2014. 100 p.

Nikolenko I. V., Saliev E. I., Krymov R. S..

THE MODULE ENERGY OPTIMIZATION AQUATRONIC FESTO CENTRE FOR ENERGY EFFICIENCY OF SYSTEMS OF WATER SUPPLY AND SANITATION

Summary: the analysis of energy efficiency indicators, and also dynamics of their change. Estimated technical potential of energy efficiency in Russia, as well as directions for their implementation. Found that pumping equipment is one of the world's largest energy consumers, and increasing its energy efficiency is an important direction of improvement of water supply systems and sanitation. The possibilities of scientific-educational center "Aquatronic Festo Center" created on the basis of academic systems and components of the company FESTO management and energy optimization of production processes of water supply and sanitation.

Keywords: energy efficiency, energy conservation, water supply, wastewater, optimization, management

УДК 628.12; 628.14; 628.17

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Николенко И.В., Рыжаков А.Н.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

Аннотация. По данным натурного эксперимента определен вид осредненной кривой случайного процесса водопотребления жилого массива. Приведена методика оптимизации режимов работы силовых агрегатов при ступенчатом способе их регулирования. Проведена процедура оптимизации режима подачи воды насосной станцией с накопительным баком с использованием методов исследования операций. Выполнен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: случайный процесс водопотребления, математическое программирование, оптимизация.

Введение

Повышение эффективности использования энергии и ресурсов в технических и технологических системах является одной из основных задач экономического и социального развития Российской Федерации. Системы водоснабжения и водоотведения (СВВ) относятся к наиболее энергоемким объектам жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), где основными потребителями электроэнергии являются насосные станции (НС). В СВВ России на перекачку насосными агрегатами чистых и сточных вод ежегодно расходуется 120...130 млрд. кВт-час электроэнергии [1]. В структуре себестоимости на оказание услуг по водоснабжению и водоотведению затраты на электроэнергию могут достигать 50%, в том числе непродуктивные затраты до 20%. Поэтому в системах водоснабжения наиболее ответственными элементами являются НС, которые обеспечивают подачу требуемого количества воды под необходимым напором в соответствии с нуждами потребителей и с требованиями нормативных документов. Состав сооружений, агрегатов, средств автоматизации, тип и число основного и вспомогательного оборудования их конструктивные особенности, определяются исходя из принципов рационального и комплексного использования источников воды, потребляемой энергии, а также минимизации стоимости строительства НС и ее эксплуатации с учётом назначения и предъявляемых технологических требований.

Наряду с обеспечением требуемого напора и подачи воды для нормальных и аварийных условий, на всех этапах жизненного цикла НС, необходимо при наименьших затратах на их сооружение и эксплуатацию обеспечивать требуемую степень надёжности, долговечности, экономичности и выполнение ряда других требований.

Актуальность вопросов, рассматриваемых в данной работе определяется возросшим значением проблем энергетической эффективности, важность

которых растёт в современных условиях. Насущная необходимость решения этой проблемы закреплена в законодательных актах Российской Федерации [2, 3].

Решение проблемы оптимизации работы НС по критерию минимально необходимых затрат энергии, при полном удовлетворении потребности в услуге водоснабжения – основная задача, которая стоит перед предприятиями ЖКХ, производителями оборудования, а также при проектировании СВВ.

Низкая энергетическая эффективность систем водоснабжения при подаче и распределении воды объясняется рядом причин, связанных с силовыми агрегатами НС, в качестве которых используются центробежные насосы (ЦН) [11]:

- несоответствие характеристик, применяемых ЦН переменным гидравлическим условиям водопроводных сетей;
- применение насосных агрегатов с низким КПД по причине их изношенности либо изначально конструктивно или технологически несовершенных в условиях их применения;
- применение энергетически малоэффективных способов регулирования режимов работы систем ЦН-ВС.

Для создания требуемого напора и обеспечения подачи на НС устанавливается несколько ЦН, работающих на общую сеть. В современных НС применяется три основных способа регулирования подачи количественное, качественное и комбинированное. К комбинированным способам регулирования относится ступенчатое регулирование, рассматриваемое в данной работе, которое состоит во включении и выключении параллельно установленных насосов. Как правило, в соответствии с рекомендациями нормативных документов при ступенчатом регулировании применяются ЦН одного типоразмера.

Режим работы НС, которые подают воду непосредственно потребителям, существенно зависит от изменения режима водопотребления, который является случайным процессом [5]. При

наличии данных о характеристиках реального водопотребления, можно, используя методы математического программирования определить оптимальные режимы работы агрегатов НС.

Цель работы

Цель работы – определение, по данным натурного эксперимента, осредненной кривой случайного процесса водопотребления, разработка оптимизационной модели минимизации суммарных затрат на обеспечение процесса водоснабжения и нахождение оптимальных объемов и временных интервалов подачи воды потребителям.

Методика исследования

Для обработки данных натурного эксперимента использовались статистические методы анализа нестационарных случайных процессов. Аппаратная реализация статистических методов осуществлялась в программе STATISTICA. Процедура оптимизации предусматривала использование методов линейного программирования и реализовывалась в программе MATHCAD.

Результаты и их анализ

Постановка задачи. Требуется найти оптимальные объемы и временные интервалы подачи воды $Q(t)$ потребителям НС с резервной емкостью объема $V_{\max}$ по критерию минимальной стоимости подачи воды, при известной функции суточного водопотребления $Ras(t)$ и тарифах на электроэнергию.

Выражение $\rho g H \cdot Q(t) \cdot St(t) \cdot \Delta t$, где ρ – плотность, H – напор, $St(t)$ – изменение во времени тарифа на электроэнергию – дает стоимость подачи воды за промежуток времени Δt . Суточные расходы на водоснабжение F можно найти по формуле:

$$F = \rho g H \cdot \int_0^{24} Q(t) \cdot St(t) \cdot dt \quad (1)$$

В (1) предполагается, что статическая составляющая напора H_s значительно превосходит сопротивление сети и, следовательно, напор не зависит от подачи:

$$H = H_s = \text{const}$$

Планирование процесса водоснабжения должно осуществляться исходя из необходимости удовлетворения потребностей в воде, что приводит к необходимости, в каждый момент времени t , выполнения неравенства:

$$0 \leq \int_0^t (Q(t) - Ras(t)) dt \leq V_{\max} - V_{\text{рез}} \quad (2)$$

В (2) $V_{\text{рез}}$ – минимально необходимый резервный объем воды на случай чрезвычайных происшествий. Невыполнение левой части неравенства (2) приведет к дефициту воды, а правой части – к переполнению резервной емкости.

Для оптимизации циклического процесса водоснабжения рассматривается суточный интервал, в течении которого вся закачанная НС вода должна быть использована:

$$\int_0^{24} (Q(t) - Ras(t)) dt = 0 \quad (3)$$

На искомые величины подачи $Q(t)$ накладываются физически обоснованные условия неотрицательности:

$$Q(t) \geq 0, \forall t \quad (4)$$

В качестве целевой функции оптимизационной задачи будем рассматривать выражение (1), а систему ограничений образуют выражения (2 - 4):

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho g H \cdot \int_0^{24} Q(t) \cdot St(t) \cdot dt \rightarrow \min \\ 0 \leq \int_0^t (Q(t) - Ras(t)) dt \leq V_{\max} - V_{\text{рез}} \\ \int_0^{24} (Q(t) - Ras(t)) dt = 0 \\ Q(t) \geq 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

(5) является задачей вариационного исчисления и в общем случае сводится к решению системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Оптимизационную задачу можно представить в более простом виде, если учесть, что при наличии резервной емкости и при каскадном способе регулирования производительности НС непрерывное изменение подачи $Q(t)$ не имеет смысла и на практике ЦН осуществляют подачу в виде кусочно-непрерывной функции с постоянными значениями $Q(t)$ в течении каждого временного интервала. Тогда, разбивая суточный интервал на k частичных интервалов, с достаточной степенью точности, представим определенные интегралы от искомой подачи в (5) в виде сумм значений подынтегральных выражений на выбранных интервалах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho g H \cdot \sum_{j=1}^k Q_j \cdot St_j \Delta t_j \rightarrow \min \\ \int_0^{t_i} Ras(t) dt \leq \sum_{j=1}^i Q_j \Delta t_j \leq V_{\max} - V_{\text{рез}} + \int_0^{t_i} Ras(t) dt, i = \overline{1, k} \\ \sum_{j=i}^k Q_j \Delta t_j = \int_0^{24} Ras(t) dt \\ Q_j \geq 0, j = \overline{1, k} \end{array} \right. \quad (6)$$

(6) является оптимизационной задачей линейного программирования и решалась авторами с использованием встроенной функции Minimize программы MATHCAD.

Определение функции расхода. Процесс функционирования системы водоснабжения характеризуется изменениями параметров ее состояния во времени. Эти изменения зависят от многочисленных внутренних и внешних факторов, контроль над большинством из которых затруднителен. Таким образом, временные изменения параметров функционирования системы водоснабжения можно интерпретировать как случайный процесс. Для построения математической модели случайного процесса, реализовывались следующие этапы:

- сбор и регистрация экспериментальных данных;
- предварительный анализ свойств случайного процесса;
- анализ случайного процесса и нахождение его характеристик.

Исходные статистические данные представляют собой результаты измерения расхода воды, подаваемой НС в течение двух месяцев с дискретностью времени $\Delta t = 1 \text{ час}$. Получено шестьдесят реализаций непрерывной случайной величины, в рамках каждой из которых можно выделить двадцать четыре сечения.

Предполагалось, что проводимый эксперимент, в пределах суток, допускает повторение при статистически идентичных условиях. То есть, на данном этапе исследования, мы пренебрегали возможным влиянием сезонного тренда, различиями в водопотреблении по отдельным дням недели и т.д.

Располагая ансамблем реализаций $Q_k(t)$; $m = \overline{1, 60}$; $t = \overline{1, 24}$ случайного процесса, оценку среднего значения получают усреднением сечения [6]:

$$\mu_Q(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Q_k(t); \quad t = \overline{1, 24}, N = 60 \quad (7)$$

Оценки $\mu_Q(t)$ являются случайными величинами и удовлетворяют требованиям несмещенности и состоятельности. Доверительный интервал для среднего значения $M_Q(t)$ для уровня значимости α дается формулой:

$$\mu_Q(t) - \frac{s_Q(t) \cdot t_{n;\alpha/2}}{\sqrt{N}} \leq M_Q(t) \leq \mu_Q(t) + \frac{s_Q(t) \cdot t_{n;\alpha/2}}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

В (8) $s_Q(t)$ - несмещенная оценка среднеквадратического отклонения $\sigma_Q(t)$ случайного процесса $Q(t)$ в момент времени t , определяемая по формуле:

$$s_Q(t) = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Q_i(t) - \mu_Q(t))^2 \right]^{1/2}$$

$t_{n;\alpha/2}$ - квантиль t -распределения Стьюдента с $n = N - 1$ степенями свободы. При достаточно большой выборке формула (8) справедлива и для негауссовых процессов.

Результаты расчета по формуле (8) выполнены в программе STATISTICA и представлены в графической форме на рис. 1. Вид зависимости $M_Q(t)$, вследствие непостоянства математического ожидания (МО), позволяет выдвинуть гипотезу о нестационарности случайного процесса водопотребления.

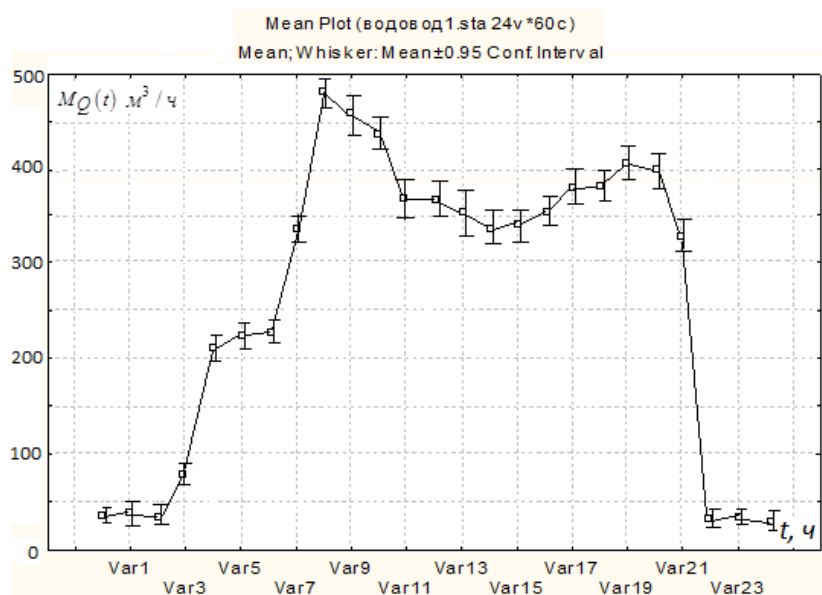


Рис. 1. Временная зависимость МО нестационарного случайного процесса водопотребления.

Оптимизация работы НС при ступенчатом регулировании. В качестве функции расхода воды будем рассматривать, полученную в результате обработки экспериментальных данных, функцию $M_Q(t)$:

$$Ras(t) = M_Q(t)$$

Для решения задачи линейного программирования (6) используем встроенную функцию программы MATHCAD - $\text{Minimize}(f, x_1, x_2, \dots, x_n)$, которая реализована универсальными алгоритмами оптимизации, не требующими вычисления производных целевой функции [7]. Функция $\text{Minimize}(f, x_1, x_2, \dots, x_n)$ используется в составе блока решения, открываемого оператором *Given*, и возвращает

вектор значений управляющих переменных, при которых целевая функция задачи имеет минимальное значение. Внутри блока задаются ограничения на величины управляющих переменных в виде уравнений или неравенств.

Оптимизация подачи в среде MATHCAD показана, в виде скана рабочего листа программы, на рис. (2 – 4).

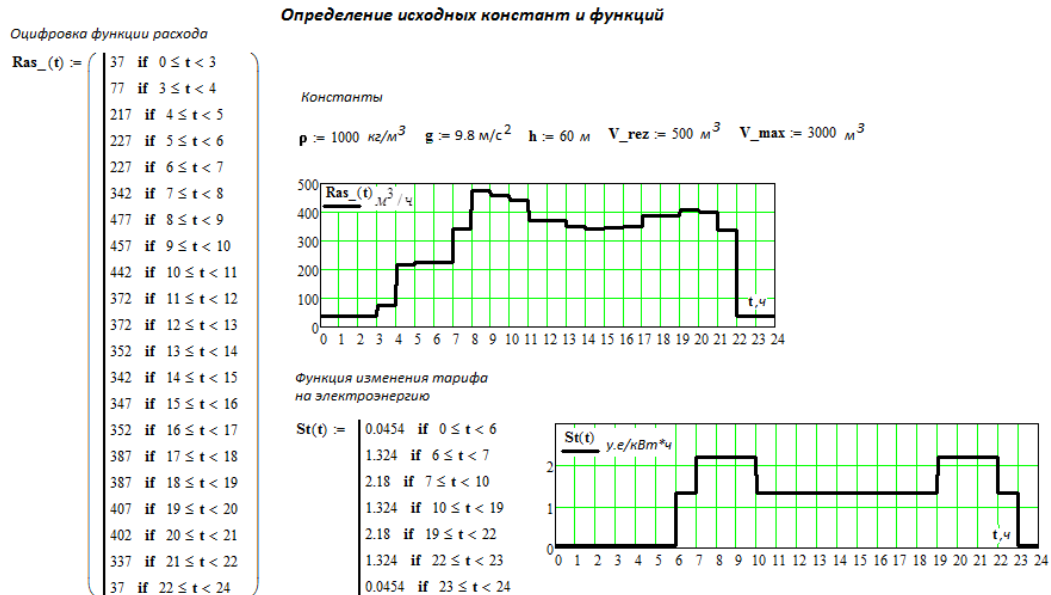


Рис. 2. Определение исходных констант и функций в MATHCAD.

Формулировка задачи ЛП

Целевая функция задачи

$$f(Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7) := Q1 \cdot \text{St}(0) \cdot 6 + Q2 \cdot \text{St}(6) \cdot 1 + Q3 \cdot \text{St}(7) \cdot 3 + Q4 \cdot \text{St}(10) \cdot 9 + Q5 \cdot \text{St}(19) \cdot 3 + Q6 \cdot \text{St}(22) \cdot 1 + Q7 \cdot \text{St}(23) \cdot 1$$

Начальное приближение

$$Q1 := 0 \quad Q2 := 0 \quad Q3 := 0 \quad Q4 := 0 \quad Q5 := 0 \quad Q6 := 0 \quad Q7 := 0$$

Система ограничений задачи ЛП

Given

$$Q1 \cdot 6 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^6 \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 \geq \int_0^6 \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^7 \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 \geq \int_0^7 \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^{10} \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 \geq \int_0^{10} \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^{19} \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 \geq \int_0^{19} \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + Q5 \cdot 3 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^{22} \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + Q5 \cdot 3 \geq \int_0^{22} \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + Q5 \cdot 3 + Q6 \cdot 1 + V_{\text{rez}} \leq \int_0^{23} \text{Ras_}(t) dt + V_{\text{max}} \quad Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + Q5 \cdot 3 + Q6 \cdot 1 \geq \int_0^{23} \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \cdot 6 + Q2 \cdot 1 + Q3 \cdot 3 + Q4 \cdot 9 + Q5 \cdot 3 + Q6 \cdot 1 + Q7 \cdot 1 = \int_0^{24} \text{Ras_}(t) dt$$

$$Q1 \geq 0 \quad Q2 \geq 0 \quad Q3 \geq 0 \quad Q4 \geq 0 \quad Q5 \geq 0 \quad Q6 \geq 0 \quad Q7 \geq 0$$

Рис. 3. Формулировка задачи линейного программирования.

Решение задачи ЛП

$$R := \text{Minimize}(f, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7) \quad \text{Rez}(t) := \int_0^t Q(t) - \text{Ras}_-(t) dt + V_{\text{rez}}$$

$$R = \begin{pmatrix} 522.018 \\ 0 \\ 0 \\ 393.224 \\ 5.684 \times 10^{-14} \\ 0 \\ 37.042 \end{pmatrix} \quad Q(t) := \begin{cases} R_{0,0} & \text{if } 0 \leq t < 6 \\ R_{1,0} & \text{if } 6 \leq t < 7 \\ R_{2,0} & \text{if } 7 \leq t < 10 \\ R_{3,0} & \text{if } 10 \leq t < 19 \end{cases}$$

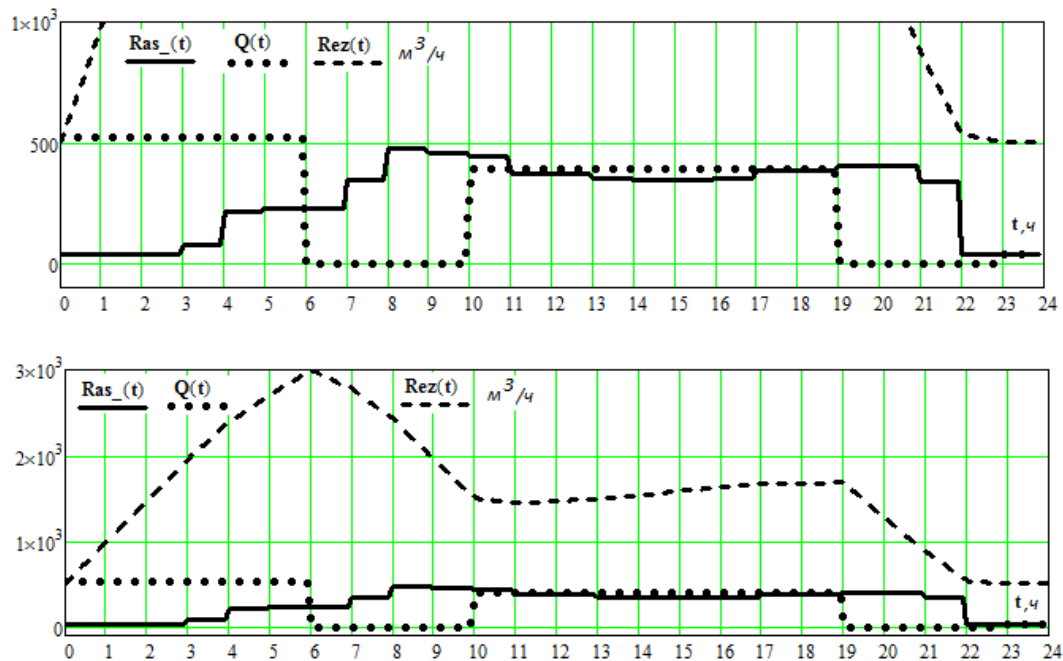


Рис. 4. Решение задачи линейного программирования.

Обсуждение результатов и выводы

На рис. 4, в графической форме, представлены результаты решения задачи линейного программирования (6) – динамика подачи воды $Q(t)$ и наполнения резервной емкости $\text{Rez}(t)$. Функция $\text{Rez}(t)$ находилась по формуле:

$$\text{Rez}(t) = \int_0^t (Q(t) - \text{Ras}(t)) dt + V_{\text{rez}}$$

(9)

Несомненным достоинством предложенного решения является простота математической модели, что обуславливает получения решения при использовании простых стандартных алгоритмов для решения линейных задач оптимизации. Нахождение дополнительно функции $\text{Rez}(t)$ позволяет получить математически обоснованное значение необходимого объема резервной емкости – по максимальному значению $\text{Rez}(t)$. Для решенной задачи $V_{\text{max}} = 3000 \text{ м}^3$.

Найденную функцию $Q(t)$ следует понимать, как наиболее оптимальный вариант, с точки зрения минимизации стоимости, суммарной подачи НС. Однако это решение не привязано к конкретным типам ЦН, что приводит к необходимости дополнительной интерпретации решения. Согласно оптимальному плану подача в промежутке времени $t \in [0; 6]$ часов составляет $Q(t) = 522 \text{ м}^3/\text{ч}$, а для $t \in [10; 19]$ – $Q(t) = 393 \text{ м}^3/\text{ч}$. Наиболее удобно практически реализовать этот план одним насосом, величина оптимальной подачи которого (при отсутствии возможности частотного регулирования) лежит между полученными значениями (временные интервалы работы насоса будут незначительно скорректированы). Экономическая эффективность такого решения будет несколько ниже, чем в исходном оптимальном плане.

Следует также отметить, что, благодаря исходному допущению о независимости напора от подачи, предлагаемая оптимизационная

математическая модель не учитывает особенностей взаимодействия НС с водопроводной сетью.

Таким образом, показана возможность получения оптимального решения задачи оптимизации режимов работы силовых агрегатов НС в рамках задачи линейного программирования. Отработана методика статистической обработки исходного массива данных с целью получения функции среднего водопотребления.

Авторами планируется продолжение работы в плане дальнейшего совершенствования математической оптимизационной модели с учетом высказанных выше замечаний.

Список литературы

1. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы выбора параметров и оптимизации управления группой лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах: дис. ... докт. техн. наук. Щелково, 2008. - 372 с.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (с ред. от 13.07.2015) "Об энергосбережении и о

повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

3. Хроменков С.В. Задачи развития водной отрасли для обеспечения населения России чистой водой// Водоснабжение и санитарная техника, 2011, № 5. – С. 15 – 22.

4. Хованський С.О. Підвищення ефективності експлуатації відцентрових насосів у системі водопостачання житлово-комунального господарства: дис. ... канд. техн. наук. Сумы, 2010. – 162 с.

5. Николенко И., Пастушенко А., Котовская Е. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры насосных агрегатов // MOTROL: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2010. – Vol. 12D, p. 33 – 44.

6. Дж. Бендат, А. Пирсол. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 541 с.

7. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика. – М: Нолидж, 2001. - 1296 с.

Nikolenko I. V., Ryzhakov A. N.

METHOD OPTIMIZATION OF OPERATION OF THE POWER UNIT PUMPING STATIONS

Summary. According to the type of natural experiment determined the averaged curve of a random process water use residential community. In the article the technique of optimization of modes of power units with a step-like method of regulation. Spend the procedure for optimizing the pumping station water supply regime to storage tank using methods of research operations. The analysis of the obtained results.

Key words: random water use process, mathematical programming, optimization.

УДК 66.045.1

МУЛЬТИЦИКЛОН.

Хван В.С., Русинов Д.С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

Аннотация. В данной работе представлен принципиально новый, эффективный, компактный пылеулавливающий аппарат, который может быть использован в системах вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха. Мультициклон состоит из цилиндрического корпуса, нижняя часть имеет коническую форму, внутри корпуса установлена выхлопная труба. Корпус аппарата снабжен входным патрубком. Через него осуществляется тангенциальный ввод загрязненного газа в аппарат на очистку, при этом угол наклона патрубка составляет 15° . Фланцевое соединение, имеющееся на конической части корпуса позволяет соединять его с шламособорником. Через выхлопную трубу выводится очищенный газовый поток. Внутри выхлопной трубы размещено устройство для распыления воды. В шламособорнике аккумулируется шлам. В свою очередь шламособорник снабжен патрубком, предназначенным для отвода шлама. В верхней части выхлопной трубы закреплен каплеуловитель, предназначенный для улавливания уносимых газовым потоком капель воды со связанными частицами пыли. Устройство для распыливания воды состоит в свою очередь из подводящей водяного трубопровода, соединяющегося с коллектором, к последнему присоединены ответвления. Форсунки размещены в нижней части ответвлений. Аппарат способен эффективно улавливает не только пылевидные частицы, но и токсичные компоненты вредных газов из вентиляционных выбросов.

Ключевые слова. мультициклон. аппарат. система. пыль. газ. вентиляция. корпус. труба. каплеуловитель. форсунка. теплообмен. вода. устройство. шламособорник. коллектор.

Введение.

В настоящее время повышению эффективности пылегазоочистки уделяется очень большое внимание со стороны разработчиков и проектантов технологического оборудования.

В качестве направления научных исследований выбрано совершенствование конструкции циклона таким образом, чтобы в нем можно было использовать двухступенчатую очистку вентиляционных газовых выбросов. На первой ступени использовать все преимущества сухого способа очистки (осаждение фракций пыли размером более 5-10 мкм), а на второй ступени – все преимущества мокрой очистки (осаждение фракций пыли размером менее 5-10 мкм, а также очистка токсичных газовых компонентов, таких как аммиак NH_3 , оксиды азота N_2O_3 , диоксид серы SO_2 и т.д., хорошо растворяются в воде)

Достаточно большое количество известных устройств лишены таких качеств, они либо очищают загрязненный газовый поток по сухому способу, либо по мокрому.

Анализ публикаций.

Известны устройства циклонов НИИОгаза (цилиндрические и конические), которые получили широкое распространение. К цилиндрическим относятся циклоны типа ЦН-11, ЦН-15: ЦН-15У и ЦН-24 [1,3,4,6,10]. Характерными особенностями аппаратов этой группы являются:

- наличие удлиненной цилиндрической части;

- угол наклона крышки и входного патрубка равен соответственно 11° , 15° и 24° ;

- одинаковое отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона, равное 0,59.

Однако они очищают вентиляционные вредности только по сухому.

Известна конструкция полого газопромывателя [2,7,8,9].

Аппарат представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыливаемой форсунками. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости.

Однако этот аппарат очищает газовый поток только мокрым способом.

Цель и постановка задачи исследований.

Цель работы. Повышение эффективности системы пылегазоочистки.

Поставленная цель достигается за счет обеспечения последовательной двухстадийной очистки вредностей в циклоне, причем на первой стадии очистка загрязненного газового потока от пылевидных частиц производится сухим способом в межтрубном пространстве аппарата по традиционной технологии, а вторая стадия очистки загрязненного газового потока от пылевидных частиц и от токсичных газовых компонентов мокрым способом в полости внутренней трубы. Таким образом на первой стадии очистки осаждаются крупная и средняя фракции пыли

размером 5...10 мкм и более, а на второй стадии мокрым способом осаждается мелкая фракция пыли размером менее 5...10 мкм и токсичные компоненты газовых вентиляционных выбросов. В результате эффективность очистки повышается с 75-85% до 97%.

Задачи. Разработать конструкцию мультициклона, в котором реализуются последовательно два способа очистки (по сухому и мокрому способам), разработанный аппарат превращается в мультициклонный пылеуловитель.

Методика исследований.

Для решения поставленных задач сравнивались конструктивные особенности пылеуловителя, в частности, аналога. Оценивались недостатки известных аппаратов, в результате разработано новое конструктивное решение мультициклона.

Результаты исследований.

Разработан принципиально новый аппарат оригинальной конструкции. На рис. 1 представлена конструкция мультициклона.

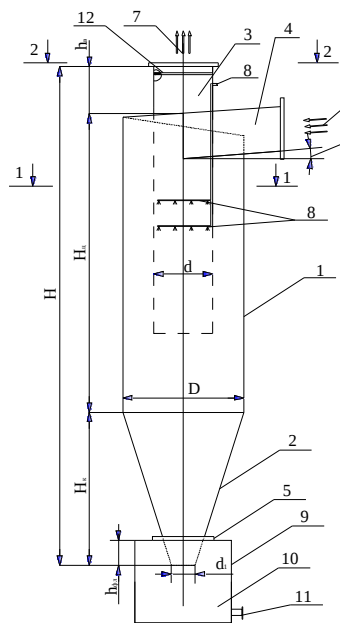
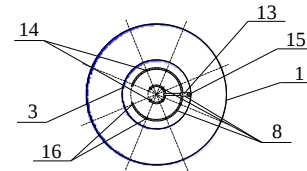


Рис. 1. Конструкция мультициклона:

1- цилиндрический корпус аппарата; 2 – нижняя коническая часть корпуса; 3 – выхлопная труба; 4 - входной патрубок; 5 - фланцевое соединение для крепления корпуса аппарата с шламосборником; 6 – загрязненный газовый поток; 7 – очищенный газовый поток; 8 – устройство для распыления воды; 9 – шламосборник; 10 – шлам; 11 – патрубок для отвода шлама из шламосборника; 12 – каплеуловитель; 13 – коллектор; 14 – ответвления от коллектора; 15 – подводящий водяной трубопровод; 16 – форсунки.

На рис. 2 представлен разрез мультициклона по линии 1-1.



На рис. 2. Разрез по линии 1-1.

Мультициклон состоит из цилиндрического корпуса 1, нижняя часть имеет коническую форму 2, внутри корпуса 1 установлена выхлопная труба 3. Корпус аппарата 1 снабжен входным патрубком 4. Через него осуществляется тангенциальный ввод загрязненного газа 6 в аппарат на очистку, при этом угол наклона патрубка составляет 15°. Фланцевое соединение 5, имеющееся на конической части 2 корпуса 1 позволяет соединять его с шламосборником 9. Через выхлопную трубу 3 выводится очищенный газовый поток 7. Внутри выхлопной трубы размещено устройство для распыления воды 8. В шламосборнике 9 аккумулируется шлам 10. В свою очередь шламосборник 9 снабжен патрубком 11, предназначенным для отвода шлама 10. В верхней части выхлопной трубы закреплен пылеуловитель 12, предназначенный для улавливания уносимых газовым потоком капель воды со связанными частицами пыли. Устройство для распыливания воды 8 состоит в свою очередь из подводящей водяного трубопровода 15, соединяющегося с коллектором 13, к последнему присоединены ответвления 14. Форсунки 16 размещены в нижней части ответвлений 14.

Мультициклон работает следующим образом.

Очистка загрязненного газового потока от пылевидных частиц и токсичных газовых компонентов в аппарате производится в две стадии. Первая стадия очистки производится сухим способом как в обычном циклоне. При этом загрязненный газовый поток 6 через входной патрубок 4 со скоростью 15 м/с поступает в межтрубное пространство аппарата, оно расположено между цилиндрической частью корпуса 1 и выхлопной трубой 4, при этом загрязненный поток 6 закручивается по спирали в направлении вниз устройства, этому способствует угол наклона входного патрубка под углом 15°, тангенциальный ввод газа, а также скорость ввода. При закручивании загрязненного газового потока 6 по спирали в нем возникает центробежная сила, которая воздействует на крупные и средние по размеру частицы пыли (более 5...10 мкм) и выталкивает их на периферию, а именно на внутреннюю стенку корпуса 1. Где частицы ударяются о внутреннюю поверхность корпуса 1, теряют кинетическую энергию, этому также способствует сила трения между частицами пыли и внутренней поверхностью корпуса 1, и падают под

собственным весом, за счет силы гравитации, в нижнюю коническую часть 2 корпуса 1. затем они через нижнее отверстие попадают в шламособорник 9. В нижней части корпуса, в его конической части 2, газовый поток 6 защищенный от крупных и средних частиц пыли меняет направление движения на 180° , при этом скорость его движения составляет порядка 5 м/с. В это время содержание пылевидных частиц в газовом потоке составляет порядка 10 – 15% от первоначального содержания и преимущественно мелкой фракции пыли (менее 5 мкм).

С этого момента начинается вторая стадия очистки пылевидных частиц и токсичных газовых компонентов мокрым способом. При движении все еще загрязненного газового потока 6 вверх аппарата включается устройство для распыливания воды. При этом чистая вода по подводящему трубопроводу 15 под давлением подается на коллектор 13, откуда через ответвления 14 направляется на форсунки 16. Вода через форсунки 16 распыляется в виде капель размером $(0,6...1,0) \cdot 10^{-3}$ м. При этом величина удельного орошения составляет в пределах $(0,8..8) \cdot 10^{-3}$ м³ на 1 м³ газа. Распыление капель воды производится таким образом, что капельки воды заполняют значительный объем внутреннего пространства выхлопной трубы 3, причем разбрызгивание осуществляется на двух и более уровнях. При соприкосновении капель воды с частицами пыли, последние связываются каплями воды, намокают, впитывая влагу, утяжеляются, растворяются и падают в шламособорник 9. Недостаточно тяжелые капельки воды с частицами пыли могут уноситься вверх, однако для их улавливания сверху установлен каплеуловитель 12. В нем устроены щели угловатой формы, которые препятствуют свободному прохождению капель воды. Капли воды ударяются о поверхность щелевидных отверстий, теряют кинетическую энергию и растекаются по поверхности щели. Поскольку капли воды постоянно ударяются о щелевидные отверстия и растекаются, то в результате слияния мелких капель образуются более крупные капли, далее они отрываются от каплеуловителя 12 и летят под собственным весом вниз в шламособорник 9. Одновременно капельки воды при контакте с газовым потоком абсорбируют токсичные газовые компоненты из него, такие как аммиак NH_3 , оксиды азота N_2O_3 , диоксид серы

SO_2 и т.д., которые хорошо растворяются в воде. Абсорбция газа основана на диффузионном процессе проникновении атомов газа в молекулярную структуру жидкости. Это становится возможным когда создаются соответствующие условия, характеризующиеся определенным давлением и температурой этих сред, а именно низкое парциальное давление на границе двух сред при нормальной температуре процесса, происходит взаимное проникновение газов в жидкость. При этом токсичные газы внутри жидкости

удерживаются за счет молекулярных сил притяжения, однако эти связи между атомами газов и молекулами воды весьма неустойчивы и легко разрываются при повышении температуры жидкости, давления жидкости, или того и другого одновременно. Такой процесс называется десорбцией, как правило десорбция проводится за пределами пылеуловителя, на стадии отстоя шлама, после его вывода из шламособорника 9. Очищенный газовый поток 7 выводится из аппарата через выхлопную трубу 3.

Методика расчета и подбора мультициклона.

Методика расчета и подбора аппарата представлена в [5,12].

1. Задаемся типом мультициклона. Принимаем к расчету конструкцию возвратно-поточный циклона типа ЦН-15. Принимаем величину оптимальной скорости потока в мультициклоне $w_{opt} = 3.5 \text{ м/с}$.

2. Рассчитываем необходимую площадь сечения мультициклона, м²:

$$F = \frac{Q_p}{w_{opt}}, \text{ м}^2 \quad (1.0)$$

3. Определяем диаметр мультициклона, м, задаваясь количеством мультициклонов N:

$$D = \sqrt{\frac{F}{0.785 \cdot N}}, \text{ м} \quad (1.1)$$

Диаметр мультициклона округляем до величины, стандартного размера циклона типа ЦН-15.

4. Вычисляем действительную скорость газа в мультициклоне:

$$w = \frac{Q_p}{0.785 \cdot N \cdot D^2}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

Скорость в мультициклоне не должна отклоняться более чем на 15% от оптимальной. Отклонение составляет 5,7%

5. Рассчитываем коэффициент гидравлического сопротивления одиночного мультициклона:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{\text{ц}}^{c(n)} + K_3, \text{ Па} \quad (1.3)$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр мультициклона;

K_2 – поправочный коэффициент на начальную запыленность газов;

K_3 – поправочный коэффициент на способ компоновки группы циклонов.

6. Определяем потери давления в мультициклоне, Па:

$$\Delta p = \zeta_{\text{ц}} \frac{\rho_{\text{г}} \cdot w^2}{2}, \text{ Па} \quad (1.4)$$

7. Принимаем параметры $d_{50}^T = 8,6$ и $\lg \sigma_{\eta}^T = 0,32$, характеризующие парциальную эффективность выбранного типа мультициклона.

8. Определяем параметр x по формуле:

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_q}} = \frac{\lg\left(\frac{6,5}{8,6}\right)}{\sqrt{0,32^2 + 0,26^2}} \quad (1.5)$$

9. Далее определяем значение $\Phi(x)$, представляющее собой полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях. Затем определяем степень очистки газа:

$$\eta = 0,5 \cdot [1 + \Phi(x)]\% \quad (1.6)$$

Расчет характеристик осаждения вредностей в мультициклоне на второй стадии очистки.

Расчеты параметров очистки мокрым способом для мультициклона производим, по аналогии с расчетом параметров очистки полых газопромывателей [3,11], с определением степени очистки по вероятностному методу выполняются в следующем порядке.

1. Принимают скорость газов w в выхлопной трубе мультициклона около 5 м/с, перепад давления порядка 650...750 Па и выбирают величину удельного орошения r_{ir} в пределах $(0,5...8) \cdot 10^{-3}$ м³ на 1 м³ газа. Дисперсный состав пыли:

d, мкм	,6	,5	,0	,3	0
g, %	4	2,5	8	0	,5

2. Определяют среднюю площадь выхлопной трубы в сечении, перпендикулярном направлению потока газов:

$$F = \frac{W}{w}, \text{ м}^2 \quad (1.7)$$

где W — расход очищаемых газов, м³ / с, подсчитанный по температуре и давлению на выходе из аппарата.

Радиус аппарата в этом сечении определяем по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \text{ м} \quad (1.8)$$

Находим диаметр выхлопной трубы с противоточным орошением или эквивалентный диаметр для аппарата с поперечным орошением. Высоту аппарата с круглым поперечным сечением принимают порядка 2,5 диаметров, а с прямоугольным сечением — из конструктивных соображений.

Диаметр выхлопной трубы мультициклона:
 $D = 2R, \text{ м}$

Высота выхлопной трубы мультициклона:
 $h = 2,5D, \text{ м}$

Температуру газов на выходе из выхлопной трубы, имевших начальную температуру 20...40°C и выше, при отсутствии специальных требований можно принимать на 100°C ниже начальной, а температуру ненагретых газов — равной начальной.

3. Определяют расход жидкости на орошение:

$$W_L = r_{ir} \cdot W = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,6, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (1.9)$$

4. Определяют инерционные параметры ψ , для фракций частиц заданного состава:

$$\psi_i = \frac{D_{pi}^2 \cdot \rho_p \cdot w \cdot C_i'}{18\eta \cdot l} \quad (1.10)$$

где D_{pi} — диаметр частицы i -й фракции, м;
 ρ_p — истинная плотность частиц, 1450 кг/м³;
 C_i' — поправка Каннингхема, 90;
 l — определяющий размер, $1,0 \cdot 10^{-3}$ м;
 η — динамическая вязкость газа, $18,4 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

За определяющий размер при расчете полых скрубберов принимают диаметр капли орошаемой жидкости в пределах $(0,6...1,0) \cdot 10^{-3}$ м.

5. Определяют коэффициент захвата частиц определенных фракций η_{dri} :

$$\eta_i = \frac{\psi_i^2}{(\psi_i + 0,35)^2} \quad (1.11)$$

Если $\psi_i = 150$, то η_{dri} превышает 0,995;

при ψ_i более 170 можно принимать $\eta_{dri} = 1$.

6. Определяют значения парциальных коэффициентов очистки для скрубберов с противоточным орошением по формуле:

$$\eta_{p1} = 1 - \exp\left[-\frac{3W_L \cdot \eta_i (w + w_{dr}) \cdot h}{2W \cdot D_{dr} \cdot w_{dr}}\right] \quad (1.12)$$

где W_{dr} — скорость осаждения капли, м/с;

D_{dr} — диаметр капли, м.

В выхлопной трубе мультициклона устанавливают форсунки грубого распыливания создающие капли диаметром $(0,6...1,0) \cdot 10^{-3}$ м. Скорость осаждения таких капель можно найти по диаграмме рис 3.

По номограмме для определения диаметра D_p , мкм, частиц плотностью ρ_p , кг/м³, по скорости оседания W_p , см/с, с учетом температуры газа t , °C

7. По найденным парциальным (фракционным) коэффициентам очистки и заданному фракционному составу дисперсных загрязнителей определяют полный коэффициент очистки η_{tot} :

$$\eta_{tot} = \sum_{i=1}^N \eta_{if} \frac{F_{ib}}{100}, \% \quad (1.13)$$

Применения мультициклона со второй стадией очистки целесообразно.

Одновременно на второй стадии в выхлопной трубе мультициклона происходит абсорбирование токсичных газовых компонентов из загрязненного газового потока. В полном газопромывателе (абсорбере) жидкость распыливается форсунками. Эффективность газопромывателя зависит от количества распыляемой жидкости, угла конусности факела распыла, дисперсности капель и распределения их в сечении факела.

Производительность форсунки определяют по формуле (в м³/с):

$$V = \xi \cdot f \cdot \left(\frac{2P}{\rho_{ж}} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.14)$$

где P — давление жидкости перед форсункой, 290000 Па;

$\rho_{ж}$ — плотность жидкости, 1000 кг/м³;

f_2 — площадь выходного отверстия форсунки, 1,9·10⁻⁵ м²;

ξ — коэффициент расхода жидкости, равный 0,2...0,3.

Диаметр капель $D_{dr} = (0,6...1,0) \cdot 10^{-3}$ м распыливаемой воды.

Удельная поверхность капель равна:

$$a = \frac{6 \cdot U}{u \cdot D_{dr}}, \text{ м}^2, \quad (1.15)$$

где U — плотность орошения, 0,48 м³/(м²·с);

u — абсолютная скорость капель, 2,2 м/с,

$u = w_0 \pm w$ (w_0 — скорость падения капли, 1.1 м/с, w — скорость газа, 3.3 м/с).

Скорость осаждения капель воды можно определить из диаграммы рис. 3.2 в [1].

Использование разработанного устройства в качестве пылеуловителя в системах пылегазоочистки позволяет повысить эффективность очистки вентиляционных вредностей за счет двухстадийной очистки. В свою очередь двухстадийная очистка предполагает, что на первой стадии производится очистка крупной и средней фракций пыли размером 5...10 мкм и более сухим способом в межтрубном пространстве, а на второй стадии очистка мелкой фракции пыли размером менее 5...10 мкм и токсичных газовых компонентов таких, как аммиак NH_3 , оксиды

азота N_2O_3 , диоксид серы SO_2 и т.д. (хорошо растворяются в воде) мокрым способом во внутреннем пространстве выхлопной трубы аппарата.

Выводы.

Разработанный теплообменный аппарат позволяет:

1. Обеспечить двухстадийную пылегазоочистку в аппарате, причем на первой стадии - очистка загрязненного газового потока от крупной и средней фракций пыли осуществляется сухим способом в межтрубном пространстве, а на второй стадии - очистка загрязненного газового потока от мелкой фракции пыли и токсичных газов осуществляется мокрым способом в выхлопной трубы аппарата.

2. Повысить эффективность очистки загрязненного газа от пыли в аппарате до 97%.

3. Обеспечить очистку загрязненного газа от токсичных газов, которые хорошо растворяются в абсорбенте (вода), например, газ аммиак (NH_3), газ диоксид серы (SO_2) и т.п.;

4. Повысить к.п.д. аппарата.

Список литературы.

1. Алиев Г.М. Устройство и обслуживание газоочистительных и пылеулавливающих установок - М.: Металлургия, 1983. - 368 с.
2. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты атмосферы от газовых выбросов. - Пенза: Изд-во ПТИ, 2003. - 155 с.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. - 201 с.
4. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов - М.: Металлургия, 1968. - 456 с.
5. Зиганшин М.Г., Колесник А.А., Заганшин А.М. Проектирование аппаратов пылегазоочистки: Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. И доп. - СПб.: Издательство «Лань», 2014. - 544 с.
6. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов - М.: Металлургия, 1991. - 320 с.
7. Дубальская Э.Н. Очистка отходящих газов - М., 1991. - 148 с.
8. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка газов и пыли в химической промышленности. - 2-е изд., перераб. И доп. / А.П. Коузов, А.Д. Мальгин, Г.М. Скрябин. - СПб: Химия, 1993. - 320 с.
9. Охрана окружающей среды :Справочное пособие / Сост. Л.П. Шариков. - Л.: Судостроение, 1978. - 560 с.
10. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха - 2-е изд., испр. и доп. - М.:Стройиздат, 1981. - 296 с.
11. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. Алиев Г.М.-А, М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
12. Штокман Е.А. Очистка воздуха - М.: Изд. АСВ, 1999. - 312 с.

Khwan V. S. Rusinov D. S.

MULTICYCLONE.

Abstract. This paper presents a fundamentally new, efficient, compact dust removal device, which can be used in systems of ventilation and air-conditioning. The multi-cyclone consists of a cylindrical body, the lower part has a conical shape, mounted inside the housing of the exhaust pipe. The Cabinet is provided with inlet spigot. Through the tangential entry of contaminated gas into the apparatus for cleaning, while the tilt angle of the nozzle is 15°. Flange connection, available on the conical part of the housing allows you to connect it with the catcher. Through the exhaust pipe appears purified gas stream. Inside the exhaust pipe is a device to spray water. Catcher in the accumulated sludge. In turn, the catcher is provided with a pipe designed for discharging the sludge. At the top of the exhaust pipe is fixed the droplet separator is designed to trap gas entrained stream of water droplets with associated dust particles. Device for the atomization of water is to turn from the feed water pipe connecting to the manifold, attached to the last branch. The nozzle placed at the bottom of the branches. The device is able to effectively catch not only dust particles, but also toxic components, harmful gases from exhaust air.

Key words. multicyclone. camera. system. dust. gas. ventilation. body. pipe. the droplet separator. atomizer. the heat exchange. water. device. the chip catcher. collector.

УДК 66.045.1

ТЕПЛООБМЕННИК.

Хван В.С., Пиронко С.А.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

Аннотация. В данной работе представлен принципиально новый, эффективный, компактный теплообменный аппарат, который может быть использован в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Устройство имеет металлический цилиндрический корпус, внутри которого закреплены металлические перегородки. Перегородки одной стороной закреплены между собой вдоль осевой линии цилиндра корпуса, другой стороной к внутренней стенке корпуса, третьей и четвертой сторонами к торцовым стенкам аппарата. Перегородки имеют форму прямоугольника. Линейные размеры перегородок: ширина равна радиусу окружности цилиндра корпуса, а длина – длине цилиндрического корпуса аппарата. Перегородки, в свою очередь, делят внутренний объем устройства на отдельные равные по объему сегменты. Четные и нечетные (по нумерации) объемные сегменты внутри корпуса аппарата последовательно соединены между собой с помощью колен и образуют два независимых друг от друга контура, по первому контуру подается горячая вода, а по второму контуру подается холодная вода, при этом горячая вода нагревает холодную воду и охлаждается, далее она выводится из теплообменника и поступает на источник нагрева (например, котельная), а нагретая вода подается в систему отопления.

Ключевые слова. аппарат. система. отопление. корпус. перегородка. полость. трубка. теплообмен. вода. устройство.

Введение.

В настоящее время повышению теплопередающей способности теплообменных аппаратов уделяется очень большое внимание со стороны разработчиков и проектантов технологического оборудования.

Процесс теплообмена между двумя средами типа вода-вода в теплообменных аппаратах имеет ключевое значение для систем отопления, так как позволяет увеличить степень нагрева низкотемпературного теплоносителя и сократить непроизводительные потери тепла.

Достаточно большое количество известных конструкций теплообменников обладают таким существенным недостатком как сравнительно низкая эффективность теплообмена между высокотемпературной и низкотемпературной средами.

Анализ публикаций.

Известен теплообменник типа «труба в трубе», выполненный в виде последовательно соединенных секций, каждая из которых состоит из цилиндрической трубы большего диаметра, внутри которой установлена цилиндрическая труба меньшего диаметра. В трубу меньшего диаметра подается холодная вода для нагрева, а в трубу большего диаметра подается горячая вода, предназначенная для нагрева холодной воды. Секции теплообменника соединяются между собой с помощью металлических колен, а межтрубные пространства смежных секций соединяются с помощью патрубков [1,2,5,6,8].

Однако, известный аппарат обладает сравнительно низкой теплопередающей способностью за счет неразвитой поверхности теплообмена между средами.

Цель и постановка задачи исследований.

Цель работы. Повышение теплопередающей способности теплообменника за счет увеличения поверхности теплообмена между высокотемпературной и низкотемпературной средами.

Поставленная цель достигается за счет установки внутри кожуховой трубы теплообменника прямоугольных по форме стальных перегородок таким образом, что они образуют сквозные каналы, четные из которых предназначены для заполнения высокотемпературной средой, а нечетные – низкотемпературной средой (в качестве указанных сред используются горячая и холодная воды). В свою очередь четные каналы соединены между собой коленом, помимо этого первый четный канал снабжен патрубком для ввода горячей воды, а последний – патрубком для вывода охлажденной воды. Нечетные каналы также соединены между собой коленом, помимо этого последний нечетный канал снабжен патрубком для ввода холодной воды, а первый – патрубком для вывода нагретой воды.

Задачи. Устройство выполнено в виде цилиндрического корпуса, внутри которого закреплены металлические перегородки. Перегородки одной стороной закреплены между собой вдоль осевой линии цилиндра корпуса, другой стороной к внутренней стенке корпуса, третьей и четвертой сторонами к торцовым стенкам аппарата. Перегородки имеют форму прямоугольника. Линейные размеры перегородок: ширина равна радиусу окружности цилиндра корпуса, а длина – длине цилиндрического корпуса аппарата.

Перегородки, в свою очередь, делят внутренний объем устройства на отдельные равные по объему сегменты.

Четные и нечетные (по нумерации) объемные сегменты внутри корпуса аппарата последовательно соединены между собой с помощью колен и образуют два независимых друг от друга контура, по первому контуру подается горячая вода, а по второму контуру подается холодная вода, при этом горячая вода нагревает холодную воду и охлаждается, далее она выводится из теплообменника и поступает на источник нагрева (например, котельная), а нагретая вода подается в систему отопления.

Методика исследований.

Для решения поставленных задач сравнивались конструктивные особенности теплообменников, в частности, аналогов. Оценивались недостатки известных аппаратов, в результате разработано новое конструктивное решение теплообменника.

Результаты исследований.

Разработан принципиально новый аппарат оригинальной конструкции. На рис. 1 представлена конструкция теплообменного аппарата.

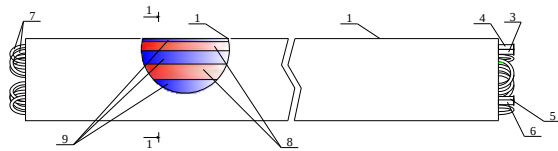


Рис. 1. Конструкция теплообменника:

1 – корпус аппарата; 2 – металлические перегородки; 3 – патрубок для ввода горячей воды; 4 – патрубок для вывода охлажденной воды; 5 – патрубок для ввода холодной воды; 6 – патрубок для вывода нагретой воды; 7 – калач; 8 – горячая вода; 9 – холодная вода.

Конструкция теплообменника включает: цилиндрический корпус 1, внутри которого закреплены металлические перегородки 2. Перегородки 2 одной стороной закреплены между собой вдоль осевой линии цилиндра корпуса 1, другой стороной к внутренней стенке корпуса 1, третьей и четвертой сторонами к торцовым стенкам аппарата. Перегородки 2 имеют форму прямоугольника. Линейные размеры перегородок 2: ширина равна радиусу окружности цилиндра корпуса, а длина – длине цилиндрического корпуса аппарата.

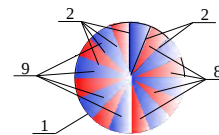
Перегородки 2, в свою очередь, делят внутренний объем устройства на отдельные равные по объему сегменты. Каждый единичный объемный сегмент ограничен двумя смежными перегородками 2, частью сферической поверхности корпуса 1, а также равными между собой площадями, имеющими форму секторов на противоположных торцовых частях аппарата.

Нечетные (относительно вертикальной оси корпуса 1 и по часовой стрелке) объемные сегменты последовательно соединены между собой с помощью колен 7 и образуют независимый контур

по которому подается холодная вода 9, предназначенная для нагрева в теплообменнике. Соединительное колено 7 имеет форму полукольца и крепится к сегментам посредством сварки. Ввод холодной воды осуществляется через патрубок 5, который установлен на торцевой стенке первого нечетного сегмента. Для вывода нагретой воды используется патрубок 6, закрепленный с помощью сварки на торцевой стенке последнего нечетного сегмента.

Четные (относительно вертикальной оси корпуса и по часовой стрелке) объемные сегменты также последовательно соединены между собой с помощью колена 7 и образуют независимый контур по которому подается горячая вода 8, которая после передачи тепла охлаждается в теплообменнике. Ввод горячей воды осуществляется через патрубок 3, который расположен на торцевой стенке первого четного сегмента. Для вывода охлажденной воды используется патрубок 4, установленный на торцевой стенке последнего четного сегмента.

На рис. 2 представлен разрез теплообменника по линии 1-1.



На рис. 2. Разрез по линии 1-1.

Теплообменник работает следующим образом.

Горячая вода 8 от источника тепла, например котельной, подается в теплообменник через патрубок 3 и заполняет последовательно четные сегменты аппарата посредством соединительных колен 7. Одновременно с этим процессом, в аппарат через патрубок 5 подается холодная вода 9, которая последовательно заполняет нечетные сегменты посредством соединительных колен 7, причем движение жидкостей внутри аппарата осуществляется в противотоке (навстречу друг другу). Источником холодной воды 9 является водопроводная сеть. Контакт между горячей и холодной водой происходит через поверхность теплообмена в качестве которой служат металлические перегородки 2. В результате теплообмена между двумя средами горячей водой 8 и холодной водой 9, горячая вода 8 охлаждается, а холодная вода 9 – нагревается. Причем процесс теплообмена происходит двухсторонний. При этом холодная вода 9 в теплообменнике нагревается и используется в дальнейшем для нужд систем горячего водоснабжения или отопления. В свою очередь, горячая вода 8 в теплообменнике охлаждается и возвращается в котельную для подогрева.

Методика расчета и подбора теплообменника.

Методика расчета и подбора аппарата представлена в [3,4,7,9,10,11,12].

Предварительно определяем оптимальное соотношение числа ходов для сетевой и нагреваемой воды:

$$\frac{x_1}{x_2} = \left(\frac{G_h}{G_d} \right)^{0.636} \times \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \right)^{0.364} \times \frac{1000 - t_{cp,н}}{1000 - t_{cp,сп}} \quad (1.0)$$

Предварительно принимаем потери напора по нагреваемой воде $\Delta P_n = 40 \text{ кПа}$, а на греющей воде $\Delta P_{sp} = 100 \text{ кПа}$.

Так как соотношение ходов < 2 , то принимаем симметричную компоновку (одинаковое количество ходов по греющей и нагреваемой воде).

Принимаем оптимальную скорость нагреваемой воды $0,4 \text{ м/с}$.

Определим число каналов:

$$n = \frac{G_2}{\omega_{opt} \cdot f_k \cdot \rho \cdot 3600} \quad (1.1)$$

Принимаем число каналов.

Определяем площадь каналов.

Для него $f_k, \text{ м}^2$.

Общее живое сечение каналов в пакете:

$$f_2 = f_1, \text{ м}^2 \quad (1.2)$$

Фактические скорости:

- для нагреваемой воды:

$$\omega_n = \frac{G_1}{3600 \cdot f_1}, \text{ м/с} \quad (1.3)$$

- для греющей воды:

$$\omega_{sp} = \frac{G_2}{3600 \cdot f_2}, \text{ м/с} \quad (1.4)$$

Определим коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке:

$$\alpha_{sp} = 1,16 \cdot A \cdot [23000 + 283 \cdot t_{cp,сп} - 0,63(t_{cp,сп})^2] \cdot \omega_{sp}^{0,73} \quad (1.5)$$

где для выбранного типа теплообменника $A = 0,492$ (коэффициент теплоотдачи).

Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде:

$$\alpha_p = 1,16 \cdot A \cdot [23000 + 283 \cdot t_{cp,нагр} - 0,63(t_{cp,нагр})^2] \cdot \omega_{нагр}^{0,73} \quad (1.6)$$

Определяем коэффициент теплопередачи (К):

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_{sp}} + \frac{1}{\alpha_{сет}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}} \quad (1.7)$$

где $\delta_{ст} = 0,001$;

$$\lambda_{ст(сталь)} = 16 \text{ Вт / м} \cdot \text{К} ;$$

$\beta = 0,8$ - коэффициент загрязнения.

Определяем требуемую поверхность нагрева ВВП первой ступени:

$$F_1 = \frac{Q_{1,226}}{k \cdot \Delta t_{cp,л}}, \text{ м}^2 \quad (1.8)$$

Количество ходов в теплообменнике (х):

$$x = \frac{F_{mp} + f_{nl}}{2n \cdot f_{nl}} \quad (1.9)$$

Принимаем $x = 1$, т.е. одноходовой теплообменник с $n = 9$.

Действительная поверхность нагрева:

$$F_{мелл} = (2n \cdot x - 1) \cdot f_{nl}, \text{ м}^2 \quad (1.10)$$

Определим потери давления:

для нагреваемой воды:

$$\Delta P_2 = \varphi \cdot B \cdot (33 - 0,08 \cdot t_{cp}) \cdot \omega^{1,75} \cdot x, \text{ Па} \quad (1.11)$$

где $\varphi = 1,75$ - коэффициент накипиобразования;

$B = 3$ - гидравлический коэффициент.

Для греющей воды:

$$\Delta P_1, \text{ Па} \quad (1.12)$$

Проверка:

$$\frac{x_1}{x_2} = \left(\frac{G_h}{G_d} \right)^{0.636} \times \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \right)^{0.364} \times \frac{1000 - t_{cp,н}}{1000 - t_{cp,сп}} \quad (1.13)$$

Использование разработанного устройства в качестве теплообменника в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет повысить теплопередающую способность теплообменника за счет увеличения поверхности теплообмена между высокотемпературной и низкотемпературной средами.

Выводы.

Разработанный теплообменный аппарат позволяет:

1. Увеличить поверхность теплообмена между средами.
2. Обеспечить двусторонний нагрев (охлаждение) воды.
3. Повысить к.п.д. аппарата.
4. Уменьшить материалоемкость аппарата.

Список литературы.

1. Банных О.П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников. Учебное пособие. СПбНИУ ИТМО, 2012. – 42 с.
2. Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. Выбор и расчет теплообменников. Учебное пособие. Пенза. 2001. – 100 с.
3. Теплотехника: Учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др.; Под ред. А. П. Баскакова. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 224 с.

4. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников.- Киев: Наукова думка, 1979. – 352.
5. Кейс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники.- М.: Энергия, 1967. – 160 с.
6. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена.- М.: Энергия, 1977. – 464 с.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.- М.: Энергия, 1973. – 344 с.
8. Петровский Ю.В., Фастовский В.Г. Современные эффективные теплообменники.- М.-Л.: Энергоиздат, 1962. – 258 с.
9. Стасюлявичус Ю., Скринска А. Теплоотдача поперечно-обтекаемых пучков ребристых труб.- Вильнюс: Минтис, 1974. – 59 с.
10. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник.- М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
11. Теплотехнический справочник. Т. 2.— М.: Энергия, 1976. – 896 с.
12. Юдин В.Ф., Тохтарова Л.С. Конвективный теплообмен при поперечном обтекании пучков ребристых труб.- Энергомашиностроение, 1974, № 1. – 59.

Khwan V. S., Perenco S. A.

THE HEAT EXCHANGER.

Abstract. This paper presents a fundamentally new, efficient, compact heat exchanger, which can be used in heating, ventilation and air-conditioning. The device has a metallic cylindrical body, inside of which are mounted on metal partitions. Partition one side fixed with each other along an axial line of the cylinder housing, the other side to the inner wall of the housing, the third and fourth sides of the end wall of the apparatus. Partitions are rectangular in shape. The linear dimensions of the partitions: width equal to the radius of the circumference of the cylinder body, and the length – the length of the cylindrical body of the apparatus. Partitions, in turn, divide the internal volume of the device to separate equal-volume segments. Even and odd (numbered) surround the segments inside the housing unit are connected to each other via a knee length and form two independent from each other loop, the first loop provides hot water, and the second circuit is cold water while the hot water heats the cold water and cooled, then it is output from the heat exchanger and enters the heat source (e.g. boiler), and the heated water is fed into the heating system.

Keywords. camera. system. heating. body. partition. cavity. tube. the heat exchange. water. device.

УДК 628.334.51 / 628.339.066.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕДИМЕНТАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КАНАЛИЗАЦИОННЫМ ОЧИСТНЫМ СООРУЖЕНИЯМ Г. СИМФЕРОПОЛЬ, РЕСПУБЛИКА КРЫМ

Черная М.Л., Копачевский А.М., Субботкин Л.Д.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

Аннотация. наиболее точные результаты расчетов первичных отстойников получают на основе данных о кинетике выпадения взвеси. в статье рассмотрены методики исследований процессов седиментации. по результатам экспериментальных исследований построены кривые кинетик осаждения взвешенных веществ. сопоставлены экспериментальные кинетики с кинетиками снп. произведен расчет первичных радиальных отстойников по методикам снп и мгу с экспериментальной кинетикой и кинетиками, приведенными в снп ii-32-74 и снп 2.04.03-85. расчет первичных радиальных отстойников по методике мгу с экспериментальной кинетикой наиболее адекватен фактическим данным канализационных очистных сооружений г. симферополь.

Ключевые слова: первичные радиальные отстойники, взвешенные вещества, седиментация, кинетика осаждения.

Введение

Седиментация (отстаивание) является наиболее простым и часто применяемым в практике способом выделения из сточных вод грубодисперсных примесей, которые под действием гравитационной силы оседают на дно отстойника или всплывают на его поверхность [1].

В зависимости от требуемой степени очистки сточных вод отстаивание применяется или в целях предварительной их обработки перед очисткой на других, более сложных сооружениях, или как способ окончательной очистки, если по местным санитарным условиям требуется выделить из сточных вод только нерастворенные примеси.

Постановка проблемы и задач исследования

Расчет первичных отстойников может производиться по приближенным расчетам: по нагрузке на поверхность зеркала воды отстойника, по расчетной продолжительности отстаивания и по наименьшей гидравлической крупности частиц, подлежащих задержанию в отстойнике [2]. Наиболее точными являются методы, основанные на данных о кинетике выпадения взвеси.

В 1985 году вышел СНиП 2.04.03-85, в котором была приведена кинетика осаждения взвешенных веществ, значительно отличающаяся от кинетики, приведенной в СНиП II-32-74, при этом методики расчета первичных отстойников по СНиП II-32-74 и СНиП 2.04.03-85 идентичны (далее методика СНиП). Объемы первичных отстойников, получаемые по методике СНиП с кинетикой, приведенной в СНиП 2.04.03-85, в разы отличаются от объемов первичных отстойников, получаемых с кинетикой, приведенной в СНиП II-32-74. В 1987 году Союзводоканалпроект – как ответственный разработчик СНиП, письмом 03/3925 от 14.08.87 внес ряд изменений в СНиП 2.04.03-85. Изменения коснулись и кинетики осаждения взвешенных

веществ путем ее замены на кинетику, приведенную в СНиП II-32-74. Однако ГОССТРОЙ СССР не успел утвердить эти изменения в связи с развалом Советского Союза.

Таким образом, поскольку нормативно данный вопрос окончательно не был урегулирован, то создалась парадоксальная ситуация, когда часть организаций ведут расчет по методике СНиП с кинетикой, приведенной в СНиП 2.04.03-85, а часть организаций с кинетикой, приведенной в СНиП II-32-74.

В 2002 году в учебном издании для вузов была широко опубликована методика расчета первичных отстойников Московского государственного строительного университета (МГСУ) с использованием кинетики, приведенной в СНиП 2.04.03-85. Но поскольку учебное издание не является нормативно обязательным, сохранилась неопределенность в вопросах принимаемой методики расчета и кинетики.

Возможность выхода из неопределенной ситуации появилась после выхода в свет СП 32.13330.2012, в котором указано, что расчет отстойников следует производить по кинетике осаждения взвешенных веществ с учетом требуемого эффекта осветления [12]. При этом ни методика расчета, ни кинетика не приведены. Идеологически предполагается, что кинетика будет определена экспериментально на реальной воде, или на аналогичных объектах, а выбор методики расчета оставлен за проектировщиком исходя из современного состояния уровня знаний о седиментации и типов принимаемых к расчету сооружений.

Следует отметить, что в опубликованных методиках имеются отличия. Так по методике, опубликованной в СНиП, коэффициент полезного использования объема отстойников применяется дважды: первый раз при определении

гидравлической крупности и второй раз при вычислении размеров отстойника. Расчетная формула гидравлической крупности по данной методике приведена ниже:

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_{set}} \right)^n}, \text{ мм/с}, \quad (1)$$

где H_{set} - глубина проточной части отстойника, м;

K_{set} - коэффициент использования объема проточной части отстойника;

h_{set} - глубина при отстаивании в покое, принимаемая равной 0,5 м;

t_{set} - продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое h_{set} ;

n - показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения.

По методике МГСУ коэффициент объемного использования должен вводиться только при вычислении размеров отстойника, а гидравлическая крупность определяется без него [5,6]. Расчетная формула гидравлической крупности по методике МГСУ приведена ниже:

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{H_{set}}{h_{set}} \right)^n}, \text{ мм/с}, \quad (2)$$

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод: кинетика взвеси для методик расчета СНиП и МГСУ не может быть идентичной.

Путаница с кинетикой осаждения и отличия в методиках расчета послужили поводом для проведения исследовательских работ кафедры Водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Академии строительства и архитектуры (ранее Национальная академия природоохранного и курортного строительства) по кинетике осаждения взвешенных веществ применительно к канализационным очистным сооружениям (КОС) г. Симферополь.

Методики исследований процессов седиментации

Существуют следующие методики исследований процессов седиментации:

1. Осаждаемость в цилиндрах Лисенко или конусах Имгоффа по объему осадка, выпадающего за определенные промежутки времени. Происходящее с течением времени уплотнение собравшегося на дне цилиндра осадка и, следовательно, уменьшение занимаемого им объема приводит к искажению получаемых результатов оседания грубодисперсных примесей. Получаемая в таком случае кривая не может характеризовать скорость оседания грубодисперсных примесей, и потому для расчета отстойников малоприменима [7].

2. Пипеточный метод седиментационного анализа по массе [8]. В данном методе ведется отбор проб воды с определенной глубины зоны отстаивания. Для построения кривых кинетик, аналогичных приведенным в СНиП, отбор проб воды необходимо производить со всего объема зоны отстаивания для получения усредненного фактического значения. Поэтому кривые кинетик осаждения взвешенных веществ, полученные пипеточным методом, сложно сопоставлять с кинетиками СНиП без значительного увеличения экспериментальных точек при различных глубинах отбора проб.

3. Определение осаждаемости взвеси на торсионных весах путем непосредственного взвешивания осадка, который образуется при выпадении из воды взвешенных веществ. Недостатком данной методики является зависимость глубины погружения чашки торсионных весов от концентрации взвешенных веществ в исследуемой воде с учетом того, чтобы объем осадка, образующийся в результате выпадения взвеси из столба жидкости над чашкой, не превышал емкость самой чашки. Поэтому для исследуемой воды большой мутности погружение чашки должно быть небольшим. Для воды с невысокой концентрацией взвешенных веществ глубина погружения чашки должна быть максимально возможной [9]. Учет данных обстоятельств при колеблющихся концентрациях взвешенных веществ в поступающих сточных водах затруднен.

4. Осаждаемость в лабораторных цилиндрах по массе путем определения концентрации взвешенных веществ во всем объеме зоны отстаивания ($h_{омс}$, мм) через определенный промежуток времени [9].

Госкомитетом по науке и технике и техническим советом стран-членов совета экономической взаимопомощи принято, что для сравнения результатов исследований, выполненных разными авторами, эксперименты по отстаиванию взвешенных веществ в покое должны проводиться при высоте зоны отстаивания $h_{омс} = 500$ мм, принимаемой за эталон [1]. При этом диаметр цилиндров должен быть не менее 120 мм [10], поскольку в цилиндрах меньшего диаметра осаждение взвешенных веществ будет происходить в стесненных условиях, что повлечет за собой недостоверность получаемых результатов.

Данный метод был выбран за основу при проведении экспериментальных исследований.

Предварительные исследования

Для получения зависимости концентрации взвешенных веществ от оптической плотности через определенные промежутки времени были отобраны пробы воды на входе в первичный отстойник и на выходе из него. Для одной части каждой пробы по методике [11] было определено содержание взвешенных веществ, выраженное в мг/л. Для

другой части каждой пробы была найдена оптическая плотность D на колориметре фотоэлектрическом концентрационном при длине волны $\lambda = 540 \text{ нм}$ в кюветах на 50 мм.

В связи с тем, что сточные воды изменяют свои свойства на протяжении времени пребывания в первичном отстойнике, для определения концентрации взвешенных веществ через величину оптической плотности были отдельно построены две калибровочные кривые: для воды на входе в первичный отстойник и для воды на выходе из него (рис. 1).

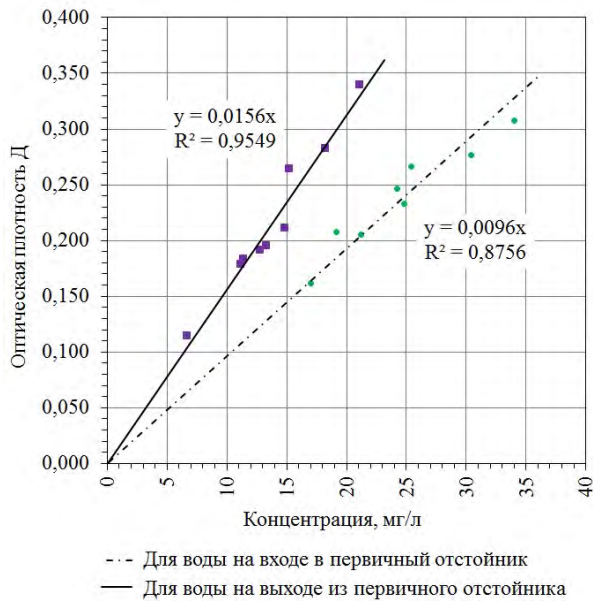


Рис. 1. Калибровочные кривые

Поисковые исследования по определению характера кинетики

Экспериментальная установка представляла собой модель отстойника-декантатора (цилиндры из полипропиленовых труб диаметром $d = 150 \text{ мм}$ с высотой зоны отстаивания $h_{отс} = 500 \text{ мм}$). Также в состав экспериментальной установки входили бак-усреднитель вместимостью 50 л и мешалка (рис. 2).

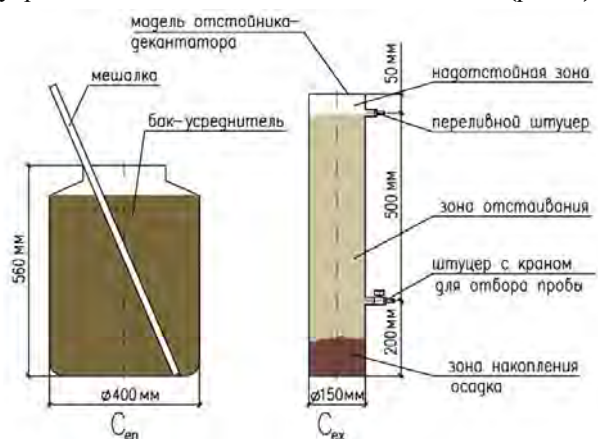


Рис. 2. Экспериментальная установка

Бак-усреднитель заполнялся исследуемой сточной водой, отобранной из распределительной чаши первичных отстойников. Перед заполнением цилиндров вода в баке-усреднителе тщательно перемешивалась мешалкой и отбиралась проба исходной воды для определения исходной концентрации $C_{en}, \text{ мг/л}$.

Затем цилиндры заполнялись исследуемой водой из бака-усреднителя до верхнего переливного штуцера и фиксировалось время начала процесса седиментации взвешенных частиц в состоянии покоя. Экспериментальные исследования проводились в помещении с температурой, близкой к температуре исследуемой воды. Время отстаивания принималось для всех цилиндров разным, возрастающим от первого цилиндра к последнему.

По истечении заданного для каждого цилиндра времени отстаивания объем воды из всей зоны отстаивания сливался через штуцер с кранами в отдельные емкости, из которых отбирались пробы воды для измерения концентрации взвешенных веществ в осветленных сточных водах $C_{ex}, \text{ мг/л}$.

Эффект осветления воды для каждого из исследуемых промежутков времени находился по приведенной ниже формуле:

$$\Theta = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

По результатам исследований были построены кривые кинетики осветления воды $\Theta = f(t)$, показывающие зависимость количества выпавшей в осадок взвеси, выраженной в процентах от исходной концентрации ($\Theta, \%$), от продолжительности отстаивания ($t, \text{ с}$) (рис. 3).

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующий вывод: фактический состав сточных вод не однозначен и имеет различные характеристики в течении дня и различную природу. Так, воды, поступающие рано утром, имеют более низкую концентрацию взвешенных веществ и имеют одну кинетику осаждения. Сточные воды, поступающие в середине дня, имеют более высокую концентрацию взвешенных веществ и другую кинетику осаждения. Сточные воды, поступающие в переходный период между утром и серединой дня, имеют кинетику и концентрацию отличающиеся от двух других. Вид кривых в целом подобен общему понятию кинетики осаждения взвешенных веществ при сравнении с данными СНиП. Не нарушены последовательности, связанные с распределением кривых кинетик в зависимости от исходных концентраций. С увеличением исходных концентраций эффект осветления возрастает и кривые располагаются выше (смотри СНиП II-32-74 [4] и СНиП 2.04.03-85 [3]). Фактически такая зависимость подтвердилась.

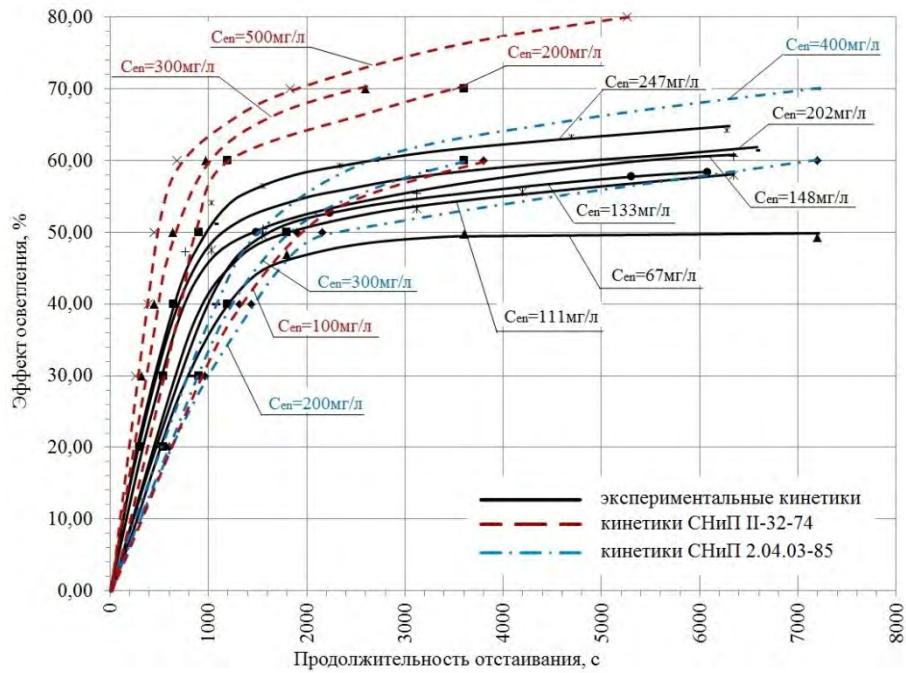


Рис. 3. Сводный график кинетик СНиП и экспериментальных кинетик

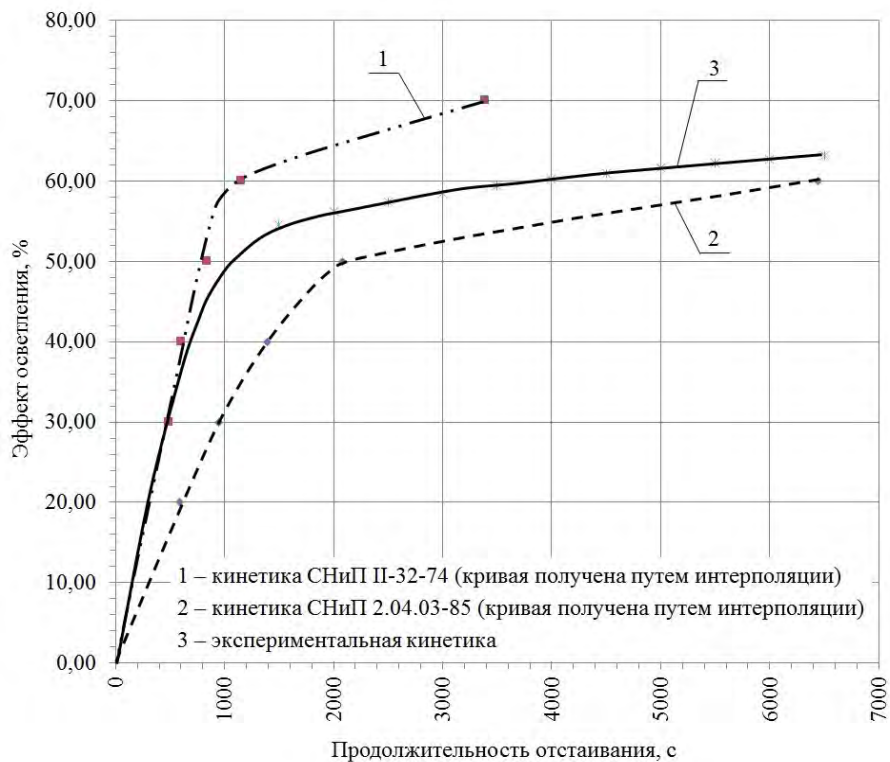


Рис. 4. Кинетики осаждения взвешенных веществ для исходной концентрации $C_{en} = 221 \text{ мг/л}$

Анализ методик расчета первичных отстойников

Первая очередь строительства КОС г. Симферополь была запроектирована по СНиП II-32-74 на производительность $Q = 120000 \text{ м}^3/\text{сут}$ с числом рабочих первичных радиальных отстойников равным четырем. При расширении КОС на расход $Q = 170000 \text{ м}^3/\text{сут}$ количество

рабочих первичных радиальных отстойников было увеличено до шести.

Фактически во время проведения экспериментальных исследований на КОС поступало $99799 \text{ м}^3/\text{сут}$ сточных вод и в работе находились пять первичных радиальных отстойников: три из них диаметром $D = 28 \text{ м}$ и два диаметром $D = 30 \text{ м}$. В связи с этим

продолжительность пребывания сточных вод в отстойниках была увеличена до $t_{факт} = 7140 \text{ с}$, а фактический эффект очистки повысился до $\mathcal{E} = 59,28\%$. При этом концентрация взвешенных веществ перед первичными отстойниками составляла $C_{еп} = 221 \text{ мг/л}$, а после отстаивания снижалась до $C_{ex} = 90 \text{ мг/л}$.

На основе данных о кинетике выпадения взвеси для исходной концентрации взвешенных веществ $C_{еп} = 221 \text{ мг/л}$ (рис. 4) были произведены расчеты типовых первичных радиальных отстойников диаметром $D = 30 \text{ м}$ на максимальный часовой расход $q_{\max} = 4923 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($Q_{сут} = 99799 \text{ м}^3/\text{сут}$) (таблица 1).

При требуемом эффекте осветления сточных вод $\mathcal{E} = 50\%$ минимальное количество отстойников $N_{омс} = 4 \text{ шт}$ было получено при расчете по методике СНиП с кинетикой, приведенной в СНиП II-32-74 и по методике МГСУ с экспериментальной кинетикой. По методике

СНиП с экспериментальной кинетикой и по методике МГСУ с кинетикой, приведенной в СНиП 2.04.03-85 было получено количество отстойников, равное $N_{омс} = 7 \text{ шт}$, что говорит о необходимости увеличения фактического количества отстойников на два. По методике СНиП с кинетикой, приведенной в СНиП 2.04.03-85 получено завышенное количество отстойников $N_{омс} = 12 \text{ шт}$.

Учитывая тот факт, что единственным способом оценки методик является сравнение получаемых при расчетах ожидаемых эффектов осветления с фактическими эффектами осветления в реальных отстойниках, были произведены расчеты ожидаемых эффектов осветления сточных вод в первичных радиальных отстойниках диаметром $D = 30 \text{ м}$ при фиксированном количестве отстойников $N_{омс} = 5 \text{ шт}$ для максимального часового расхода $q_{\max} = 4923 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($Q_{сут} = 99799 \text{ м}^3/\text{сут}$) (таблица 2).

Таблица 1.
Результаты расчетов типовых первичных радиальных отстойников

Методика расчета	Кинетика	Количество типовых отстойников при необходимом эффекте осветления сточных вод $\mathcal{E} = 50\%$		Продолжительность отстаивания для $N_{пр}$ $t_{факт}, \text{с}$	Ожидаемый эффект для $N_{пр}$ $\mathcal{E}, \%$
		расчетное $N_{расч}, \text{шт}$	принятое $N_{пр}, \text{шт}$		
СНиП	СНиП II-32-74	4,13	4	6408	49,05
	СНиП 2.04.03-85	12,01	12	19224	50,06
	Экспериментальная кинетика	6,26	7	11196	50,51
МГСУ	СНиП 2.04.03-85	6,37	7	11196	50,50
	Экспериментальная кинетика	3,70	4	6408	50,31

Таблица 2.
Сравнение методик по расчету первичных отстойников

Методика расчета	Кинетика	Ожидаемый расчетный эффект осветления при фактическом количестве отстойников 5 шт $\mathcal{E}_{расч}, \%$	Абсолютное отклонение ожидаемого расчетного эффекта $\mathcal{E}_{расч}$ от фактически полученного в реальных условиях $\mathcal{E}_{факт}, \%$
СНиП	СНиП II-32-74	55,69	3,59
	СНиП 2.04.03-85	28,47	30,81
	Экспериментальная кинетика	44,68	14,60
МГСУ	СНиП 2.04.03-85	43,73	15,55
	Экспериментальная кинетика	51,36	7,92
Фактические данные		$\mathcal{E}_{факт} = 59,28\%$	-

При фиксированном количестве отстойников $N_{омс} = 5 \text{ шт}$ самый высокий ожидаемый эффект был получен при расчете по методике СНиП с кинетикой, приведенной в СНиП II-32-74 $\mathcal{E} = 55,69\%$, а самый низкий по методике СНиП с кинетикой, приведенной в

СНиП 2.04.03-85 $\mathcal{E} = 28,47\%$. При сравнении ожидаемых расчетных эффектов, полученных по методикам МГСУ и СНиП с экспериментальной кинетикой следует, что методика МГСУ дает меньшее абсолютное отклонение от фактического результата по эффективности работы первичных

отстойников – 7,92% против результатов, полученных по методике СНиП – 14,60%. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что методика расчета МГСУ дает более приближенный к действительности результат по сравнению с методикой СНиП.

Выводы

1. С целью получения наиболее точных результатов расчет первичных отстойников должен осуществляться на основе данных о кинетике выпадения взвеси из реальных сточных вод, получаемой в различное время поступления сточных вод по часам суток и по временам года.

2. Исследования процессов седиментации взвешенных веществ в состоянии покоя должны проводиться в цилиндрах диаметром не менее 120 мм при высоте зоны отстаивания $h_{отс} = 500 \text{ мм}$.

3. В связи с изменением сточными водами своих свойств на протяжении времени пребывания в первичном отстойнике были построены две калибровочные кривые для определения концентрации взвешенных веществ через величину оптической плотности: одна для воды на входе в первичный отстойник, а вторая для воды на выходе из него.

4. Кривые кинетик осаждения взвешенных веществ полученные по результатам исследований в цилиндрах диаметром 150 мм с высотой зоны отстаивания $h_{отс} = 500 \text{ мм}$ визуально и по закономерности распределения подобны кривым кинетик, приведенным в СНиП II-32-74 и СНиП 2.04.03-85.

5. Расчет первичных радиальных отстойников по методике МГСУ с экспериментальной кинетикой наиболее адекватен фактическим данным КОС г. Симферополь.

6. При расчетах последующих сооружений по очистке сточных вод и обработке осадков необходимо учитывать возможное отличие проектных расчетных показателей эффективности работы сооружений от фактических, и связанные с

этим возможные увеличения объемов образующихся осадков и ожидаемой эффективности биологической очистки.

Список литературы

1. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975. – 632 с.
2. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с.: іл.
3. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1985. – 72 с.
4. СНиП II-32-74 Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1975. – 88 с.
5. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А. Водоотведение: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2007 – 415 с.
6. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704 с.
7. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с., ил.
8. Козачук И.Н. Интенсификация процессов седиментации взвешенных веществ в сточных водах с использованием ультразвука: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2009. – 136 с.
9. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. М., Стройиздат, 1973 г. (ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР) – 273 с.
10. Яковлев С.В., Калищун В.И. Механическая очистка сточных вод. М., Стройиздат, 1972. – 200 с.
11. КНД 211.1.4.039-95 Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах [Текст]. затв. Міністерством охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України 25 квітня 1995 р.
12. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – Москва, 2012. – 80 с.

Chernaya M. L., Kopachevsky A. M., Subbotkin L. D.

A STUDY OF SEDIMENTATION PROCESSES IN RELATION TO SEWAGE TREATMENT FACILITIES IN SIMFEROPOL, REPUBLIC OF CRIMEA

Summary. the most exact results of calculations of primary radial sedimentation tanks receive on the basis of data on kinetics of loss of suspended solids. in article techniques of researches of processes of sedimentation are considered. included the results of experimental studies of the curves of the kinetics of deposition of suspended solids. comparing experimental kinetics with the kinetic of construction norms and regulations. calculation of primary radial sedimentation tanks for techniques construction norms and regulations and msuce with experimental kinetics and kinetic in construction norms and regulations ii-32-74 and construction norms and regulations 2.04.03-85 was made. calculation of primary circular tanks as described in the experimental kinetics msuce most adequate to the actual data of wastewater treatment plants in simferopol.

Keywords: primary radial sedimentation tanks, suspended solids, sedimentation, kinetics of sedimentation.

УДК 628.35:661.635

РЕКОНСТРУКЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С СПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

Штонда И.Ю.¹, Ручковская А. В.²

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail:shtonda-yurij@mail.ru¹, energia-09@mail.ru²

Аннотация. Приведены исследования по очистке сточных вод на существующих канализационных очистных сооружениях, при их реконструкции с использованием мембранной ультрафильтрации.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, канализационные очистные сооружения, мембранные модули, ультрафильтрация.

Введение

Развитие современного общества характеризуется все более ощутимыми негативными последствиями антропогенного воздействия на окружающую природную среду и на состояние водных объектов. Основными загрязнениями сточных вод являются физиологические выделения людей и животных, отходы и отбросы, получаемые в результате хозяйственной деятельности человека, применения синтетических моющих и чистящих средств, поливке улиц, отходы и отбросы промышленных предприятий, и их технологические потери, а также атмосферные (ливневые и дождевые) воды. Как бытовые, так и многие производственные сточные воды содержат значительные количества органических веществ, способных быстро гнить и служить питательной средой, обуславливающей возможность массового развития различных микроорганизмов, в том числе патогенных бактерий. Некоторые производственные сточные воды содержат токсические примеси, оказывающие пагубное действие на людей, животных и рыб.

В связи с резким увеличением на рынке всевозможных синтетических моющих и чистящих средств, шампуней и порошков, увеличились и объемы их использования на бытовом уровне, что, в свою очередь, приводит к изменению химического состава хозяйственно-бытовых сточных вод. Увеличивается содержания СПАВ, фосфатов, азотсодержащих, компонентов, хлоридов и др., что существенно ухудшает очистку на очистных сооружениях, уменьшая их эффективность. Кроме того, сброс неочищенных, или не качественно очищенных сточных вод на рельеф или в водоем чреват опасностью инфекционных заболеваний, может стать причиной снижения содержания в водах водоема растворенного кислорода и деградации водных экосистем.

Все это представляет серьезную угрозу для жизни на Земле, поэтому, в настоящее время, проблемы очистки сточных вод имеют большое экологическое значение, как в мировом масштабе,

так и на местных уровнях. Повышение требований к качеству очищаемых стоков заставляет искать более эффективные и экологически безопасные способы удаления загрязнений.

Канализационные очистные сети и сооружения, как в Крыму, так и в других регионах России построены в 70-80-х годах прошлого века. За эти годы очистные сооружения и канализационные сети морально и технически устарели, их ресурс практически выработан. За последние десятилетия объемы сточных вод, сбрасываемых на существующие очистные сооружения, увеличились в несколько раз, что привело к увеличению нагрузки на существующие КОС. Поэтому большое значение имеет прекращение сброса неочищенных стоков даже от самых малых объектов водопользования и внедрение новых безотходных технологий и экономически выгодных очистных сооружений. Проектные и технологические решения, реализуемые при строительстве и реконструкции очистных канализационных сооружений, как правило, остаются неизменными на протяжении десятилетий. По мере принятия руководящих документов, ужесточающих требования к очищенным сточным водам перед сбросом их в водоем, проблема соблюдения новых нормативов становится актуальной для подавляющего большинства очистных сооружений. Не менее важными задачами являются снижение эксплуатационных расходов на действующих очистных сооружениях и капитальных затрат при их строительстве и реконструкции. [1-5].

Анализ публикации

Учитывая сложившуюся ситуацию с очисткой сточных вод в Республике Крым, предлагается реконструкция существующих КОС (септиков) с переоборудованием их в сооружения с аэробной биологической очисткой и с использованием мембранной ультрафильтрации, для эффективной и экологически надёжной работы данных канализационных очистных сооружений

Удаление из сточной воды взвешенных и коллоидных веществ в установках мембранной ультрафильтрации является перспективным направлением при очистке воды для различных нужд. Перспективность данного способа объясняется, прежде всего, высоким эффектом очистки сточных вод, компактностью оборудования, возможностью удаления вирусов и бактерий, а также возможностью не применять реагенты. Поэтому мембранная ультрафильтрация в последнее время находит все большее применение в различных схемах очистки сточной воды. [6-8].

Но более широкому распространению данного способа очистки сточной воды препятствует, главным образом, его основной недостаток – резкая зависимость расхода механически и биологически очищенной сточной воды и потерь напора в установке от качества исходной сточной воды. Это обуславливает повышение эксплуатационных расходов, а именно энергетических затрат на преодоление потерь напора и затрат, необходимых для регенерации мембранного фильтра.

Реконструкция существующих канализационных очистных сооружений, с переоборудованием их в сооружения с аэробной биологической очисткой с установкой модулей мембранной ультрафильтрации в Республике Крым наиболее приемлемо и эффективно, и позволит дальнейшее развитие побережья Азовского и Черного морей и территорий прилегающих к ним [5].

Цель и постановка задачи исследования

Для разработки технических и технологических задач по реконструкции существующих канализационных очистных сооружений, с переоборудованием их в сооружения с аэробной биологической очисткой с установкой модулей мембранной ультрафильтрации, рассмотрены существующие малые канализационные очистные сооружения предприятия «СКАТ», принимающие сточные воды хозяйственно-бытового характера от предприятия «СКАТ», а также от пгт. Береговое в Республике Крым.

Основной раздел

В геоморфологическом отношении район существующего комплекса канализационных очистных предприятия «СКАТ» принадлежит к Прибрежной полосе южного склона Крымских гор и находится в пределах центрального подрайона Горного Крыма.

Рельеф местности типично горный, сильно расчленённый и характеризуется двумя элементами:

- крупным, часто обрывистым, южным склоном яйлы, обрамляющим берег;
- более отлогой и низменной полосой собственно Южного берега, расположенной между подножьем яйлы и морем.

Участок существующего комплекса канализационных очистных предприятия «СКАТ» расположен на горном склоне южной экспозиции.

Рельеф участка сформирован древнеоползевыми и современными оползевыми процессами, связанными с позднечетвертичным и современным развитием речной долины, эрозийная деятельность которой является основным фактором образования оползневой системы, которая хорошо выражена в современном рельефе в виде корытообразного понижения между водораздельными гребнями, сложенными породами таврической серии.

Комплекс канализационных очистных предприятия «СКАТ» в пгт. Береговое, ЮБК, Республики Крым построен в 60-70 годы прошлого столетия и эксплуатируется данным предприятием. Проектная мощность существующего комплекса канализационных очистных, составляет 325 м³/сут. Данный комплекс был запроектирован как блок механической и биологической очистки с использованием анаэробного метода. Анаэробный метод очистки сточных вод применен из-за наличия, на момент проектирования, высокой концентрации в сточных водах органических веществ. Его преимущество перед аэробными методами заключается в резком снижении эксплуатационных расходов (для анаэробных микроорганизмов не требуется дополнительной аэрации воды) и отсутствии проблем, связанных с утилизацией избыточной биомассы. С значительным увеличением в поступающих сточных водах биогенных и химически активных загрязнений, низкими концентрациями органических веществ, качество очистки сточных вод значительно ухудшилось.

Проведенная реконструкция комплекса канализационных очистных сооружений и сетей предприятия «СКАТ» в пгт. Береговое, в конце прошлого столетия, позволила улучшить качество очистки сточных вод. На момент обследования, сточные воды, находящиеся в биореакторах, имели светло-коричневый цвет, что говорило о слабо окисляющем активном иле, насыщение кислородом сточных вод происходило недостаточно из-за неэффективной работы системы пневматической аэрации. Активный ил в биореакторах характеризуется как слабо работающий.

Биологическая система очистных сооружений, работающая в экстремальных условиях, имеет тенденцию к хронической разбалансированности, отсутствие механической очистки влечет за собой заиливание активного ила, вследствие плохой работы блока пневматической аэрации в биореакторах, происходит загнивание осадка что, в свою очередь, приводит к вторичному загрязнению сточных вод продуктами его разложения.

Для повышения эффективности очистки сточных до требований ПДК, необходимо произвести изменения в технологической схеме работы канализационных очистных сооружений следующим путем:

- установка эффективного оборудования для механической очистки сточных вод;

- проведение строительно-монтажных работ по увеличению объема и выравниванию днища сооружений;

- установка эффективного оборудования для биологической очистки сточных вод;

- установка системы трубопроводов для подачи циркуляционного активного ила в начало биореактора установки;

- установка пневматических аэрационных систем в биореакторе и стабилизаторе активного ила установки;

- оборудование системы эрлифтов для подачи активного ила со дна и с поверхности вторичного отстойника в начало биореактора установки;

- установка современных воздуходувок;

- установка современного оборудования для доочистки сточных вод;

- повышение эффективности обеззараживания очищенных сточных вод.

Для механической очистки сточных вод от взвешенных веществ, на канализационных очистных сооружениях ДП «СКАТ» в пгт. Береговое, после камеры гашения на самотечном трубопроводе Ø200, устанавливается решетка марки РМБЦ-100 с диаметром отверстий 1,5-3 мм. Решетка механизированная барабанная щеточная РМБЦ-100 предназначена для извлечения из производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод грубодисперсных включений с размерами от 1,5 мм и с выгрузкой их в мусоросборник. Для задержания зерен песка размерами до 0,2 мм используется вертикальная песколовка.

Принятая конфигурация системы пневматической аэрации, в существующих установках биологической очистки сточных вод (септиках), ограничена в случае необходимости увеличения подачи сжатого воздуха. Для эффективной работы биологической очистки сточных вод в установках биологической очистки, в летнее время, необходимо увеличение подачи количества сжатого воздуха.

Для устранения этого недостатка рассмотрен вопрос по увеличению объема аэрации. В предложенной схеме, блок биологической очистки рассматривается как один целостный комплекс, с скомпонованными в единый блок биореактором, вторичным отстойником и стабилизатором активного ила.

Для обеспечения необходимого количества растворенного кислорода для эффективного окисления биологических загрязнений активным илом, необходимо установить:

- в биореакторе 2 плети по 7 метров и 1 плеть по 4 метра мелкопузырчатых аэраторов АПКВ 120;

- компрессорную установку с системой подающих трубопроводов. Аэрационные системы, предназначены для равномерного распределения воздуха, подаваемого от воздуходувки, в толще сточной воды.

После аэрации смесь сточной воды с активным илом поступает через переливное окно по дну во вторичный отстойник, где происходит разделение активного ила и очищенной сточной воды. Иловая смесь, поступающая из биореакторов во вторичные отстойники, представляет собой гетерогенную (многофазную) систему, в которой дисперсионной средой служит биологически очищенная сточная вода, а основным компонентом дисперсной фазы являются хлопья активного ила, сформированные в виде сложной трехуровневой клеточной структуры, окруженной экзоклеточным веществом биополимерного состава.

При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопьев активного ила в хлопья размером 1-5 мм, которые осаждаются под воздействием силы тяжести. Преимуществом вертикальных вторичных отстойников являются удобство удаления из них осевшего ила, компактность расположения при блокировке с аэротанками, простота конструкции в виду отсутствия движущихся частей, возможность использования взвешенного слоя ила.

Избыточный активный ил удаляется эрлифтами из бункеров отстойной зоны вторичных отстойников в аэробный стабилизатор для стабилизации избыточного активного ила.

Стабилизированный активный ил, периодически, эрлифтами, которые устанавливаются в аэробном стабилизаторе, перекачивается на биологическую очистку в биореактор или вывозится на утилизацию ассенизационной автомашиной по согласованию.

Для функционирования комплекса канализационных очистных сооружений необходимо установить два компрессора (один рабочий, один резервный) 3D 38С 100К фирмы KUBICEK (Чехия) [9].

Для доочистки сточных вод на КОС предприятия «СКАТ», при поступлении сточных вод до 200 м³/сут и более, до требований для сбросу ПДК, рассмотрены два варианта.

Вариант 1. Для доочистки очищенных сточных вод, на канализационных очистных сооружениях возможна установка блока барабанных микроситовых фильтров. Для установки микроситового фильтра 1FB производительностью 10 л/с, необходимо запроектировать техническое помещение или скомпоновать с системой подогрева. Блок микроситового фильтра возможно установить на площадке канализационных очистных сооружениях, перед контактными резервуарами.

Барабанные микрофильтры типа FB в первую очередь подходят для применения в рамках третьей стадии очистки, особенно при устранении нерастворенных веществ из хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Содержащая твердые частицы сточная вода поступает по отводящему

трубопроводу во внутреннее пространство фильтрующего барабана, загрязнения улавливаются на внутренней стенке ткани, а очищенная сточная вода протекает через фильтрующую ткань наружу. При этом процессе фильтрации все фильтрующее оборудование неподвижно. Фильтрующая ткань постепенно засоряется поступающими загрязнениями, повышается сопротивление ткани к протеканию, а внутри барабана повышается уровень воды. При достижении установленной разницы уровней во внутренней и внешней части фильтрующего барабана уровненый датчик, расположенный на передней части фильтра, автоматически включает привод вращения барабана. Одновременно с этим, промывочный насос перекачивает отфильтрованную воду в форсунки промывочной системы. Направленный поток воды из форсунок срывает уловленные на внутренней стороне ткани загрязнения в сточный желоб, который расположен внутри барабана.

Вариант 2. Для доочистки очищенных сточных вод, на канализационных очистных сооружениях разработана технологическая схема применения модулей мембранной ультрафильтрации. Блок модулей мембранной ультрафильтрации устанавливается во втором коридоре биореактора. Следует отметить, что актуальность данных исследований и разработки общих рекомендаций технологических параметров для очистки конкретного типа сточной воды на мембранных фильтрах зачастую принимаются на основании тестовых экспериментов на пилотной установке, т.е. носят исключительно эмпирический характер.

Ультрафильтрация – это мембранный процесс, занимающий промежуточное положение между нанофильтрацией и микрофильтрацией. Ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор от 20 до 1000 Å (или 0,002–0,1 мкм) и позволяют задерживать тонкодисперсные и коллоидные примеси, макромолекулы (нижний предел молекулярной массы составляет несколько тысяч), водоросли, одноклеточные микроорганизмы, цисты, бактерии и вирусы. Ультрафильтрация может полностью заменить процессы отстаивания, осаждения и микрофильтрацию [10]. Применение модулей мембранной ультрафильтрации в разработанной технологической схеме, а именно как блок третичной очистки, который установлен непосредственно в биореакторе. Для их установки не требуется строительство дополнительных сооружений. Под регенератор переоборудуется часть емкостных сооружений в неработающем септике №3. При работе модулей мембранной ультрафильтрации в слое смеси сточной воды и активного ила в биореакторе, время между регенерациями мембран увеличивается до 200 суток, что повышает их эффективность и конкурентоспособность.

Исследуя ультрафильтрационный мембранный модуль, расположенный вертикально, в

котором мембранные элементы представлены пучком полых полимерных волокон, а фильтрация происходит в направлении «изнутри - наружу» видим, что часть потока (циркуляционный расход) транзитом проходит через внутреннее пространство мембраны, смывая с ее поверхности загрязнения. На частицу взвеси, задержанную на поверхности мембраны, действуют следующие силы:

- сила адгезии

$$A = k \cdot d; \quad (1);$$

- сила стокового сопротивления, обусловленная действием циркуляционного потока

$$P_{ц} = 3\pi\mu V_{d/2} d \quad (2);$$

- сила стокового сопротивления, обусловленная действием фильтрационного потока

$$P_{ф} = 3\pi\mu V_{ф} d \quad (3);$$

- сила тяжести

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \Delta \rho g; \quad (4);$$

- подъемная сила

$$W = \alpha \cdot P_{ц}; \quad (5)$$

- сила трения

$$F = f \cdot (A + P_{ф} - W \pm G) \quad (6);$$

где k – коэффициент адгезии; d – диаметр частицы взвеси; μ – динамическая вязкость; $V_{d/2}$ – скорость потока на расстоянии $d/2$ от поверхности мембраны; $V_{ф}$ – скорость фильтрационного потока; $\Delta \rho$ – разность плотностей частицы и жидкости; α – коэффициент пропорциональности; f – коэффициент трения. Скорость $V_{d/2}$ можно определить из предположения о ламинарном режиме течения, зная среднюю скорость циркуляционного потока V_{cp} [11].

$$V_{d/2} = \frac{2 \cdot V_{cp} \cdot \left(b^2 - \left(b - \frac{d}{2} \right)^2 \right)}{b^2} \quad (7);$$

где $2 \cdot b$ – внутренний диаметр мембранного волокна.

Отрыв частицы от поверхности мембраны происходит при условии

$$- f \cdot (A + P_{ф} - W \pm G) = P_{ц} \quad (8).$$

Влияние каждой из рассмотренных сил на процесс отрыва частицы взвеси от поверхности мембраны, представлена зависимостью диаметра частицы d величин составляющих балансового уравнения (8), приведенных к общей сумме

$$(\Sigma = f \cdot (A + P_{ф} + W + G) + P_{ц}) \quad [12].$$

На основании проведенных исследований [10-12], можно сделать вывод, что оторвать от поверхности мембраны частицу взвеси меньшего диаметра сложнее чем крупную, поэтому при фильтрации смеси сточной воды и активного ила в биореакторе через мембраны, чем эффективнее свойства активного ила, тем эффективнее работа модулей мембранной ультрафильтрации.

Также, из выше изложенного следует, что для установок с высоким рейтингом фильтрации,

которые задерживают более мелкие частицы, рациональнее удаление взвеси с поверхности мембран проводить путем не непрерывной промывки вихревой смесью воздуха и воды, а периодически, прекращая при этом фильтрацию.

Для доочистки сточных вод на КОС предприятия «СКАТ», предложено использование 4 мембранных модулей siClaro FM 643, размерами 798 x 602 x 2247. Общий вес мембранного модуля в сухом виде 135 кг.

Вывод

Для обеспечения экологической безопасности населенных мест Республики Крым и повышения эффективности очистки сточных вод требований ПДК предлагается использование разработанных технических и технологических схем по реконструкции существующих канализационных очистных сооружений (септиков), с переоборудованием их в сооружения с аэробной биологической очисткой с установкой модулей мембранной ультрафильтрации.

Список литературы

1. Эпоян С.М., Штонда Ю.И., Зубко А.Л., Богданов В.А. Основные проблемы и приоритеты очистки сточных вод малых объектов и населенных пунктов в АР Крым. // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: V міжнародна науково-практична конференція*, 7-11 вересня 2009 р, м. Алушта: Збірник наукових статей. Харків: «Райдер», - 2009. - Т. 1, - С. 322 – 327.
2. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях поселка Канака в АР Крым. // *Науковий вісник будівництва*.— Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2010.- Вип.56.- С.230-233.
3. Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях Крыма. // *ВСТ. Водоснабжение и Санитарная Техника – Москва – Houstechnik*. – 2010. - № 9. - С. 8 - 12.
4. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Совершенствование работы малогабаритных канализационных очистных сооружений поселка Малореченское в АР Крым. // *Науковий вісник будівництва*.— Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2010.- Вип.60.- С.271-274.
5. Штонда Ю.И., Фирсенков Ю.А., Штонда И.Ю. Влияние работы систем водоотведения на экологическую безопасность и социальную стабильность в поселках прибрежной зоны Черного моря. // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. VI міжнародна науково-практична конференція*, м. Алушта 6-10 вересня 2010 р, Харків: «Райдер», - 2010. – Т. 1, - С. 324 – 326.
6. Пацай Ю.И., Штонда Ю.И., Штонда И.Ю. Локальные канализационные очистные сооружения для коттеджей и частных домов. // *Науково-практичний журнал «Вода і водоочистні технології»*. – Київ – 2011. - №1.- С. 56 – 59.
7. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И. Локальные канализационные очистные сооружения для частных домов и малых объектов водопользования. // *Науковий вісник будівництва*. - Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2011.- Вип.65.- С.335-339.
8. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю. И., Пацай Ю.И., Коваль С. П. Локальные канализационные очистные сооружения «AS-VARIO comp» для частных домов и малых объектов водопользования. // *Науковий вісник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2012.- Вип.69.- С.279-283.
9. Эпоян С.М., Петер Баслер, Штонда Ю. И., Зубко А.Л., Эдимов Р.Р. Использование современных воздуходувок для повышения эффективности работы малых очистных сооружений. // *Науковий вісник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2013.- Вип.71.- С.370-375.
10. Эпоян С.М., Карагяур А.С., Скорик А.Л. Эффективное осветление воды в устройствах малой производительности // *Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві: Матер. прак. конф., 2-6 квітня 2012 р. м. Миргород. - К.: Товариство „Знання” України*. – 2012. – С. 19-21.
11. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: Пер с нем. – М.: Наука, 1974. – С. 711.
12. Эпоян С.М., Карагяур А.С., Штонда И.Ю. Изучение направлений снижения эксплуатационных затрат при применении мембранной ультрафильтрации. // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. VIII міжнародна науково-практична конференція*, м. Алушта 10-14 вересня 2012 р, Харків: «Райдер», - 2012. – Т. 1, - С. 302 – 306.

Shtonda I. Yu., Ruchkovskaya A. V.

RECONSTRUCTION OF THE EXISTING SEWAGE TREATMENT PLATFORMS WITH THE HELP OF MEMBRANE ULTRAFILTRATION

Summary. Provides research on wastewater treatment in existing small sewage treatment plants, with their reconstruction using a membrane ultrafiltration.

Key words. : wastewater, biological treatment, sewerage treatment plant, membrane modules, ultrafiltration.

Экологическая безопасность

УДК 504:624.131.1(210.5)

О ПОДХОДАХ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ветрова Н.М., Иваненко Т.А. *

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: ecology@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены результаты анализа научных подходов к исследованию экологических проблем прибрежных территорий, которые сформировались в различные периоды становления наук о берегах в географии, геологии, строительстве и эксплуатации искусственных и природных объектов в этих зонах. Рассмотрены особенности организации исследований экологических параметров прибрежных зон. Предложен инженерно-экологический подход к исследованию экологического состояния территории для обоснования технических решений (схема и характеристика элементов этого подхода), результаты реализации которого могут обеспечить информационную основу разработки мер по улучшению экологического состояния прибрежных рекреационных зон с учетом природно-антропогенных закономерностей формирования экологического состояния территорий.

Ключевые слова: прибрежная территория, исследование, экологическое состояние, инженерно-экологический подход.

Введение

Прибрежная зона моря является активной геодинамической зоной, ее положение на границе суши и моря обеспечивает высокую скорость динамики береговой линии, с которой тесно связаны изменения природных территориальных комплексов, возможности хозяйственной деятельности человека и условия его проживания. С другой стороны, прибрежная зона должна рассматриваться как особая экосистема, имеющая специфическую структуру и участвующая в формировании параметров экологического состояния прибрежных территорий. Именно поэтому выявление закономерностей функционирования, трансформации и перспектив освоения прибрежных зон морей является важной научно-практической проблемой.

Цель исследований

Целью данной статьи является разработка научного подхода к комплексным исследованиям прибрежных зон морей по формированию знаний о системе природно-техногенных процессов в них, для целей обеспечения экологической безопасности строительства новых и эксплуатации существующих объектов инфраструктуры жизнедеятельности. Задачей выступает анализ существующих разработок по проблемам формирования и функционирования прибрежных зон, выявление их особенностей и сферы использования.

Анализ основных исследований и публикаций

Исследования процессов функционирования береговой зоны прошли ряд этапов и первый этап изучения берегов морей

начался еще в античное время: описания и первые глазомерные карты берегов приведены в работах Геродота, Страбона, Клавдия Птолемея. Учитывая, что береговая линия служила ориентиром для навигации, прибрежные территории активно осваивались, строились города, порты, маяки, а также, когда стала актуальной проблема интенсивного хозяйственного освоения побережья, на геоморфологические процессы, протекающие в береговой зоне, обратили внимание ученые.

Второй этап начался в XVIII веке, когда стали появляться первые крупные обобщения сведений о берегах, сначала описательного общегеографического направления, затем гидрографического. Описания берегов проводились во время дальних и кругосветных плаваний Джеймса Кука, Ф. Лаперуза, И.Ф. Крузенштерна, Ф.П. Литке [1]. Особо следует отметить, что многие теоретические разработки и обобщения исследователей были сделаны на материалах исследований, проводимых на берегах Черного моря. Впервые инструментальные гидрографические работы в Черном и Азовском морях были проведены в самом конце XVII века. На основании проведенных исследований морских берегов по распоряжению Императорского Русского Географического общества комиссия (И.В. Мушкетов, Н.В. Соколов, Н.М. Герсевичев и др.) под руководством Ю.М. Шокальского в 1888 году подготовила "Инструкцию для исследования морских берегов".

В начале XX века появляются крупные обобщающие работы зарубежных исследователей: Р.А. Дели – о влиянии тектонических движений и колебаний уровня моря на формирование берегов, Г.К. Джильберта – о составе и происхождении

прибрежно-морских наносов береговой зоны Великих Озер, Н.М. Феннемана – о выработке профиля равновесия дна под влиянием морских волн; Е.Р. Мэттьюза – о динамике морских берегов Великобритании, в которой установлены численные характеристики скоростей абразии и предложены способы защиты берегов от разрушения для ограниченного количества районов. Д.У. Джонсоном обобщен разрозненный фактический материал, на основании которого была предложена концепция развития морского берега в выпущенной первой в мире специальной монографии, посвященной береговым процессам и рельефу берегов.

Практически одновременно в России труды Н.Я. Данилевского и Н.А. Соколова о процессах в дельте р. Кубань положили начало геолого-географическим исследованиям прибрежной зоны. В работах М.Н. Герсевича впервые обоснованы характеристики морских гидротехнических сооружений, что способствовало бурному развитию в начале XX века гидротехнического научного направления, связанного с необходимостью строительства портов в Черном, Белом и Баренцевом морях. При изучении наземной части прибрежной зоны геолого-географическое направление трансформировалось в геолого-морфологическое и здесь большое значение имеют работы Л.С. Берга по морфологии берегов Аральского моря, в которых представлен компонентный подход в изучении территорий прибрежных зон.

Одновременно стали формироваться основы гидролитодинамических исследований, в которых уделялось внимание комплексному изучению прибрежных наносов. В исследованиях по Черному морю П.К. Божич разработал теоретические представления о потоке наносов в береговой зоне, провел обширные натурные и экспериментальные исследования абразионных процессов и динамики наносов в береговой зоне Черного моря, выявил берегоформирующую роль наносов, ввел и обосновал понятие «вдольберегового потока наносов», что позволяет признать его основателем гидролитодинамического направления [2].

Западные берега Крымского полуострова так же начали изучаться в 20-е годы XX века В.И. Глушковым, который исследовал наносы Евпаторийского порта, а В.П. Зенкович, Е.Н. Невеский занимались изучением вдольбереговых потоков наносов. Исследования пляжной полосы продолжили М.Г. Барковская, Г.А. Булкин и В.С. Пономарь, сотрудники Крымской комплексной геологоразведочной экспедиции. При этом первые комплексные работы с детальным изучением побережья Черного и Азовского морей проведены А.И. Дзене-Литовским. Им изучены пересыпи, косы, лиманы, формы и типы морской абразии, оползни Джангульского побережья и выявлены условия формирования

берегов: колебания уровня моря, орографии и горизонтального расчленения берегов, геологического и литологического строения берегов, характера береговых и морских течений и ряда других факторов. Т.В. Махоевой охарактеризована морфология и динамика выровненного абразионного берега Западного Крыма. О.С. Романюк детально изучен генезис, минералогический, химический и гранулометрический состав пляжных отложений на западном побережье Крыма, составлен первый кадастр берегов Крыма и разработаны рекомендации по их практическому использованию, которые, однако, не учитывали влияние антропогенных факторов на формирование экологического состояния берегов.

Значительный научный вклад внес Б.Ф. Добрынин: доказано, что береговая линия изменяет свое положение, то отступая под воздействием моря, то заменяя море сушей, выделены два основных процесса, ход которых определяет эти изменения - абразия и аккумуляция, а также два главных типа процесса перемещения вещества, которые ответственны за изменения берегов - продольный (вдольбереговой) и поперечный потоки наносов. В 1937 году по инициативе проф. Б.Ф. Добрынина при географическом факультете МГУ была организована комиссия по изучению морских побережий, которая наряду с региональным описанием, изучением вдольбереговых перемещений материала и возможностей хозяйственного освоения территории, развивала теоретические основы эволюции берегов и разработала методические указания по проведению исследований в прибрежной зоне, однако при этом не учитывалось влияние антропогенного фактора на формирование состояния берегов.

Все наиболее крупные теоретические обобщения по исследованию прибрежных территорий приходятся на 40-50 годы XX столетия. Наиболее значимыми из всех являются исследования В.П. Зенковича [3] по динамике и морфологии морских берегов, основу которых составляет теоретическое положение о взаимосвязи и взаимообусловленности наземной и прибрежной частей береговой зоны. Были обоснованы теоретические положения берегообразования под воздействием различных физико-географических факторов (геологического строения, рельефа, экспозиции берега и направления господствующих ветров и волн, течений, угла наклона дна) при главенстве морского волнения; поставлена задача широкого использования географической зональности в изучении берегов в Черном, Белом и Баренцевом морях.

Большой вклад в комплексное изучение береговой зоны внес И.В. Самойлов - автор всестороннего исследования разнообразных и

сложных взаимодействий природных процессов в устьях рек.

В 50 – 60-е годы XX века значительные успехи были достигнуты в разработке теоретических положений в области гидродинамики и литодинамики – важнейших представлений о движении воды и наносов в береговой зоне (в работах О.К. Леонтьева, В.В. Лонгинова, Р. Вгун). Были установлены различия в условиях и факторах изменения морфологических типов берегов, а также оценено влияние на эти изменения геологического строения побережий, характера (направления и интенсивности) современных тектонических движений, влияния климатических условий и связанных с ними экзогенных геологических процессов.

В работах [4] В.И. Буданова, А.С. Ионина, Э. Ф. Берда, П.А. Каплина, Н.И. Айбулатова, Ю.А. Павлидиса, И.Ф. Шадрина, Г.А. Сафьянова, Л.Г. Никифорова, Ю.С. Долотова представлены теоретические основы динамики береговых процессов, в которых ведущую роль играет транзитное вещество, изначально имеющее аллювиальное происхождение. Развивались представления о береговых циркуляционных ячейках на участках берегов, достаточно удаленных от устьев крупных рек. Эти особенности были изучены на берегах бухт, на которых единый вдольбереговой поток наносов прерывается наличием абразионных участков.

Е.Н. Невеским изучены закономерности современного осадкообразования, которые дополняются исследованием голоценовой истории формирования отложений, что имеет не только научное, но и практическое значение. На данном этапе произошла интеграция гидродинамического и литодинамического направления: береговая зона рассматривается как своеобразный литодинамический ландшафт (А.А. Аксенов), введено понятие элементарной литодинамической подсистемы (Ю.Д. Шуйский), выявлено усиление интегральности и комплексности только в литодинамическом направлении (А.С. Ионин, В.С. Медведев, Ю.А. Павлидис), обоснование динамики морских берегов при добыче строительных материалов в береговой зоне, при реализации инженерных мер в прилегающих к портам акваторий [5], (С.М. Анциферов, В.Л. Болдырев, Н.В. Есин, В.М. Пешков [6], В.Д. Косьян и Н.В. Пыхов), хотя в комплексе техногенные элементы и процессы формирования берегов не разрабатывались.

В дальнейшем (табл. 1) происходит выделение инженерно-геологического и природоохранного направления, усиливается прогностно-конструктивный характер береговых исследований - А.М. Жданов, обосновал создание первого в мире искусственного галечного пляжа с целью защиты черноморского берега Кавказа от размыва. По разработанной им методике в 70-х годах были сооружены аналогичные пляжи и на ряде

береговых участков других морей. Инженерными средствами на побережье рекомендуется формировать такую обстановку, которая благоприятствовала бы естественному ходу береговых процессов - для этого используются сооружения – аналоги природным береговым формам (молы, искусственные косы, острова, искусственные атоллы и другие).

Разработка основ берегового природопользования была выполнена научной школой Г.А. Сафьянова -исследованы вопросы строительства портов, инженерной берегозащиты, эксплуатации подводных карьеров, а также снижения уровня загрязнения береговой зоны. Вопросы рационального использования и охраны природной среды разрабатывались В.А. Дергачевым, который предложил новую трактовку понятия природно-хозяйственной контактной зоны «суша-океан» как зоны интенсивного взаимодействия населения, хозяйства и природной среды [7, 8, 9]. В настоящее время развивается научное направление «геоэкология берегов», которое является новым направлением в науке о берегах.

Основной раздел

Наращение экологических проблем, которые формируются при техногенных преобразованиях природной среды, потребовало решения проблем экологической безопасности территорий и способствовало становлению комплексных исследований, расширяющих знания для охраны и восстановления природы прибрежной зоны.

Анализ исследований, проводимых по проблематике прибрежных зон показал, что с одной стороны в научной литературе отдельные экологические аспекты оценки и освоения прибрежных территорий разработаны:

представление о прибрежной зоне, как о системе, включающей природную и хозяйственную составляющие;

необходимость нормирования антропогенных нагрузок;

обеспечение инженерной надежности каждого возводимого объекта;

приоритет экологической составляющей при использовании прибрежных территорий и др.

С другой стороны, недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с обоснованием организации прибрежных рекреационных зон с учетом природно-антропогенных закономерностей формирования экологического состояния пляжной полосы, экологического качества застраиваемых территорий, проведением геоэкологического картографирования прибрежных рекреационных зон, проведением интегральной инженерно-экологической оценки территорий для строительства и эксплуатации объектов и др.

Активный процесс стихийной застройки сооружениями различного типа в прибрежной рекреационной зоне происходит без методических, проектно-планировочных, градостроительных и

экологических обоснований. Прибрежные зоны – места массового отдыха с широкомасштабной застройкой и рекреационным обустройством территории. В настоящее время происходит интенсивное рекреационное освоение прибрежных территорий, во многом определяющее современное экологическое состояние прибрежных

рекреационных зон. При этом хозяйственная деятельность, сконцентрированная преимущественно в пределах небольшой по ширине прибрежной полосы не всегда рациональна и влияет на формирование экологического состояния, как прибрежной территории берега, так и моря.

Таблица 1

Характеристика этапов развития научных представлений о прибрежных зонах

Этапы		Основные направления исследований	Исследователи
Первые научные знания о прибрежной зоне (античное время – начало XVIII в.)		Описание и первая картографическая съемка берега и прибрежных морских вод (на отдельных территориях)	Геродот, Страбон, Клавдий Птолемей
Компонентное изучение водной и наземной составляющих прибрежных зон (XVIII в – 30-е годы XX в.)		Обобщение представлений о берегах и прибрежных морских водах	Джеймс Кук, Ф. Лаперуз, И.Ф. Крузенштерн, Ф.П. Литке, Е.П.Манганари
		Геолого-геоморфологические исследования особенностей береговых зон морей	Р.А. Дели, Н.М. Феннеман, М.М.Данилевский, М.А.Соколов, Л.С.Берг, D.Johnson, В.А. Снежинский, В.П. Гончаров, Ю.П. Непрочнов, В.Ф. Пчелинцев, Н.Ф. Погребов
		Разработка конструкций инженерных берегозащитных сооружений для целей защиты морских портов и их берегоукрепления	М.М.Герсевич, В.Г.Глушков, В.И.Чарномский и др.
		Исследование динамики наносов в прибрежной зоне	Г.К. Джильберт, Е.Р. Мэттьюз, П.К.Божич, М.Н.Карбасников В.И. Глушков и др.
Комплексное изучение прибрежной зоны (30-е гг. XX в. – начало XXI в.)	Компонентный подход	Исследование взаимосвязи геологического строения и рельефа и особенностей развития берегов	А.И.Дзюс-Литовский, Б.Ф.Добрынин, В.П.Зенкович, Е.А. Гаврилова, М.В. Щербакова, О.К.Леонтьев, О.В.Живаго
		Изучение процессов перемещения прибрежно-морских наносов и влияния их динамики на формирование прибрежных зон	Е.М.Невеский, И.В. Самойлов, М.Г. Барковская, Г.А. Булкин, В.С. Пономарь П.К.Божич, В.В. Лонгинов и др.
		Исследование влияния морских организмов на формирование прибрежных экосистем	В.О. Водяницкий, Л.В. Арнольди, Н.В. Морозова-Водяницкая и др.
		Исследование берегозащитных сооружений с позиций их влияния на динамику прибрежной зоны	А.М.Жданов, Н.Н. Джунковский Р.Я.Кнапс, В.С.Гамаженко Б.А. Пышкин, Ю.М. Крылов, В.К. Штенцель, П.С. Никеров, Ф.М. Шихиев, А.В. Мишин и др.
	Комплексный подход	Комплексные исследования влияния геологии и рельефа на развитие и изменение берегов	П. Бруун, С.М. Анциферов, В.Л. Болдырев, Н.В. Есин, В.М. Пешков Г.О.Сафьянов, О.К.Леонтьев, П.О.Каплин, Т.В. Махаева
		Детальное изучение динамики наносов на подводном склоне в различных ландшафтных зонах	А.А.Аксенов, А.С. Ионин, В.С. Медведев, Ю.А. Павлидис, В.В.Лонгинов, Ю.Д.Шуйский, О.С.Романюк, Р.Д.Косьян, Ю.С.Долотов и др.
		Комплексное изучение ландшафтов прибрежных зон	Л.С.Берг, Б.В.Преображенский, Д.Г.Панов, К.М.Петров, В.А.Мануйлов, С.П.Хромов, В.И.Лымарев, Ю.Л.Доронин, А.С.Ионин и др.
		Обобщение истории развития прибрежных зон морей	О.К. Леонтьев, Л.Г. Никифоров, Г.А. Сафьянов, П.О.Каплин, А.О.Селиванов, А.А. Рагозин, Е.Берд и др.
		На основании изучения природных закономерностей развития берега обоснование подходов разработке новых типов инженерных берегозащитных сооружений	А.М. Жданов, А.Г.Кикнадзе, В.Л.Болдырев, Н.В. Есин, В.М. Пешков Ю.М.Сокольников Цайтц Е.С., Хомицкий В.В., Л.Б. Розовский, М.Н. Рыжий
		Системный анализ и управление устойчивым развитием прибрежных зон. Исследование антропогенных факторов воздействия на состояние берегов с учетом элементов процесса берегообразования.	В.И.Лымарев, Г.О.Сафьянов, В.А. Дергачев, Ю.В.Артюхин, М.О. Айбулатов, Ю.Д.Шуйский, И.Е. Тимченко, А.В. Холопцев, А.В. Гришин, В.А.Гришин, В.А. Иванов, Ю.Н. Горячкин, В.В. Фомин, В.Ф. Удовик, А.В. Ефремов, Н.М. Ветрова и др.

Вмешательство в природные процессы с целью расширения прибрежных рекреационных зон и осуществления защиты берегов от разрушения определяет обязательное научное обоснование предлагаемых технических решений и соблюдение действующих нормативных документов в области экологической безопасности, согласование проектируемых технических решений с природными элементами. Берегозащитные сооружения должны представлять комплекс объектов природоохранного назначения, направленных на сохранение природной среды прибрежных территорий и поддерживающих ее в естественном состоянии.

В связи с вышеизложенными проблемами изучения и использования прибрежных зон для теоретического обоснования и разработки мероприятий по улучшению экологического состояния прибрежных рекреационных зон необходима всесторонняя оценка прибрежных зон с целью получения достоверных сведений об особенностях функционирования этой системы и понимания взаимосвязи всех протекающих в ней процессов с учетом природно-антропогенных закономерностей формирования экологического состояния территорий.

Геологическая среда должна рассматриваться как структурная часть экосистемы прибрежной зоны, которая изменяется в пространстве и времени в процессе естественного развития и под влиянием хозяйственной деятельности (техногенных факторов). При этом проявляется влияние техногенных факторов, которое обуславливает сложные следствия. На начальном этапе под влиянием этих факторов формируются определенные изменения в геологической среде (уменьшается устойчивость горных пород, развиваются опасные экзогенные геологические процессы, загрязнение и др.). В дальнейшем эти изменения состояния геологической среды могут продлеваться, но, при этом, они начинают отрицательно влиять на условия жизнедеятельности и создают угрозу экологической безопасности территорий. Кроме того, следует учитывать, что, несмотря на постоянное техногенное влияние, геологическая среда остается отдельной системой и частью окружающей среды и внешней средой для человека [4].

Для выяснения факторов, сформировавших сложившееся экологическое состояние прибрежной зоны, важным является проанализировать существующую информацию по экологической ситуации территории. Для отдельных территорий и населенных пунктов используются карты экологических и инженерно-геологических изысканий, на которых выделены: функциональное зонирование освоения территорий; плотность застройки рекреационными объектами; объекты (предприятия, сооружения), воздействующие на окружающую природную среду (ОПС);

организованные и неорганизованные источники выбросов загрязняющих веществ; источники сбросов сточных и канализационных вод; транспортные магистрали и зоны их воздействия на ОПС; карты инженерно-геологических условий.

Необходимо изучить все перечисленные выше факторы на соседних территориях, имеющих аналогичное геологическое строение и литологический состав грунтов. Это связано с тем, что хотя в природной среде не существует абсолютно одинаковых геологических условий, но особенности, литологический состав и физико-механические свойства пород позволяют охарактеризовать диапазон изменений свойств грунтов при заданной нагрузке.

Обзор методов исследований позволил сформулировать инженерно-экологический подход к исследованию экологического состояния прибрежной зоны (в том числе и рекреационной направленности) с целью развития теоретических положений разработки технических мероприятий (рис. 1).

Разработанный подход к исследованию экологического состояния прибрежных рекреационных зон, базируется на уточненном понятии «прибрежная рекреационная зона», и в отличие от существующих учитывает комплекс процессов в береговой зоне, объединяет методы оценки параметров разных сред, что позволяет выявить характеристики процессов трансформации рекреационных ресурсов. Методы, которые целесообразно использовать во время исследований, можно разделить на группы: прямые, производные и дополнительные. К прямым относятся геохимические (отбор проб почв, грунтов и воды прибрежной зоны моря), инженерно-геологические (наблюдения за абразией берега, измерение длины и ширины пляжей, высот береговых обрывов, наблюдения за состоянием подводного склона). К производным методам следует отнести картографическое моделирование и прогнозирование с использованием ГИС-технологий, составление баз данных, лабораторные, картографические, математического моделирования, системный анализ; обобщение, систематизация, синтез, сравнение натурных и статистических данных.

Среди дополнительных методов наибольшее значение имеет дешифровка результатов лабораторных исследований. Повышенный интерес к проблемам хозяйственного использования прибрежной зоны, гидротехнического строительства и защиты морских берегов от разрушения потребовал дальнейших исследований, позволяющих с большей достоверностью оценить и прогнозировать масштабы изменения экологического состояния прибрежных зон морей и океанов.

Исследование экологического состояния прибрежной рекреационной зоны предполагает выполнение 3 этапов [10]:

1 этап: на основании рекогносцировочных маршрутов для объективного выбора мест наблюдений предполагает:

- сбор и анализ опубликованных научных источников и фондовых материалов по оценке состояния прибрежной зоны (в качестве примера представлена карта территории участка побережья Крыма (рис. 2);

- ретроспективный морфологический анализ освоения территории;

- натурное обследование и фотофиксация технического состояния берегоукрепительных сооружений;

- выделение участков для мониторинга береговой зоны, частично подводного склона до глубины 5-8 м, определение техногенной нагрузки на прибрежную зону моря. Подводный склон должен быть изучен методами водолазного обследования.

- картографирование существующей антропогенной нагрузки на побережье (расположения курортных зон, инженерных сооружений). Для исследования выявленных подводных образований могут быть использованы космические снимки, предварительно обработанные при помощи компьютерной программы Corel PHOTO-PAINT X5. Процедура картографирования и исследования подводных ленточных образований должна осуществляться с уточнением результатов дешифрирования в полевых условиях.

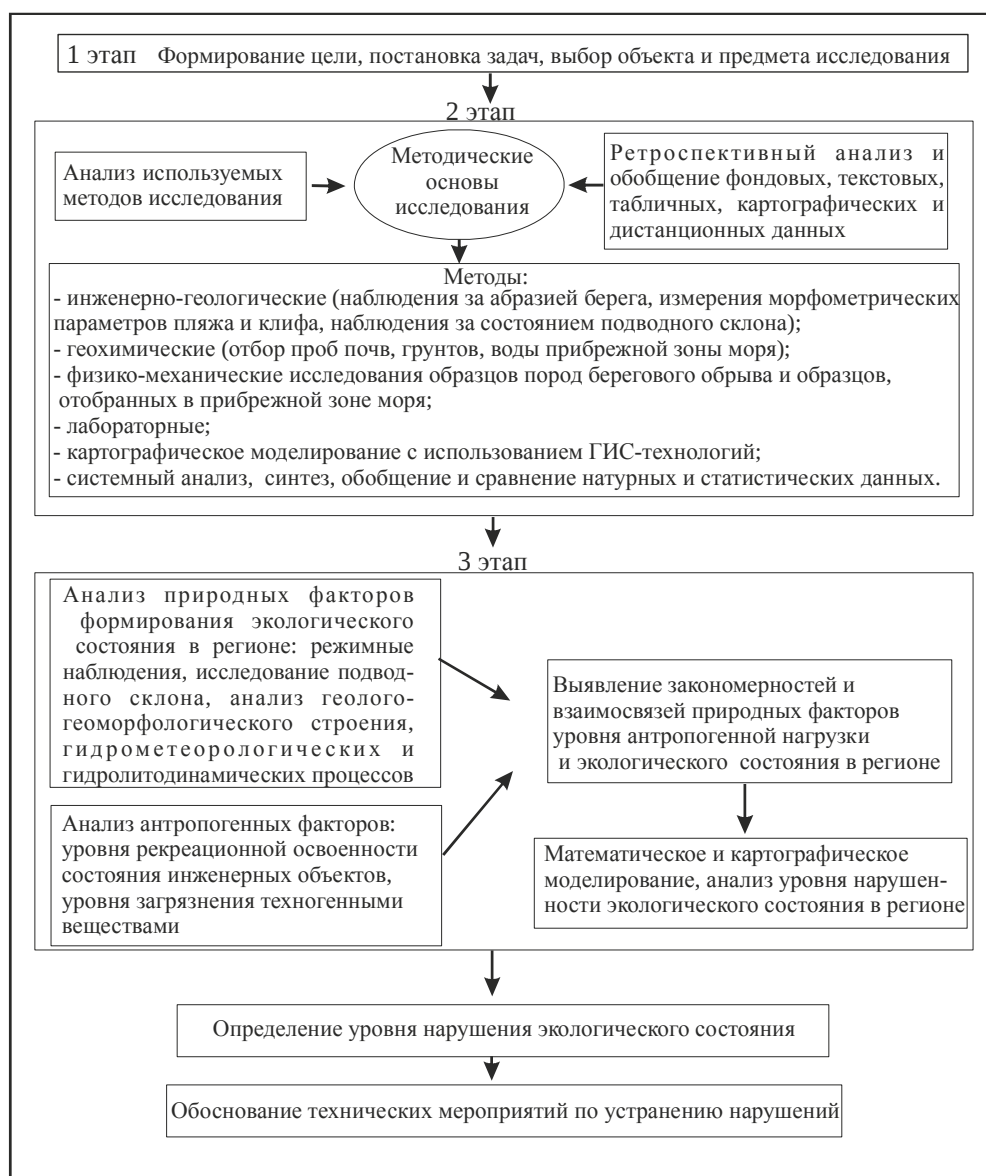


Рис. 1 Схема инженерно-экологического подхода к исследованию экологического состояния для обоснования технических решений

Создание базы данных и промежуточная обработка информации может осуществляться в программах Excel и MapInfo 10. Для тематического картографирования, классификации и анализа

полученных данных об экологическом состоянии прибрежной рекреационной зоны могут быть использованы программные продукты MapInfo 10, Arc View 3.2a;

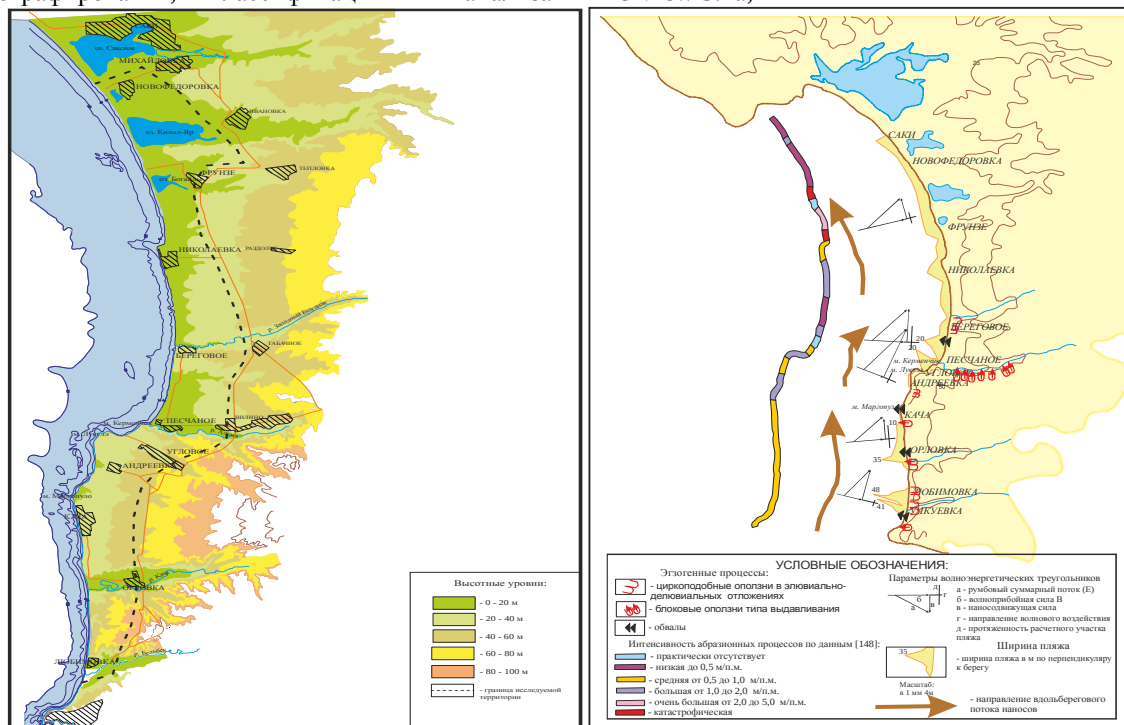


Рис. 2. Карта-схема территории исследования (участок побережья Крыма)

2 этап: на данном этапе основным заданием исследований в береговой зоне является установление пространственно-временных особенностей разрушения берега для обоснования современных мероприятий по защите побережья.

Проводятся:

- режимные наблюдения отступления бровки клифа (скорости абразии), ширины пляжа, которые могут обеспечить возможности прогнозировать развитие процессов разрушения берега и планировать берегоукрепительные мероприятия;
- исследования ширины пляжей, активизации экзогенных геологических процессов (движения оползней и наблюдения за абразией и эрозией берега) по сезонам года – осенью, зимой, весной и летом, ежемесячно в течение 6 лет;
- исследования прибрежной зоны (анализ технического состояния берегоукрепительных сооружений, исследование литологического состава пород, физико-механических свойств; геохимические исследования территорий населенных пунктов (отбор проб почв и твердых поверхностных отложений, проб морской воды в зоне пляжей);
- отбор образцов пород в береговых обрывах, на подводном склоне с целью определения химического, петрографического состава и физико-механических свойств. Определяются физико-механические свойства мелкогалечных конгломератов и гравелистов, отобранных в разрезе мысов при водолажном обследовании. Камеральная

обработка исходного материала должна быть выполнена в лаборатории;

- отбор проб для аналитических исследований химического состава береговых отложений на участках абразии берега для выявления закономерностей их влияния на загрязнение прибрежной зоны моря. Частота измерений устанавливается в зависимости от характера проявления процесса, но не реже чем 1 раз в квартал.

В первую очередь, определяется место режимных наблюдений, где решающую роль играет ландшафт: геологическое строение территории, экспозиция береговой линии по отношению к направлению действия штормов, уклон и глубина подводной части склона, которым регулируется ход разрушения волн при подходе к берегу. На всех участках изучаются следующие показатели:

- литодинамические: измерение скорости абразии клифов (забивание рек), ширины и длины пляжей, уклона подводной части склона;
- литологические: определение химического состава и физических свойств пород;
- гидрометеорологические: количество атмосферных осадков, преобладающее направление ветра и его скорость (ветровой режим), направление течений, колебания уровня моря, волнение моря и интенсивность штормов.

Течения, колебания уровня моря, ветровые волны в совокупности представляют сложную картину движения морской воды, которые

подвергаются процессам трансформации рассеивания механической и тепловой энергии прибрежных вод в береговой зоне в процессе взаимодействия с твердым веществом геологической среды.

3 этап заключается в анализе природных и антропогенных факторов формирования экологического состояния в регионе [11, 12]. Анализ природных факторов включает: режимные наблюдения, исследование подводного склона, анализ геолого-геоморфологического строения, гидрометеорологических и гидродинамических процессов. Анализ антропогенных факторов подразумевает определение уровня рекреационной освоенности, состояния инженерных объектов, уровня загрязнения техногенными веществами. Завершающей стадией является выявление закономерностей и взаимосвязей природных факторов, уровня антропогенной нагрузки и экологического состояния в регионе.

На основе математического и картографического моделирования собранного материала, определения уровня нарушенности экологического состояния в регионе обосновываются технические мероприятия по устранению нарушений.

Выводы

1. Обобщая анализ подходов к исследованию проблем прибрежных территорий, следует отметить, что нарастание экологических проблем при антропогенном преобразовании природной среды потребовало решения проблем экологической безопасности и способствовало становлению исследований с целью восстановления природы прибрежной зоны. Анализ исследований проблематики прибрежных зон показал, что с одной стороны в научной литературе отдельные экологические аспекты оценки и освоения прибрежных территорий разработаны. С другой стороны, недостаточно изученными остаются вопросы, связанные: с обоснованием организации прибрежных рекреационных зон с учетом экологического качества застраиваемых территорий на основе геоэкологического картографирования прибрежных рекреационных зон, интегральной инженерно-экологической оценке уровня нарушений территорий для строительства и эксплуатации объектов и др. Активный процесс стихийной застройки сооружениями различного типа в прибрежной рекреационной зоне происходит без методических, градостроительных и экологических обоснований.

2. Учитывая, что прибрежная рекреационная зона это сложная система, для анализа ее экологического состояния, требуется применение совокупности методов, позволяющих выполнить интегральную оценку экологического состояния прибрежных зон, основанную на объединении знаний широкого круга наук с целью всестороннего анализа ситуации. При этом особое

место в определении экологического состояния прибрежных рекреационных зон играют инженерно-экологические исследования, которые опираются на понимание, что прибрежная зона (в том числе и в Крыму) является активной областью проявления экзогенных геологических процессов в зоне взаимодействия суши и моря и поэтому проведение всесторонних исследований природных условий и антропогенных нагрузок формирует базу для обоснования мер по стабилизации экологического состояния.

3. При исследовании условий и процессов, формирующих экологическое состояние прибрежных рекреационных зон необходимо выявить закономерности природных условий развития прибрежных территорий и особенности антропогенных воздействий в рекреационных зонах, влияющих на существующее экологическое состояние прибрежных территорий; определить техническое состояние существующих инженерных объектов защиты берега с целью выявления нарушенности экологического состояния и обоснования разработки вариантов технических решений по преодолению нарушенности.

4. Анализ методов исследований позволил сформулировать инженерно-экологический подход к исследованию экологического состояния прибрежной рекреационной зоны, который базируется на уточненных понятиях «прибрежная рекреационная зона», «экологическое состояние», «параметры экологического состояния прибрежной рекреационной зоны».

Список литературы

1. Шуйский, Ю. Д. Структуризация береговедения / Ю. Д. Шуйский, А. А. Стоян // Вестник Одесского национального университета. География. — 2010. — Т. 15, Вып. 10. — С. 68—83.
2. Айбулатов, Н. А. Геоэкология береговой зоны моря / Н. А. Айбулатов // Проблемы развития морских берегов. — М. : Институт океанологии АН СССР, 1989. — С. 81—87.
3. Зенкович, В.П. Динамика и морфология морских берегов. Ч.1. Волновые процессы / В.П. Зенкович — М.: Морской транспорт. — 1946. — 496 с.
4. Сафьянов, Г. А. Береговая зона океана в XX веке / Сафьянов Г. А. — М. : Мысль, 1978. — 264 с.
5. Есин, Н. В. Абразионный процесс на морском берегу/ Есин Н. В., Савин М. Т., Жилев А. П. — Л. : Гидрометеиздат, 1980. — 200 с.
6. Пешков, В. М. Береговая зона моря / В.М. Пешков. — Краснодар: Лакопт, 2003. — 350 с.
7. Дергачев, В. А. Экономико-экологические проблемы морской среды / В.А. Дергачев, М.Т. Мелешкин, А.И. Уемов. — К. : Наукова думка, 1982. — 224 с.
8. Теория и методология экологической геологии / Трофимов В. Т. и др. Под ред. В.Т. Трофимова — М. : Изд-во МГУ, 1997. — 368 с.

9. Артюхин, Ю. В. Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря / Артюхин Ю. В. — Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1989. — 144 с.

10. Иваненко, Т.А. Особенности мониторинга береговой зоны Западного Крыма / Т.А. Иваненко, З.Д. Сапронова, Е.П. Карнаух // Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності: п'ята наук.-практ. конф, 23 – 27 лют. 2009 р. : тези доп. – К., 2009. –С. 78 – 80

11. Ветрова, Н.М. Инженерно-экологические исследования природных процессов при застройке прибрежных рекреационных зон / Н.М. Ветрова, Т.А. Иваненко // Экология урбанизированных территорий.– 2015. – № 1. –С. 6 – 11

12. Ветрова, Н.М. Уровень нарушенности экологического состояния прибрежных территорий Западного Крыма / Н.М. Ветрова, Т.А. Иваненко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – № 3(11). – 2015. – С.58–65.

Vetrova N., Ivanenko T. *

APPROACHES TO THE STUDY OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS ON COASTAL AREAS

Annotation. The review discusses the results of the analysis of scientific approaches to the study of environmental problems of coastal areas, which are formed in different periods of the formation of banks of Sciences in geography, geology, construction and operation of artificial and natural objects in these zones. The features of the organization of studies of environmental parameters of coastal zones. A engineering-ecological approach to the study of the ecological state of the territory to justify the technical solutions (circuit and characteristic elements of this approach), results of which can provide information basis for the development of measures to improve the ecological status of coastal recreational areas, taking into account natural and man-made laws of formation of the ecological state of the territories

Key words: coastal recreation zone, the ecological state, factors, features.

УДК 631.67.03

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В КРЫМУ ПРИ СУЩЕСТВУЮЩЕМ УРОВНЕ ОЧИСТКИ

Наталья Волкова¹, Роман Захаров¹, Светлана Подовалова²

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: zakharovr@mail.ru;

² ФГБУН „НИИСХ Крыма”,

Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150,

E-mail: isg.krym@gmail.com

Аннотация. Усиление дефицита водных ресурсов в Крымском регионе вызывает необходимость использования дополнительных источников воды, наиболее стабильным из которых являются очищенные сточные воды. В мировой практике данная категория воды широко используется в сельском хозяйстве для целей орошения. На практике длительное использование очищенных сточных вод в орошаемом земледелии может привести к развитию процессов засоления и осолонцевания, поэтому воды данной категории, как и природные водные ресурсы, необходимо оценивать с точки зрения их ирригационного качества. По результатам проведенных исследований очищенные сточные воды, сбрасываемые с локальных очистных сооружений в округе г. Алушта и канализационных очистных сооружений г. Симферополя, относятся ко второму классу воды. Их использование необходимо сочетать с умеренным промывным режимом и проведением комплекса мелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: очищенные сточные воды, очистные сооружения, качество оросительной воды, общее и хлоридное засоление.

Введение

В мировой практике давно используют очищенные сточные воды для целей орошения. Широкомасштабно данный процесс внедрен в Израиле, Иордании, Перу, Саудовской Аравии. Так в Израиле до 70% сточных вод повторно используется в сельском хозяйстве. Это полностью соответствует рекомендациям ООН для стран с ограниченными водными ресурсами [1].

Прекращение поставок днепровской воды на территорию Крымского региона привело к усилению дефицита водных ресурсов, а это в свою очередь сказалось на увеличении антропогенной нагрузки на местные водоисточники. Использование очищенных сточных вод в сельском хозяйстве Крыма с одной стороны может стать способом их утилизации, а с другой – экономить водные ресурсы. Однако экологическая и экономическая эффективность внедрения данного процесса напрямую зависит от качественных показателей очищенных сточных вод. Этот вопрос требует детальной проработки и исследования. В данной работе рассмотрена оценка пригодности очищенных сточных вод с точки зрения развития процессов засоления, осолонцевания на орошаемых массивах.

Анализ публикаций, материалов, методов

При рассмотрении вопроса о влиянии орошения очищенными сточными водами на состояние орошаемых массивов, а именно почвы, то хотелось бы отметить работы «Экологические

особенности орошения многолетних трав городскими сточными водами» Макарычева С.В., Алешиной Н.И. [2] и «Екологічна оцінка тривалого використання міських стічних вод для зрошення кормових культурфітоценозів в умовах Донбасу» Баєва В.Г. [3]. Эти исследования основаны на результатах длительного опыта использования очищенных сточных вод для целей орошения, которые в обоих случаях свидетельствуют о хоть и незначительном, но постепенном накоплении в почве сульфатов и хлоридов. Таким образом, при оценке пригодности очищенных сточных вод для целей орошения необходимо обратить особое внимание на исключении возможности развития на орошаемых массивах процесса засоления.

В Российской Федерации нет единой методики оценки пригодности воды для целей орошения. Этот вопрос до сих пор разрабатывается. Если говорить о последних исследованиях, то хотелось бы упомянуть работы: «Экологическая система нормирования качества оросительных вод для условий Калмыкии» [4], «Классификация оросительных вод Республики Башкортостан» [5], «Методические указания по совершенствованию технологий орошения и повышению эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения» [6]. Согласно вышеуказанным источникам выделяют 4 класса ирригационного качества воды. Таким образом, нет однозначного решения, какая методика дает наиболее точный вариант оценки, а делается акцент

на то, что это зависит от большого числа факторов – химического состава воды, климатических и почвенных условий, рельефа.

Наиболее широко используемые методики с примерами расчета довольно полно изложены в «Практикуме по мелиорации сельскохозяйственных земель» Шуравилина А.В., Можайского Ю.А. [7]. Эти оценки основаны на использовании ирригационного коэффициента (щелочной коэффициент Стеблера), коэффициент ионного обмена (предложенного Н.Н. Антиповым-Каратаевым, Г.А. Кадером), натриевом адсорбционном отношении (SAR). Указанные подходы оценивают возможность развития процесса осолонцевания. Если говорить о более комплексной оценке, то необходимо упомянуть почвенно-мелиоративную классификацию оросительной воды, изложенную в [6, 8]. Именно этот подход был использован в данной работе для оценки ирригационного качества воды. Методика приведена в таблице 1.

Классы оросительной воды характеризуются следующим образом:

- класс I – оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. Не требуется ограничения состава сельскохозяйственных культур;

- класс II – оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв,

снижение урожайности культур слабой солеустойчивости на 5...10%. Для удаления лишних солей требуются умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий;

- класс III – оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 10...25%. Без предварительной мелиорации воды и почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевое осолонцевания и содообразования. Необходимо регулирование pH оросительной воды, обогащение ее кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами почв, ограничение состава сельскохозяйственных культур и специальный комплекс мелиоративных мероприятий;

- класс IV – оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 25...50%. Требуется мелиорация почв и воды. Вода непригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы.

Таблица 1.

Почвенно-мелиоративная классификация оросительных вод

Показатель		Класс качества воды			
		I	II	III	IV
Минерализация воды для орошения почв	с тяжелым механическим составом и ППК>30	0,2...0,5	0,5...0,8	0,8...1,2	>1,2
	со средним механическим составом и ППК=15...30	0,2...0,6	0,6...1,0	1,0...1,5	>1,5
	с легким механическим составом и ППК<15	0,2...0,7	0,7...1,2	1,2...2,0	>2,0
Степень опасности развития процессов	хлоридного засоления Cl^-	<2,0	2,0...4,0	4,0...10,0	>10,0
	натриевого осолонцевания Na^+/Ca^{2+}	<0,5	0,5...1,0	1,0...2,0	>2,0
	магниевое осолонцевания Mg^{2+}/Ca^{2+}	<1,0	1,0...1,5	1,5...2,5	>2,5
	содообразования $(CO_3^{2-}+HCO_3^-) - (Ca^{2+}+Mg^{2+})$	<1,0	1,0...1,25	1,25...2,5	>2,5

Цель работы

Цель работы - оценить качество очищенных сточных вод на примере крупных и локальных очистных сооружений с точки зрения их последующего использования для целей орошения.

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:

- Водном кодексе Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ [9];

- ГОСТ 17.1.2.03-90 «Охрана природы критерии и показатели качества воды для орошения» [10];

- СанПиН 2.1.7.573-96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения [11];

- ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения [12];

- СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [13];

- ГН 2.1.5.1315-03 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» [14].

Оценка пригодности очищенных сточных вод для целей орошения проводилась для трех объектов: КОС г. Симферополь, локальные очистные сооружения вблизи п. Семидворье и с. Бондаренково.

Основной раздел

Для устойчивого социально-экономического развития Крымского региона в условиях усилившегося дефицита водных ресурсов необходимо использовать дополнительные источники воды. Авторы ряда статей, посвященных раскрытию вопроса водообеспечения Республики Крым [15-16], делают акцент на том, что подобным источником данного ресурса могут стать очищенные сточные воды.

В настоящее время данный вид ресурсов практически не используется, ниже на рисунке 1 приведена динамика сбросов и использования сточных вод за период с 2007 по 2015 гг. При этом необходимо отметить, что на протяжении последних 9 лет данная категория воды не применялись для целей орошения.

По ряду причин, среди которых можно отметить неудовлетворительное техническое состояние очистных сооружений и недостаточное канализование территории населенных пунктов Республики Крым, в поверхностные водные объекты сбрасывается много загрязняющих веществ, которые оказывают неблагоприятное влияние на экологическое состояние рек, озер, морей. Ниже на рисунке 2 приведена динамика поступления разных групп сточных вод, а на рисунке 3 – объемы солей,

сброшенные в поверхностные водоисточники в 2013-2014 гг.

Как видно из рисунка 3, преобладающими солями, сбрасываемыми вместе с водами данной категории, являются хлориды и сульфаты, хотя это относительно безвредные для флоры и фауны водоемов компоненты, но при использовании сточной воды для целей орошения, избыточное их содержание может привести к засолению орошаемых земель.

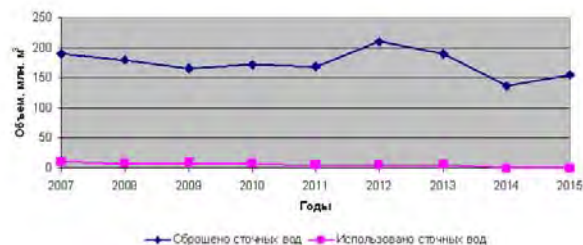


Рис.1. Динамика сбросов и использования сточных вод за период с 2007 по 2015 гг.

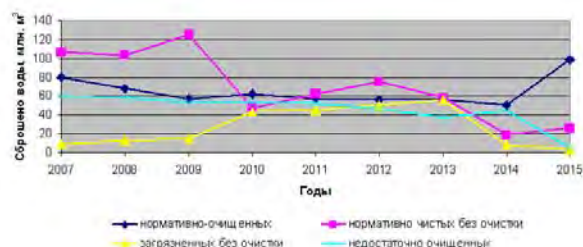


Рис.2. Динамика поступления различных категорий сточных вод в поверхностные водоприемники за 2007-2015 гг.

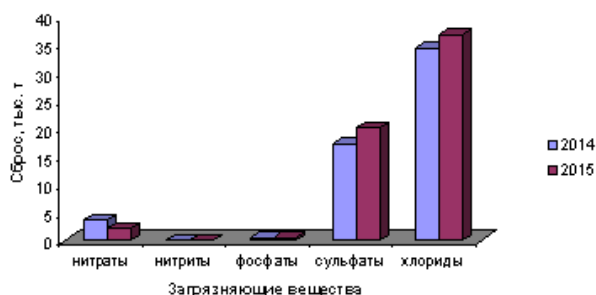


Рис.3. Сбросы загрязняющих веществ со сточными водами в 2013-2014 гг.

На территории Республики Крым можно выделить две группы очистных сооружений: крупные, обслуживающие города и ряд населенных пунктов, и мелкие (локальные), установленные в отдаленных пансионатах, санаториях, небольших поселках. Ниже в таблице 2 приведены результаты отбора проб по локальным очистным сооружениям, расположенным в округе г. Алушта, а в таблице 3 – по очистным сооружениям г. Симферополь (отбор проб осуществлялся по трем точкам – 100 м до выпуска с КОС, напротив выпуска и 500 м ниже по течению р. Салгир). В таблицах 4 и 5 сведены итоги оценки ирригационного качества воды.

Таблица 2.

Результаты отбора проб на локальных очистных сооружениях округа г. Алушта

	сухой остаток	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Локальные очистные сооружения около п. Семидворье									
до очистки:									
мг/дм ³	807	580	153	198	10	20	76	27	5,1
мг-экв/дм ³		9,51	4,32	9,88	0,82	0,51	3,31	0,56	0,08
после очистки:									
мг/дм ³	700	350	92	156	42	15	58	39	38
мг-экв/дм ³		5,74	2,59	7,78	3,46	0,38	2,52	0,81	0,61
Локальные очистные сооружения около с. Бондаренково									
до очистки:									
мг/дм ³	705	549	102	132	29	17	73	23	5,8
мг-экв/дм ³		9,00	2,88	6,59	2,39	0,43	3,17	0,48	0,08
после очистки:									
мг/дм ³	644	447	98	130	37	17	68	13	72,4
мг-экв/дм ³		7,33	2,76	6,49	3,04	0,43	2,96	0,27	1,16

Таблица 3.

Результаты отбора проб в месте сброса с очистных сооружений г. Симферополь

	сухой остаток	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
100 м до КОС г. Симферополь (11.02.16):									
мг/дм ³	678	366	80	130	20	6	49	144	14,4
мг-экв/дм ³		6,00	2,25	6,50	1,70	0,15	2,13	3,00	0,23
Напротив выпуска из КОС г. Симферополь (11.02.16):									
мг/дм ³	555	323	83	106	18	7,8	50	126	12,3
мг-экв/дм ³		5,30	2,34	5,30	1,50	0,20	2,17	2,63	0,20
500 м ниже КОС г. Симферополь (11.02.16):									
мг/дм ³	551	317	83	106	18	8,8	53	117	12,6
мг-экв/дм ³		5,20	2,34	5,30	1,50	0,23	2,30	2,44	0,20
500 м ниже КОС г. Симферополь (09.03.16):									
мг/дм ³	592	622	165	112	16	9	42	84	-
мг-экв/дм ³		10,2	4,65	5,6	1,33	0,23	1,83	1,75	-
500 м ниже КОС г. Симферополь (29.05.16):									
мг/дм ³	596	280	57	160	24	8,3	47,5	40	27
мг-экв/дм ³		4,60	1,60	8,00	2,00	0,21	2,06	0,83	0,43

Таблица 4.

Оценка пригодности очищенной сточной воды с локальных очистных сооружений округа г. Алушта для целей орошения

	Минерализация оросительной воды	Степень опасности развития процессов			
		хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содо-образования
Локальные очистные сооружения близ п. Семидворье					
до очистки	III класс	III класс	I класс	I класс	I класс
после очистки	II класс	II класс	I класс	I класс	I класс
Локальные очистные сооружения близ с. Бондаренково					
до очистки	II класс	II класс	I класс	I класс	I класс
после очистки	II класс	II класс	I класс	I класс	I класс

Таблица 5.

Оценка пригодности очищенной сточной воды с очистных сооружений г. Симферополь для целей орошения

Минерализация оросительной воды	Степень опасности развития процессов			
	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования
100 м до КОС г. Симферополь (11.02.16)				
II класс	II класс	I класс	I класс	I класс
Напротив выпуска из КОС г. Симферополь (11.02.16)				
II класс	II класс	I класс	I класс	I класс
500 м ниже КОС г. Симферополь (11.02.16)				
II класс	II класс	I класс	I класс	I класс
500 м ниже КОС г. Симферополь (09.03.16)				
II класс	III класс	I класс	I класс	VI класс
500 м ниже КОС г. Симферополь (29.05.16)				
II класс	II класс	I класс	I класс	I класс

Как видно из анализа таблицы 4, очищенные сточные воды локальных сооружений относятся ко второму классу качества воды, то есть их применение не окажет существенного негативного воздействия на почву и возделываемые сельскохозяйственные культуры. При использовании данной воды необходимо соблюдение умеренного промывного режима при обеспеченной дренированности территории и проведение комплекса мелиоративных мероприятий:

- посев многолетних трав;
- глубокая зяблевая вспашка, предпосевное боронование и культивация, рыхление почвенной корки после поливов;
- внесение в почву требуемой нормы органических удобрений;
- гипсование солонцеватых почв и т.п.

Результаты таблицы 5 свидетельствуют о том, что сбросы с очистных сооружений г. Симферополь практически не влияют на ирригационный качественный состав воды, который классифицирован как 2, но в случае неполадок на сооружениях и как следствие залповых сбросов качество воды снижается до 4 класса, и тогда она становится фактически непригодной для целей орошения.

Выводы

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- очищенные сточные воды в Республике Крым фактически не используются в настоящее время и, исходя из количественной составляющей (за последние 10 лет объем сточных вод, сбрасываемых в водные объекты составляет в среднем около 180 млн. м³), могут стать в перспективе дополнительным источником воды для целей орошения;
- исходя из химического состава, использование очищенных сточных вод в Республике Крым для целей орошения может привести к развитию процессов общего и хлоридного засоления орошаемых массивов;
- по выбранным пилот-объектам, в целом очищенные сточные воды можно охарактеризовать

как ограниченно пригодные. Использование ресурса данного источника не должно оказывать неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв, снижение урожайности культур слабой солеустойчивости на 5...10%. Для удаления лишних солей требуются умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий;

- при использовании очищенных сточных вод для орошения нужен постоянный контроль за качеством работы очистных сооружений, чтобы в случае сбоя иметь возможность предотвратить негативные для пользователей орошаемых земель последствия;

- для широкого внедрения использования данной категории вод в орошаемое земледелие необходимы обеспечение проведения ежегодных, а при необходимости и капитальных ремонтов на очистных сооружениях, модернизация оборудования, а в случае неудовлетворительного технического состояния всего сооружения – его реконструкция.

Список литературы

1. Доклад ООН о состоянии водных ресурсов мира «Вода для людей, вода для жизни» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556r.pdf>;
2. Макарычев С.В. Экологические особенности орошения многолетних трав городскими сточными водами/ С.В. Макарычев, Н.И. Алешина// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2015. - №9 (131). – С. 53-57;
3. Баєв 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/ Баєв Володимир Георгієвич, Дніпропетровськ, 1996. 15 с.;

4. Овчинников А.С. Экологическая система нормирования качества оросительных вод для условий Калмыкии/ А.С. Овчинников, И.Г. Плешакова, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград, 2016. - №2 (42). – С. 14-26;
5. Ковшов Ю.А. Классификация оросительных вод Республики Башкортостан/ Ю.А. Ковшов, А.В. Комиссаров// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара, 2013. – Т.15. - № 3-4. – С. 1311-1314;
6. Методические указания по совершенствованию технологий орошения и повышению эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПИМ», 2015. – 147 с.;
7. Шуравилин А.В. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель: учеб. пособие/ А.В. Шуравилин, Ю.А. Мажайский. – Рязань: изд-во РГАТУ, 2011. – 214 с.;
8. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник/ под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.;
9. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Консультант Плюс». Версия Проф. – Последнее обновление 13.07.2015;
10. 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.
11. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для целей орошения и удобрения. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 54 с.;
12. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – Введ. 01.07.1986. – М.: Стандартинформ. – 4 с.;
13. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». - Введ. 01.01.2001. – М.: Минздрава России, 2000. - 10 с.;
14. ГН 2.1.5.1315-03 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» - Введ. 15.06.2003. – М.: Минздрава России, 2003. – 152 с.;
15. Николаев Е.В. Основные направления решения проблемы орошения в Крыму/ Е.В. Николаев, Н.Г. Резник// Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – Симферополь: КФУ им. Вернадского, 2015. - №2(165). – С. 47-53;
16. Захаров Р.Ю. Очищенные сточные воды как альтернативный источник наполнения прудов в Республике Крым / Р.Ю. Захаров, Н.Е. Волкова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2015. - №2. – С. 100-106.

Volkova N., Zakharov R., Podovalova S.

QUALITATIVE ASSESSMENT OF POSSIBILITY OF USE OF WASTE WATER IN THE CRIMEA AT THE CURRENT LEVEL OF TREATMENT

Summary. The increasing water scarcity in the Crimean region contributes to consider the possibility of using additional sources of water, the most stable of which are treated wastewater. In world practice, this category of water is widely used in agriculture for irrigation purposes. In practice, long-term use of treated wastewater in irrigated agriculture can lead to the development of the processes of salinization and solontsova, so the water in this category, as natural water resources, should be assessed from the point of view of their irrigation quality. The results of these studies treated waste water discharged from local sewage treatment plants in the district of Alushta and sewage treatment facilities in the city of Simferopol, belong to the second class of water. Their use should be combined with moderate flushing regime and the carrying out of a complex of meliorative actions.

Key words: treated wastewater, treatment plants, quality of irrigation water, chloride and total salinity.

УДК 661

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дядичев В.В.¹, Колесников А.В.², Дядичев А.В.³

ФГАОУ ВО "КФУ им. В.И. Вернадского"

Адрес: г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 108

ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

Адрес: г. Луганск, ул. Тухачевского, 11, к. 215

¹e-mail mr.dyadichev@mail.ru; ²e-mail angeykav@mail.ru; ³e-mail adyadichev@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ состава полимерных отходов, разработана многослойная полимерная структура, которая позволяет перерабатывать вторичные полимерные материалы промышленного и бытового происхождения методом соэкструзии с получением новых качественных изделий. По результатам математического моделирования разработана конструкция соэкструзионной головки, которая обеспечивает повышение качества готовых изделий.

Ключевые слова: Полимерные емкости, соэкструзия, экструдер, адгезия, реология, слой, вязкость расплава.

Введение

Увеличение количества отходов и сокращение природных ресурсов является следствием антропогенной деятельности. Отходы полимерных материалов с одной стороны являются источником загрязнения окружающей среды, а с другой стороны - дешевым сырьем для производства изделий широкого диапазона применения. Вторичное использование пластических масс решает одновременно несколько важных задач: уменьшение загрязнения окружающей среды за счет повторного использования полимерных материалов; экономия запасов ископаемого сырья, нефти и газа, из которого производят полимеры; снижение затрат на производство энергии, необходимой для превращения сырья в материалы. Постоянный рост цен на природные ресурсы приводит к развитию технологий утилизации полимерных материалов. Ситуация, сложившаяся на сегодня в мировой экономике привела к тому, что ранее экономически невыгодные технологии вторичного использования пластмасс становятся актуальными из-за резкого повышения цен на первичное полимерное сырье.

Постановка проблемы

Отходы пластических масс разделяются на две большие группы: отходы сферы производства и отходы сферы потребления. К первой группе относят отходы производства и переработки полимерных материалов. Примером служат корки, образующиеся на стенках реакторов и фильтров, некондиционные полимеры, образцы материалов после физико-химических испытаний, литниковые отходы, брак, отходы, возникающие при запуске перерабатывающих машин и др. Вторая группа включает отходы промышленности, использующей полимеры в качестве полуфабрикатов в процессе

производства готовой продукции, и отходы бытового потребления.

Современные технологии утилизации полимерных материалов направлены на получение нового качественного изделия из отходов пластмасс, обладающего такими же свойствами, как и изделие из первичного материала. Методом, который позволяет получить такие изделия, является соэкструзия. Он обеспечивает возможность получения многослойных изделий в одну стадию с оптимальными затратами энергии и материалов; исключает применения клеев и растворителей, горячих расплавов и других компонентов для соединения; дает возможность получения многослойного полимерного материала за счет соединения очень тонких слоев, что позволяет уменьшить расход полимеров; позволяет уменьшить степень деформации термочувствительных полимеров за счет того, что они могут быть использованы в качестве среднего слоя.

Совершенствование технологии и оборудования для переработки полимерного сырья соэкструзии является актуальной научно-практической задачей, обеспечивающей получение новых качественных изделий, ресурсо- и энергосбережение.

Цель

Совершенствование соэкструзионного оборудования и технологии переработки вторичных полимерных материалов в процессах изготовления емкостей для бытовой химии.

Методика и результаты исследования

Качество готового изделия в технологическом процессе соэкструзии определяют следующие факторы: термодинамическая совместимость полимеров; режимы экструзии,

обеспечивающие равномерное расплавление полимера каждого слоя и качественное его смешение с наполнителями; режимы соэкструзии, обеспечивающих получение качественного адгезионного соединения многослойной структуры и равномерность распределения слоя материала в головке (разнотолщинность).

Термодинамическая совместимость полимеров определяется химической природой материала, а именно принадлежностью к группе, например, полиолефины, полиамиды, полистирол, виниловые пластики, полиакрилаты и др. Полимерные материалы, принадлежащие к одной группе, образуют прочные многослойные соединения. Для соединения несовместимых полимеров применяют адгезивы. Основные технологические параметры процесса: частота вращения шнека, температура нагревателей, давление, развиваемое экструдером. Частота вращения шнека является основным показателем величины прямого потока в экструдере, что определяет производительность машины. Размер температур по зонам нагрева в экструдере непосредственно влияет на качество полимерного расплава на выходе из экструдера. Давление, развиваемое экструдером, зависит от технологических параметров процесса (температура расплава по зонам, частота вращения шнека), свойств полимера и конструктивных параметров самого шнека. Наиболее существенным фактором, влияющим на качество готового изделия, есть режимы процесса соэкструзии, которые определяются технологическими и конструктивными параметрами формообразующего оборудования (головки). При выборе способа совместного экструдирования и проектировании соэкструзионных головки для переработки вторичных полимерных материалов необходимо учитывать следующие факторы: значительное расхождение в реологических свойствах полимеров: от почти ньютоновской течения (например, ПА) до неньютоновской течения (например, в сополимеров акрилонитрила) необходимость тщательного контроля толщины каждого слоя для обеспечения заданных свойств многослойного материала и по экономическим соображениям; повышенную чувствительность вторичных полимеров к деструкции при высоких температурах.

При разработке схемы соэкструзионных головки для переработки вторичных полимерных материалов необходимо учитывать:

- 1) количество слоев полимерной структуры;
- 2) производительность каждого слоя (процентное соотношение слоев)
- 3) реологические характеристики полимерного материала;
- 4) технологические параметры переработки каждого отдельного слоя и многослойного материала.

Количество слоев полимерной структуры, их положение, процентное соотношение определяется назначением готового изделия, условиями эксплуатации, свойствами исходного полимерного сырья. Промышленные вторичные полимерные материалы можно определить, условно, как чистые. Они, как правило, перерабатываются впервые, содержащие незначительное количество добавок, поэтому реологические свойства такого вторичного материала не слишком отличаются от свойств первичного. Бытовые вторичные полимерные материалы - это смеси полимерных материалов с различными добавками, красителями и наполнителями. Кратность переработки таких материалов определить сложно. Свойства значительно отличаются от свойств первичного полимера. Поэтому было предложено полимерную структуру, в которой с вторичного полимерного материала формируется два средних слоя. Первый средний слой - это вторичные полимерные материалы промышленного происхождения. Второй средний слой - это вторичные бытовые полимеры. Внешний и внутренний слой структуры формируются из первичного полимерного материала. Это необходимое условие получения качественного изделия. Внутренний слой должен быть устойчив к различным химическим веществам, поскольку предлагается изготавливать полимерные емкости для бытовой химии. Внешний слой является защитным для вторичных полимеров среднего слоя и выполняет эстетическую и рекламную функцию для готовой продукции бытовой химии. Для обеспечения экономической эффективности процентное содержание средних слоев из вторичного полимера в общей структуре должно быть не менее 65-70%. Для обеспечения устойчивости к веществам, которые содержатся в продукте, толщина внутреннего слоя должна быть не менее 15-20%. Таким образом, была определена структура и состав трубчатой заготовки для изготовления емкостей для бытовой химии (табл.1).

Таблица 1.

Структура четырёхслойной полимерной заготовки

Слой	Состав слоя	Соотношение толщины слоев
Внешний	первичный ПЭ + краситель	10%
Первый средний слой	вторичный ПЭ промышленного происхождения	20%
Второй средний слой	вторичный ПЭ бытового происхождения	50%
Внутренний	первичный ПЭ	20%

Для получения заданной многослойной структуры была разработана соэкструзионная головка. Конструкция головки обусловлена технологией создания многослойной полимерной структуры. Реологические свойства расплавов первичного и вторичного полимерного материала

разные. Поэтому процесс формообразования каждого из слоев многослойной структуры происходит при определенных технологических параметрах. Такие условия достигаются применением технологии совместного экструдирования, при которой каждый слой формируется в отдельном распределительном канале при определенных технологических параметрах. Предложенная конструкция соэкструзионной головки позволяет контролировать и регулировать температуру по четырем зонам нагрева, каждая из которых соответствует отдельному слою многослойной структуры. Наличие спиральных канавок в распределительных каналах слоев, формируемых из вторичных полимерных материалов обеспечивает более равномерное распределение расплава полимера в канале головки, уменьшает разнотолщинность слоя, снижает перепад давления в канале.

Разработана методика определения реологических свойств расплава вторичного полимерного материала в широком диапазоне скоростей сдвига, что позволяет определить влияние свойств материала на перепад давления на участках распределительных каналов соэкструзионной головки. В результате экспериментальных исследований влияния температуры переработки на реологию первичного и вторичного полимерного материала получены уравнения регрессии для определения индекса течения и константы вязкости расплава. Закон течения принимает вид

$$\mu = (a_0 + a_1 \cdot \gamma + a_2 \cdot T) \cdot e^{-b(T-T_0)} \cdot \gamma^{(b_0+b_1\gamma+b_2T)} \quad (1)$$

где μ – вязкость расплава;

b – коэффициент, который определяет шаг температурных кривых;

T – температура переработки полимера;

T_0 – температура плавления полимера;

γ – скорость сдвига;

n – индекс течения расплава;

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты

уравнений регрессии.

В результате совместного решения уравнений равновесия сил, действующих на элементарный объем, и уравнения неньютоновского течения получены зависимости для определения коэффициентов сопротивления каналов простой геометрии (трубный и щелевой канал). Путем применения принципа электрофизических аналогий получены зависимости для определения перепада давления в распределительных каналах соэкструзионной головки. Согласно принятому методу ступенчатой аппроксимации распределительных каналов на участке характерной геометрии и применяя метод электрофизических аналогий, получили расчетную схему определения распределения перепада давления в каналах головки (рис.1).

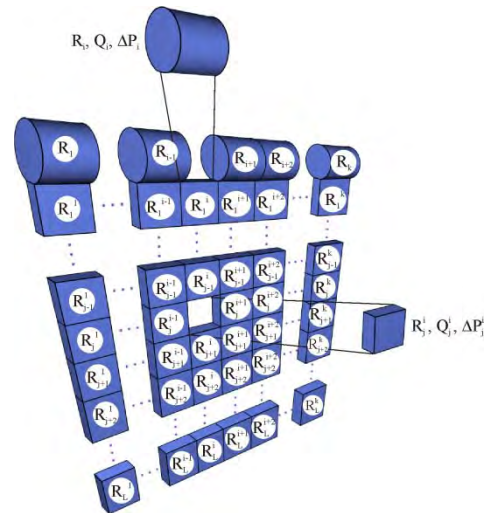


Рис.1. Расчетная схема определения перепада давления в каналах головки

В результате создания математической модели получили зависимости для определения коэффициентов сопротивления данных участков распределительных каналов соэкструзионной головки, расходы расплава полимерного материала через участки, перепада давления на участках каналов и общий перепад давления в каналах головки. Математическим моделированием полученные график распределения давления по длине копильника для каждого распределительного канала соэкструзионной головки (рис.2).

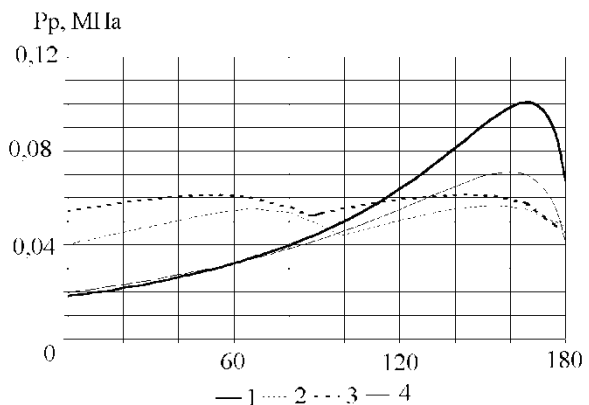


Рис. 2. Распределение давления в копильнике соэкструзионной головки

(1-внешний слой, 2-первый средний слой (промышленные вторичные полимеры), 3-второй средний слой (бытовые вторичные полимеры), 4-внутренний слой)

Форма кривой давления в конической части канала для четырех распределителей одинакова. Снижение давления является необходимым условием выравнивания скоростей потоков расплава полимера на выходе из распределительного канала. График показывает, что диапазон давления в конической части канала составляет 2,0-6,0 МПа. Это минимальное давление необходимое для

выравнивания скоростей потоков расплава на выходе. Полученные в результате моделирования давление и скорость сдвига позволили рассчитать значение максимальной линейной скорости течения потока расплава на участках канала и построить эпюры линейных скоростей (рис.3). Из графиков максимальной линейной скорости потока расплава видно, что наличие спиральных канавок дает отклонения в скоростях по потокам 18-21%, тогда как каналы первичного полимера формируют слой с отклонением скоростей потоков расплава 22-27%. Второй средний слой, состоящий из бытовых отходов полимерных материалов, является сложной композицией. Математическая модель позволяет определить влияние формообразующего зазора h и процента содержания вторичных полимеров на перепад давления в канале и разнотолщинность слоя (рис.4).

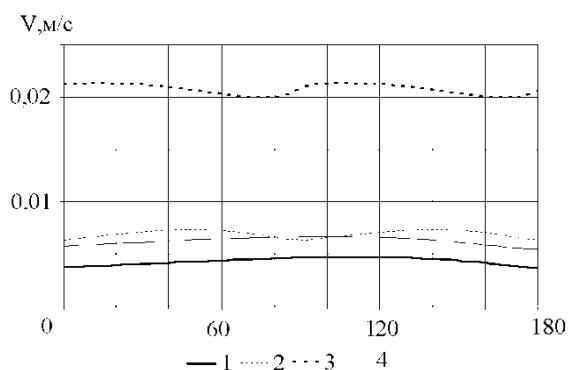


Рис. 3. Распределение максимальных линейных скоростей потоков расплава полимера (1-внешний слой, 2-первый средний слой (промышленные вторичные полимеры), 3-второй средний слой (бытовые вторичные полимеры), 4-внутренний слой)

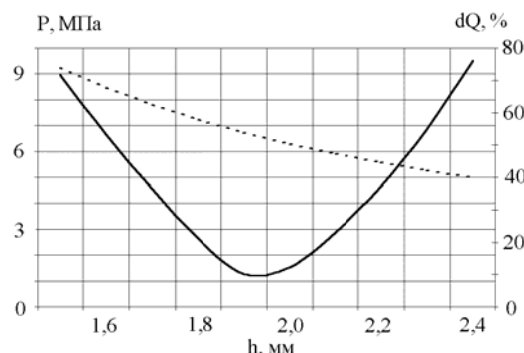


Рис. 4. Зависимость давления и разнотолщинности второго среднего слоя от формообразующего зазора (--- - перепад давления, — - разнотолщинность)

Из графика (рис.4) видно, что давление в распределительном канале обратно пропорционально увеличивается с уменьшением формообразующего зазора. Разнотолщинность слоя имеет оптимальное значение формообразующего

зазора. Анализ полученных результатов позволил определить минимальное и максимальное значение формообразующего зазора, обеспечивающего необходимую разнотолщинность слоя и давление в распределительных каналах соэкструзионных головок.

Выводы и направления дальнейших исследований

Результаты математического моделирования показали, что разнотолщинность не более 40% обеспечивается при содержании отходов в композиции слоя не более 75%, при этом значение давления в канале находится в рабочем диапазоне 3,0-10,0 МПа.

Список литературы

1. Дядичев В.В. Переработка отходов полимерных материалов методом соэкструзии. Монография. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2003. – 220 с.
2. Rauwendaal C. Polymer extrusion. – Munich: Hauser Cnarduer, 2004. – 777р.
3. Смирнов М.Г., Осетинский Л.Г. Многослойные пленки (возможности и преимущества) — М.: Упаковка. – 2002. - №4. - С. 14-15.
4. Гуль В. Е., Дьяконова В. П. Физико-химические основы производства полимерных пленок: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1978. – 279 с., ил.
5. Каган Д. Ф., Гуль В. Е., Самарина Л. Д. Многослойные и комбинированные пленочные материалы. -М.: Химия, 1989. - 288 с., ил.
6. Зубов Е.Н. Структура и свойства полимерных покрытий - М.: Химия, 1986. - 267 с.
7. Калиновская Г. Д. Пути переработки отходов слоистых пластиков - Л.: Химия, 1997. – 94 с.
8. Дядичев В.В. Экструзия вторичных полимеров. - Луганск; издат-во ВНУ, 2003. – 48 с.
9. Малицкова Е.А., Потапов И.И. Переработка отходов пластмасс — М.: Авис Оригинал, 1997. - 159 с.
10. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов. Перевод с англ. Р. В. Торнера, Е. В. Закс и др., Под ред. Г. В. Виноградова. – М.: «Химия», 1965. – 747 с.
11. Экструдер для переработки вторичных полимерных материалов: патент на полезную модель RUS 156859 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015122963; заявлено 15.06.2015г.; зарегистрировано 23.10.2015г.-Зс.
12. Экструдер для переработки вторичных полимерных материалов: патент на полезную модель RUS 162449 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015122964; заявлено 15.06.2015г.; зарегистрировано 23.10.2015г.-Зс.

13. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 157101 /Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015125220; заявлено 25.06.2015г.; зарегистрировано 29.10.2015г.-Зс.

14. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 154655 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и

патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015117856; заявлено 12.05.2015г.; зарегистрировано 06.08.2015г.-Зс.

15. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 154542 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015117857; заявлено 12.05.2015г.; зарегистрировано 03.08.2015г.-Зс.

Dyadichev V. V., Kolesnikov A. V., Dyadichev A. V.

IMPROVEMENT OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGY PROCESSING OF SECOND POLYMERIC RAW MATERIALS FOR MAINTENANCE OF ECOLOGICAL SAFETY

Summary: The analysis of accounting automation systems was carried out; the research results of the office suite possibilities in implementation of accounting systems are introduced; an information model of accounting system was developed.

Key words : Polymeric containers, extrusion, extruder, adhesion, rheology, layer melt viscosity.

УДК 661

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСТРУЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С МНОГОСЕКЦИОННЫМ ШНЕКОМ С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Дядичев В.В.¹, Колесников А.В.², Дядичев А.В.³

ФГАОУ ВО "КФУ им. В.И. Вернадского"

Адрес: г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 108

ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

Адрес: г. Луганск, ул. Тухачевского, 11, к. 215

¹e-mail mr.dyadichev@mail.ru; ²e-mail angeykav@mail.ru; ³e-mail adyadichev@mail.ru

Аннотация. По результатам проведенных исследований в статье представлен анализ экологического состояния комбинированных полимерных отходов, обоснована необходимость дальнейших исследований в области совершенствования экструзионного оборудования по их переработке. Приведено описание функциональной схемы предлагаемого оборудования. По результатам математического моделирования обоснована эффективность предлагаемой конструкции.

Ключевые слова: Полимерные отходы, экструзия, экструдер, секция, зона, расплав.

Введение

Анализ тенденций использования полимеров указывает на стабильное увеличение спроса на полимерные материалы. В ближайшее время спрос на полимерные материалы ежегодно увеличиваться в среднем на 4%. Это обусловлено уникальным комплексом свойств полимерных материалов, а также практически неограниченными возможностями их модификации за счет создания полимерных композиций.

Комбинированный полимерный материал - это высокомолекулярная структура, состоящая из двух и более слоев разнородных полимерных материалов или различных марок одного и того же полимера.

Постановка проблемы

Основной целью создания такой композиции является сочетание в одном полимерном изделии эксплуатационных свойств пластмасс, обеспечить которые одной какой-либо полимерной маркой невозможно. В настоящее время пока не существует отдельного полимера или полимерной марки, обеспечивает одновременно целый комплекс эксплуатационных качеств полимерного сырья. К тому же наличие одной характеристики, нередко противоречит наличию другой. Этот факт объясняется особенностями молекулярного строения высокомолекулярных соединений. Обеспечить необходимый комплекс свойств полимерного продукта возможно только созданием комбинированного полимерного материала.

Из существующих способов утилизации отходов изделий из комбинированных полимерных материалов, как с экономической, так и с экологической точки зрения наиболее выгодный

способ вторичной переработки отходов из комбинированных полимерных материалов. Вторичная переработка позволяет за счет использования полимерного сырья, бывшего в употреблении, совместно с наполнителями и первичным сырьем сделать значительную экономию первичного начального полимера, а, следовательно, сбережения средств за счет такого использования.

При этом реализуются части следующих важных современных практических задач: ресурсосбережение, энергосбережение и экологическая задача.

Ресурсосбережение - происходит из-за экономии чистой полимерного сырья, поскольку вместо него частично используются отходы. Энергосбережение обеспечивается как экономией за счет отсутствия стадии синтеза полимерного материала, так и сбережением исходного сырья по производству полимеров - нефти. Экологическая задача решается непосредственно, поскольку утилизируют отходы, не нанося вреда окружающей среде.

Начальным этапом процесса экструзии является получение качественного полимерного расплава, который имеет однородное температурное поле, отсутствие пульсаций давления и гомогенность. Таким образом, при правильном проектировании процесса экструзии, как завершающего этапа переработки отходов совместных комбинированных полимерных материалов и полимерных смесей возможно сочетание в нем стадий подготовки сырья и окончательной переработки. При этом достигается значительная экономия энергии, поскольку процессы грануляции и агломерации очень энергоемкими.

Цель

Предложить и обосновать новые конструкции экструзионного оборудования, удовлетворяющего задачам экологической переработки полимерных комбинированных отходов.

Методика и результаты исследования

Каждая из зон шнека экструдера по переработке вторичных комбинированных полимерных материалов накладывает специфические требования на ее функционально-конструктивное оформление. Если при переработке первичного сырья зонные различия могут вылиться только в отличия в геометрических параметрах зон при сохранении общей сути конструкции, то для получения качественного изделия из вторичных полимеров каждая зона может представлять различные по конструкции секции шнека, собранные механически в единый шнек.

Разработку схемы шнека экструдера по переработке вторичных комбинированных полимерных материалов необходимо осуществлять в соответствии с функциональным разделением зон шнека экструдера. Так, зона питания червяка должна обеспечивать захват гранулированного материала с загрузочного отверстия и транспортировку его вдоль оси червяка с заданной производительностью. В зоне плавления гранулы материала размягчаются и уплотняются, превращаясь в итоге в жидкую массу, не содержащую пустот. Размягчения материала происходит за счет вязкого трения и тепла, подводится от нагревателей корпуса. Зона дозировки должна обеспечивать дальнейшую гомогенизацию расплавленного материала и подачу его под определенным давлением до головки.

В зоне питания экструдера по переработке комбинированных полимерных отходов и смесей вторичных полимеров термопластичная полимерная смесь (вторичный дробленый комбинированный полимер + гранулированный первичный полимер + связывающий наполнитель) находится в нерасплавленном состоянии и пластическая масса не смачивает металлических стенок. Поступающий материал заполняет винтовой канал червяка и продвигается по нему. Поскольку объем витка винтового канала по мере удаления от загрузочного окна уменьшается, частицы материала перемещаются вдоль канала, преодолевают сопротивление, вызывая увеличение давления внутри твердого материала и уплотняясь.

Как конструкцию зоны питания шнека экструдера целесообразно использовать секцию с коническим винтовым каналом. По мере продвижения по каналу увеличивается объемная плотность материала при сохранении первоначального объема, полученного в зоне бункера. Для компенсации этого изменения, с целью обеспечения полностью заполненного канала

необходимо уменьшение площади поперечного сечения канала. В предлагаемой конечной секции площадь уменьшается за счет уменьшения глубины канала шнека h (рис. 1).

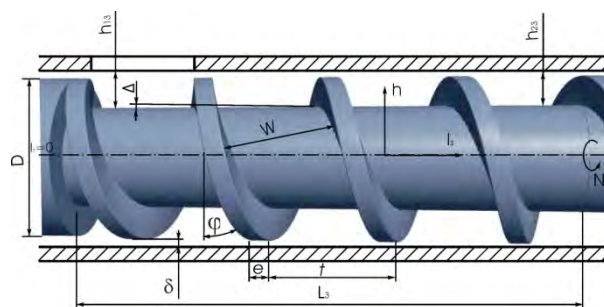


Рис. 1. Расчетная схема конструкции шнека экструдера для комбинированных полимерных отходов

При переработке на экструдере комбинированных полимерных отходов и смесей вторичных полимеров зона плавления должна включать две функциональные секции: барьерную секцию и секцию декомпрессии.

Задачи барьерной секции состоят в полном расплавлении полимерной смеси, создании в результате расплава с равномерной по всему объему температурой и его гомогенизации (равномерное смешивание). Вопрос гомогенизации является специфическим при переработке именно данных типов полимерного сырья, поскольку это смесь, включающая вторичный дробленый полимер, гранулы первичной полимерного сырья, пластификаторы, красители и возможно другие компоненты. От качества смешения этих компонентов в единую структуру напрямую зависят характеристики получаемого изделия: механическая прочность, относительное удлинение при разрыве, внешние декоративные качества.

Задачей секции декомпрессии является удаление легколетучих соединений, содержащихся в отходах (пары воды или растворенные или поглощенные газы). Источником подобных составляющих могут быть последствия предыдущего использования полимеров или недостатки подготовительных операций процесса утилизации. При наличии подобных включений в готовом изделии это может негативным образом сказаться на его качестве (наличие поверхностных дефектов: пузыри, вспенивание, неровности, ухудшение механических характеристик).

Барьерная секция необходима для качественного плавления и равномерного перемешивания полимерной смеси, которая перерабатывается. Принцип работы барьерной секции заключается в следующем: в канале червяка есть два витка: основной и барьерный. Зазор между гребнем барьерного витка и цилиндром больше, чем зазор между главным витком и цилиндром. Зазор барьерного витка достаточно большой, чтобы полимер плавился и мог переливаться через него, но

очень маленький зазор для нерасплавленных частиц полимера, которые могли бы перейти через барьер. В канале основного витка, в результате тепла корпуса экструдера, подводимого от нагревателей, вверху образуется тонкая пленка полимерного расплава. Этот расплав в результате действия перепада давления на длине участка канала перетекает в канал барьерного витка. В результате твердая фаза будет расположена в активной стороне витка барьера, и полимер расплавляется обычно в пассивной стороне витка барьера. Таким образом, виток барьера разделяет полимер на две фазы.

Таким образом, барьерная секция имеет канал твердой полимерной смеси и канал расплава. По направлению движения материала в экструдере площадь поперечного сечения канала твердого вещества уменьшается, тогда как площадь поперечного сечения канала плавления соответственно увеличивается. При этом закон изменения площади соответствует закону плавления полимерной смеси. В конце барьерной секции, канал для гранул уменьшается до нуля, тогда как канал для расплава начинает занимать полностью все пространство. Эта геометрия гарантирует полное плавления компонентов смеси, потому что они не могут находиться вне барьерной секции, если гранулы не способны пересечь зазор барьера. Это возможно в том случае, если частица уменьшилась до размера, который допускает быстрое плавления при пересечении барьера.

Существующие конструкции барьерных секций выполняют лишь функцию равномерного плавления твердой полимерной фракции, однако при правильном ее конструктивном оформлении эта секция вполне может выполнять также функцию интенсивного смешивания компонентов. Это возможно за счет интенсификации сдвиговых нагрузок в момент перетекания полимерного расплава через барьерный виток. Добиться увеличения сдвиговых нагрузок возможно путем увеличения значения градиента давления в канале твердой фракции, который в свою очередь возрастет при рациональном конструировании канала течения барьерной секции и разном уровне поверхности в канале твердой фракции и канале расплава барьерной секции. При большем коэффициенте трения в канале твердой фракции происходит торможение перемещения пробки, в результате чего повышается ее однородность, а также увеличивается градиент давления, увеличивается смещение компонентов расплава в момент его перетекания через барьерный зазор.

Чтобы получить максимальную эффективность плавления, канал твердого вещества должен быть заполнен частицами смеси и иметь только тонкую расплавленную пленку между основным витком червяка и цилиндром. Это может привести к закупориванию канала, поэтому динамика процесса плавления должна сочетаться с

уменьшением профиля канала для твердого вещества.

Существенное преимущество барьерной секции заключается в том, что происходит физическое разделение расплавляемого материала, и твердой фазы. В результате меньше возможности образования расплавленной пленки, между твердой фазой полимера и винтом. Таким образом, процесс плавления может происходить в устойчивой форме, и не обязательно при высоком давлении.

Секция декомпрессии. Самый эффективный способ удаления летучих соединений при экструзии заключается в том, что в стенке корпуса делаются вентиляционные окна.

Удаление летучих соединений из сырья производится в расплавленном состоянии на специальном участке червяка следующем после барьерной секции, в котором канал червяка только частично заполненный материалом. На этом участке давление, созданное на секции плавления и питания падает до нуля, поэтому для подобных секций применяется термин секция декомпрессии. Частичное заполнение канала червяка достигается увеличением (в четыре раза по сравнению с секцией плавления) глубины канала экструдера, а поскольку материал в секцию декомпрессии поступает с барьерной секции, пропускная способность которой меньше, чем в секции декомпрессии, секция декомпрессии работает в условиях недостаточного питания. В результате винтовой канал на участке этой секции оказывается не полностью заполненным материалом, и летучие продукты, которые выделяются из расплава, могут быть отобраны из пространства, образующегося позади стенки винтового канала. Отверстия в корпусе располагаются обычно в конце секции декомпрессии. Для предотвращения засорения отверстий материалом им следует добавить соответствующий профиль.

Зона дозирования экструдера по переработке комбинированных полимерных отходов и смесей вторичных полимеров является окончанием шнека, после нее материал продавливается через экструзионную головку для окончательного формования. Поэтому эта зона является определяющей по основным параметрам экструдера: производительность, развиваемое давление, температурная и механическая однородности материала. Материал в зону дозирования попадает в виде гомогенного полимерного расплава, из которого удалены летучие соединения, однако давление в расплаве равно нулю.

Давление, создаваемое в этой зоне, должно обеспечить продавливание расплава через профилирующую матрицу. При этом возможная производительность зоны дозирования должна превышать пропускную способность барьерной секции зоны плавления, для того, чтобы предотвратить заполнению канала на участке зоны декомпрессии. Наилучшие результаты получаются,

если глубина канала зоны в 1,2 - 1,5 раза больше глубины канала дозирующей зоны.

Как конструкцию зоны дозирования шнека рекомендуется использовать последовательно две секции: коническую и цилиндрическую секции. Подобная конструкция позволяет создавать достаточно высокое давление на выходе экструдера, а также исключит возможность возникновения пульсаций давления, производительности и обеспечит хорошую температурную однородность полимерного расплава.

Коническая секция производит объемное сжатие полимерного расплава за счет изменения глубины канала. При этом создается давление, необходимое для продавливания расплава через профильную головку. На входе в секцию глубина канала составляет 1,5 глубины выходного канала барьерной секции зоны плавления, по мере продвижения к концу секции глубина канала сокращается до величины, определяющей максимальное давление, создаваемое экструдером.

Цилиндрическая секция делает стабилизирующее влияние на свойства, полученные расплавом в конической секции: улучшается равномерность расхода материала, стабилизируется температурное поле расплава, исчезает вероятность возникновения пульсаций давления зоны. Однако в этой секции возможно незначительное падение величины давления. Кроме качественной стабилизации материала секция также определяет результирующую производительность экструдера.

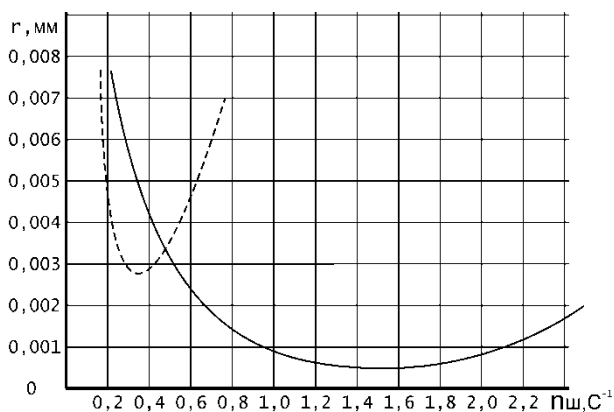


Рис. 2. График сравнительной оценки влияния частоты вращения шнека на качество смешения предлагаемой многосекционной конструкции шнека с существующими прототипами:

----- Многосекционный шнек, используемый для переработки полимерных отходов методом соэкструзии;
 ———— - Разработанный экструзионный многосекционный шнек.

Предложенная схема проанализирована методом математического моделирования: проведена сравнительная оценка разработанной конструкции с многосекционным шнеком, применяемым для переработки полимерных отходов

методом соэкструзии. Значительным недостатком данного прототипа является узкий диапазон рациональных рабочих частот переработки: 0,24-0,42 с⁻¹. На рис. 2 приводятся сравнительные зависимости толщины полос компонентов на рабочих диапазонах частот. Диапазон рабочих частот для разработанного экструзионного шнека по переработке вторичного комбинированной полимерного сырья составляет 1,13-1,92 с⁻¹, ширина диапазона в 4,4 раз превышает значение прототипа.

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, разработанный многосекционный шнек более рациональный для процесса экструзионной переработки полимерного сырья за счет более широкого диапазона эффективных рабочих частот. Использование значений частот с максимальным качеством смешивания даст увеличение производительности в 4,71 раза, что необходимо для процесса экструзии.

Кроме того, за счет применения в барьерной секции каналов различной шероховатости и рациональных конструктивных параметров достигнуто увеличение качества смешивания компонентов в 4,3 раза по сравнению с данным прототипом.

Список литературы

1. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Моделирование процессов соэкструзии. - Луганск: издат-во ВУГУ, 1998. - 74с.
2. Grooved Feed Single Screw Extruders — Improving Productivity and Reducing Viscous Heating Effects. B. Davis et al., / Polym. Eng. Sci., 1998, vol 38, 7, - p. 1199.
3. Pape J., Potente H., Obermann C. Influence of Model Simplifications on the Accuracy of Simulation Results in Single Screw Extruders / 15th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Den Bosch, the Netherlands. - 1999.
4. Мак-Келви. Д Переработка полимеров. - М.: Химия, 1965. - 368 с.
5. Ким В.С. Диспергирование и смешение в процессах производства пластмасс. - М.: Химия, 1988. - 293 с.
6. Rauwendaal C. Polymer extrusion. - Munich, Hauser Garduer, 2001. - 777 p.
7. Смирный М.Ф., Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Технология многослойного формования полимерных структур. - Луганск: издат-во ВУГУ, 1998. - 85с.
8. Spalding M.A., Dooley J., Hyun K.S. The Effect of Flight Radii Size on the Performance of Single-Screw Extruders, SPE ANTEC, - 1999. - P. 190-194.
9. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов. Перевод с англ. Р. В. Торнера, Е. В. Закс и др., Под ред. Г. В. Виноградова. - М.: «Химия», 1965. - 747 с.
10. Экструдер для переработки вторичных полимерных материалов: патент на полезную

модель RUS 156859 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015122963; заявлено 15.06.2015г.; зарегистрировано 23.10.2015г.-Зс.

11. Экструдер для переработки вторичных полимерных материалов: патент на полезную модель RUS 162449 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015122964; заявлено 15.06.2015г.; зарегистрировано 23.10.2015г.-Зс.

12. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 157101 /Дядичев В.В., Колесников А.В., Дядичев А.В.; заявитель и

патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015125220; заявлено 25.06.2015г.; зарегистрировано 29.10.2015г.-Зс.

13. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 154655 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015117856; заявлено 12.05.2015г.; зарегистрировано 06.08.2015г.-Зс.

14. Экструдер для переработки термопластов: патент на полезную модель RUS 154542 /Дядичев В.В., Колесников А.В.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И.Вернадского».-№2015117857; заявлено 12.05.2015г.; зарегистрировано 03.08.2015г.-Зс.

Dyadichev V. V., Kolesnikov A. V., Dyadichev A. V.

IMPROVING EXTRUSION EQUIPMENT WITH MULTI-SECTION OF THE SCREW IN ORDER TO SOLVE ENVIRONMENTAL PROBLEMS COMBINED RECYCLING WASTE POLYMER

Summary: The results of the research in the article the analysis of the ecological state of the combined polymer waste, the necessity of further research in the field of improvement of extrusion equipment for their processing. The description of the functional diagram of the proposed equipment. According to the results of mathematical modeling proved the effectiveness of the proposed design.

Key words : Polymer waste, extrusion, extruder section zone melt.

УДК 626.82

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Лунёв Д.В.^{*}, Обручева Л.В.^{**}

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение),

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

E-mail: dimlunev@mail.ru^{*}, ludobrucheva@mail.ru^{**}

Аннотация. В работе изложена методика снижения капитальных вложений в строительство закрытых оросительных систем за счёт оптимизации их гидравлических элементов. Приведены результаты апробации методики для проектов закрытых оросительных систем на территории республики Крым и их сравнительная экономическая эффективность. Применение предложенной методики при проектировании позволит не только повысить экономическую эффективность орошаемого земледелия, но и улучшить его инвестиционную привлекательность.

Ключевые слова: оросительная система, гидравлический расчёт трубопровода, капитальные вложения.

Введение

Республика Крым географически относится к зоне недостаточного увлажнения и выращивание на её территории высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур возможно только при восполнении дефицита их водопотребления за счёт искусственного увлажнения почвы, то есть орошения.

Традиционным способом орошения в Крыму считается дождевание, обеспечивающее высокую производительность и степень автоматизации в процессе полива. При этом следует отметить, что оросительные дождевальные системы требуют значительных капитальных вложений в их строительство. Особенно это касается закрытых оросительных систем, требующих помимо строительства оросительной сети и приобретения дождевальной техники, строительства насосной станции, что приводит к существенному удорожанию стоимости строительства. В настоящее время является актуальной разработка методик оптимизации, применяемых при проектировании закрытых оросительных систем, позволяющих снизить капитальные вложения в их строительство.

Анализ публикаций

В соответствии с Федеральной целевой программой развития мелиорации в России [1], одной из основных задач является развитие и реконструкция мелиоративных систем. В программе отмечается, что в создавшихся условиях наиболее целесообразно оказывать финансовую помощь сельскохозяйственным товаропроизводителям в виде субсидий на возмещение затрат, связанных с созданием мелиоративных систем общего и индивидуального пользования. Строительство мелиоративных систем при этом предлагается осуществлять на инновационной технологической основе. Для реализации программы необходима, в числе прочих, разработка современных

инновационных технологий строительства оросительных систем, снижающих капитальные затраты на водопроводящие трубопроводы в различных регионах Российской Федерации.

Современные оросительные системы, оснащённые широкозахватными дождевальными машинами, автоматизированными средствами подачи, распределения воды и управления поливами, требуют значительных капитальных вложений. Стоимость одного гектара орошения составляет 50-120 тыс. руб. при поливе дождеванием и 150-300 тыс. руб. при капельном орошении [2]. При этом отличительной чертой мелиоративного строительства в южных степных районах являются крупные оросительные системы, позволяющие создавать зоны гарантированного производства зерна, особенно кукурузы, кормов, а вблизи городов и промышленных центров – зоны гарантированного производства овощей.

Эффективность капитальных вложений в мелиорацию земель определяется сопоставлением величины этих вложений с эффектом от их осуществления.

Поскольку повышение продуктивности земель и увеличение производства сельскохозяйственных продуктов является важным результатом и целью капитальных вложений в мелиорацию, экономическая эффективность этих вложений определяется по эффекту сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях, приростом валовой продукции, чистой продукции и чистого дохода [3].

В настоящее время широкое распространение получили закрытые оросительные системы с поливом дождеванием. В такой закрытой оросительной системе воду подают по подземным напорным трубопроводам от источника орошения, с помощью насосной станции, на орошаемую площадь для полива сельскохозяйственных культур дождевальными машинами и установками.

Достоинства закрытой оросительной системы дождеванием: повышение коэффициента полезного действия оросительной системы до 0,98...0,99 за счет отсутствия потерь воды на фильтрацию и испарение; почти полное использование земли под сельскохозяйственные культуры; улучшение условий работы сельскохозяйственных машин и орудий; облегчение распределения воды по орошаемой территории в сложных условиях рельефа; повышение производительности труда поливальщиков; значительное сокращение длины оросительной сети на 1 га орошаемой площади; создание лучших условий, чем на открытой сети, для автоматизации поливов. Недостатки закрытой оросительной системы: высокая строительная стоимость; значительная потребность в трубах; высокие эксплуатационные затраты, в том числе большие затраты на оплату электроэнергии [4,5,6].

При поливе дождеванием расчётные расходы оросительной сети по её участкам зависят от расстановки дождевальных машин на полях одновременного полива. Последовательность орошения полей определяется ротацией, для чего составляются технологические схемы полива на разные годы ротации, выбирают наиболее невыгодный вариант и по нему расставляют дождевальные машины на полях [7].

Максимальное количество одновременно работающих дождевальных машин определяется путём построения графика водоподдачи на орошаемый участок. Вначале строят неуккомплектованный график водоподдачи на основании дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур, входящих в состав севооборота орошаемого участка, для года 75 % обеспеченности дефицитами. Для снижения пиковых нагрузок неуккомплектованный график водоподдачи укомплектовывают под конструктивный расход дождевальной машины. Расчётной считается максимальная ордината укомплектованного графика водоподдачи.

Расчётный расход воды в распределительном трубопроводе равен сумме расходов поливных трубопроводов, получающих из него воду в соответствии с графиком водоподдачи [5].

По найденным расходам проводят гидравлический расчёт сети, то есть определяют материал и диаметры труб, соответствующие им потери напора по участкам сети и скорости [7].

Для выполнения расчетов воспроизводится схема оросительной сети, на которой показывается взаимное расположение всех трубопроводов и места подключения дождевальных устройств. Далее выбирают участки сети, отличающиеся количеством дождевальных устройств, их границы обозначаются на схеме.

Гидравлический расчет разветвленной сети производят в следующей последовательности. В первую очередь рассчитывают главную магистраль,

соединяющую начальную точку сети с наиболее удаленной и возвышенной из конечных ее точек. Затем рассчитывают ответвления [8].

После определения диаметров и соответствующих потерь напора по участкам расчётной трассы, определяют расчётный напор насосной станции. Выбор насосно-силового оборудования насосной станции осуществляется по расчётным значениям напора и подачи.

Одним из основных факторов увеличения капитальных вложений в строительство закрытых оросительных систем, помимо стоимости трубопроводов и стоимости строительства насосной станции с насосно-силовым оборудованием, является стоимость земляных работ по устройству трубопроводов. Стоимость земляных работ по устройству трубопроводов зависит в первую очередь от объёмов земляных работ, которые определяются в соответствии с принятым диаметром и глубиной укладки [9].

В статье [10] авторы обосновывают технико-экономические решения по инфраструктуре оросительной системы. Инвестиции в насосные станции и трубопроводную напорную сеть для подвода воды к дождевальной технике могут составлять 25-40% сметной стоимости проектируемой системы, а затраты на электроэнергию для машинного водоподъема могут составлять 10-25% годовых операционных затрат на оросительной системе. На протяжении всего «времени жизни» (которое, по рекомендациям, нужно принимать равным 25-30 годам) на экономических показателях проекта сказываются как величина инвестиций, так и ежегодные отрицательные денежные потоки, вызванные операционными затратами. В частности, на размер и соотношение инвестиционных и операционных затрат оказывают влияние заложенные проектом диаметры трубопроводов. Так, использование трубопроводов меньшего диаметра при расчетных скоростях потока около 2,5 м/с позволяет существенно сэкономить на трубах, стоимость которых пропорциональна квадрату диаметра, но приводит к значительному росту потерь по длине трубопровода и соответственно повышенным затратам электроэнергии на перекачивание воды. При проектировании инфраструктуры все рассматриваемые варианты должны обеспечивать одинаковый расчетный режим водоподдачи, но предпочтительным должен быть вариант, позволяющий минимизировать как инвестиционные, так и операционные затраты.

Цель и задачи исследования

Целью исследований является разработка методики оптимизации гидравлических элементов для повышения экономической эффективности закрытых оросительных систем.

Задачи исследования: разработка методики оптимизации гидравлических элементов закрытых оросительных систем; моделирование определения

оптимальной величины гидравлических элементов закрытых оросительных систем; проведение вычислительного эксперимента и сравнительный анализ эффективности полученных результатов.

Результаты и их анализ

Разработанная методика оптимизации гидравлических элементов закрытой оросительной системы заключается в том, что после определения расчетных расходов по участкам оросительной сети согласно графику водоподачи и определения материала трубопровода, экономичных диаметров, потерь напора и скоростей по участкам сети, а также расчётной трассы, на оросительной сети выделяются следующие зоны:

- зона кардинального уменьшения диаметра – эта зона распространяется на конечный участок расчетной трассы, прилегающий к диктующей точке. При уменьшении диаметра трубопровода, входящего в эту зону, на участке происходит возрастание скорости течения воды и потерь напора и для сохранения требуемого напора в диктующей точке необходимо увеличить напор насосной станции;

- зона избыточного давления – в эту зону входят трубопроводы расчетной трассы и распределительные трубопроводы. В результате увеличения напора насосной станции в расчетных точках создается избыточное давление, так как

увеличиваются значения отметок пьезометрической линии и как следствие увеличивается свободный напор в этих точках. Диаметры трубопроводов в зоне избыточного давления сохраняются при соответствии их параметров экономичному диаметру трубопровода при пропуске расчетного расхода или подвергаются незначительной корректировке в сторону уменьшения их диаметров при сохранении минимальности потерь напора в трубопроводах данной зоны;

- зона компенсации – в эту зону входят трубопроводы ответвлений от расчетной трассы и распределительных трубопроводов. Так как в расчетных точках зоны избыточного давления повысились отметки пьезометрической линии и свободный напор, что оказывает влияние на соответствующие значения в конечных точках ответвлений, для сохранения параметрических характеристик сети в конечных точках производится уменьшение диаметров трубопроводов ответвлений. Пределы уменьшения диаметров трубопроводов зоны компенсации зависят от величины превышения избыточного давления над расчетными значениями и соответствующим возрастанием потерь напора на участках ответвлений после уменьшения диаметра.

Пример выделения зон на оросительной сети приведен на рисунке 1.

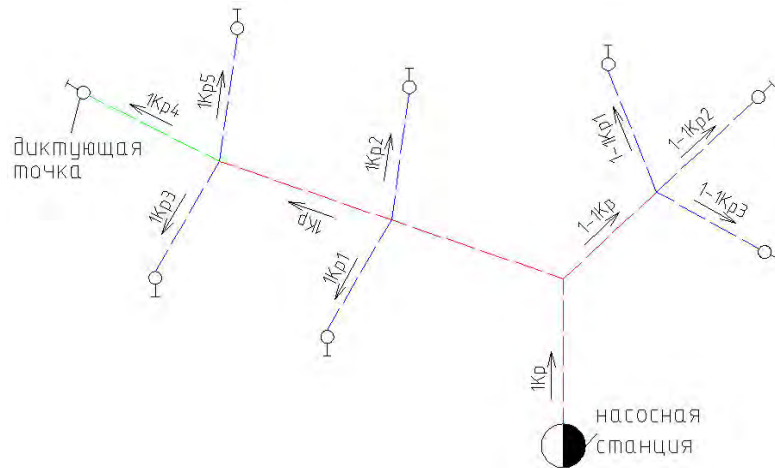


Рис. 1 Схема оросительной сети с выделенными зонами:

- трубопроводы зоны кардинального уменьшения диаметра;
- трубопроводы зоны избыточного давления;
- трубопроводы зоны компенсации.

Критерием оптимизации является минимум капитальных вложений в строительство оросительной сети и насосной станции. Так как с увеличением напора насосной станции для создания избыточного давления, увеличиваются затраты на электроэнергию, то поверочным критерием оптимизации является минимум годовых приведенных затрат.

Оптимизация ведётся в следующей последовательности:

1. Устанавливаются исходные данные для проведения гидравлического расчета оросительной сети. К исходным данным для проведения гидравлического расчета закрытой оросительной сети относятся: расчетные расходы по участкам сети определяемые в соответствии с расстановкой дождевальных машин на полях одновременного

полива в соответствии с графиком водоподачи на орошаемый участок; длины участков закрытой оросительной сети; требуемый напор на гидрантах подключения дождевальных машин в соответствии с их технической характеристикой и уклоном местности вдоль водопроводящего пояса;

2. Определяются материал, экономичные диаметры трубопроводов и рассчитываются потери напора по участкам сети;

3. Проводится выбор расчетной трассы. Расчетная трасса определяется как расстояние по оросительной сети от насосной станции до наиболее удаленного гидранта или до гидранта имеющего наибольшую отметку земли, компенсирующую потери напора в трубопроводе до более удаленного гидранта;

4. Определяются отметки пьезометрической линии и свободных напоров в расчетных точках оросительной сети;

5. Определяется расчетный напор насосной станции и производится выбор насосно-силового оборудования по расчетным параметрам оросительной сети (расчетному расходу и расчетному напору);

6. На оросительной сети выделяются зоны кардинального уменьшения диаметра, избыточного давления, компенсации;

7. Проводится подбор диаметров трубопроводов и потерь напора по участкам закрытой оросительной сети в зоне кардинального уменьшения диаметра;

8. Уточняется расчётный напор насосной станции, проводится выбор насосно-силового оборудования и определяются отметки пьезометрической линии и свободный напор в расчетных точках зоны избыточного давления;

9. Проводится подбор диаметров трубопроводов и потерь напора по участкам закрытой оросительной сети в зоне компенсации с учётом созданного избыточного давления;

10. Определяются суммарные капитальные вложения в строительство оросительной сети и насосной станции, стоимость электроэнергии, приведенные затраты до и после оптимизации и проводится расчет экономической эффективности оптимизации гидравлических элементов закрытой оросительной системы.

Апробация методики оптимизации проводилась для проектов закрытых оросительных систем Крыма. При апробации методики для оросительной сети протяженностью 16,92 км (на участке установлено восемнадцать низконапорных дождевальных машин «Фрегат» различных модификаций с общей площадью орошения 1179 га) в АФ «Россия» Первомайского района проектные капитальные вложения в строительство сети и насосной станции снизились на 25,6%, а приведенные затраты уменьшились на 9,2%.

По результатам апробации было установлено, что разработанная методика

эффективна для разветвленных закрытых оросительных сетей, в которых: зона компенсации составляет не менее 50% всей протяженности сети; зона кардинального уменьшения диаметра не входит в систему магистральных и распределительных трубопроводов; принятые решения не приводят к изменению материала трубопроводов.

Выводы

Применение предложенной методики оптимизации гидравлических элементов при проектировании разветвленных закрытых оросительных систем позволит снизить капитальные вложения в их строительство при выполнении условий её применимости, а также проводить оценку правильности принятых проектных решений при прочих условиях.

Список литературы

1. Федеральная целевая программа "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 - 2020 годы". Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2013 г. № 922
2. Методика оценки экономической эффективности мероприятий по ре-конструкции мелиоративных систем с учетом технического состояния гидромелиоративных объектов, вероятностного характера изменения природно-климатических условий, хозяйственных, экологических и социальных условий функционирования мелиорируемых агроландшафтов, экологической ценности природных экосистем, степени эрозии, структуры природных ландшафтов и ущерба здоровью человека: научн. издание. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 116 с.
3. Мелиорация и водное хозяйство. Т.1. Экономика: Справочник/Под ред. В.Ф.Моховникова. – М.: Колос, 1984. – 256с.
4. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения/Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 47с.
5. Мелиорация и водное хозяйство. Т.6. Орошение: Справочник/Под ред. Б.Б. Шумакова – М.: Агропромиздат., 1990. – 416с.
6. Методические рекомендации по проектированию и эксплуатации оросительных систем с широкозахватными дождевальными машинами. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 88 с.
7. Практикум по сельскохозяйственным гидротехническим мелиорациям: Учебное пособие для вузов / Под. ред. Е.С. Маркова. – М.: Агропромиздат, 1986.-368с.
8. Голованов А.И. Мелиорация земель: учебник / Ассоциация «Агрообразование»: ред. А.И. Голованов. - М.: КолосС, 2011. - 824 с.: ил.
9. Ясинецкий В.Г., Фенин Н.К. Организация и технология гидромелиоративных работ. – М.: Агропромиздат, 1986. – 352с.

10. Об оптимизации проектных решений по водными и земельными ресурсами. Материалы оросительным системам на основе анализа Международного научного форума. В 3-х ч. Ч. 2. инвестиционных и операционных затрат /И.В. Москва, 2015 г. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. Корнеев, , А.С. Балабаев // Проблемы управления с.257-262.

Lunev D. V., Obrucheva L. V.

THE METHOD OF OPTIMIZATION OF HYDRAULIC ELEMENTS FOR CLOSED IRRIGATION SYSTEMS

Summary. The paper presents the method of reduction of capital investments in the construction of closed irrigation systems by optimizing their hydraulic elements. The results of testing the methodology for projects closed irrigation systems on the territory of the Republic of Crimea and of their relative economic efficiency. Application of the proposed methodology in the design will not only increase economic efficiency of irrigated agriculture, but will also improve its investment attractiveness.

Key words: irrigation system, hydraulic calculation of pipeline, capital investments.

УДК 911.

ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИЕ ЗИМНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И АТЛАНТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИДЕКАДНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ.

Холопцев А. В.

Севастопольское отделение ФГБУ «ГОИН им. Н. Н. Зубова»

Аннотация. Оценено влияние арктических блокингов, происходящих в зимние месяцы в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе, на формирование в Европейских регионах России метеоусловий, при которых температуры воздуха в них являются экстремально низкими. Выявленные особенности влияния на них вариаций состояния Атлантической мультideкадной осцилляции использованы при разработке прогнозов на ближайшие десятилетия, которые целесообразно учитывать при проектировании объектов строительства.

Ключевые слова: Европейская территория России, зима, арктические блокинги, экстремально низкие температуры, Атлантическая мультideкадная осцилляция.

Введение

Экстремально низкие зимние температуры воздуха, которые в ближайшие десятилетия могут наблюдаться во многих регионах мира, способны существенно влиять на комфортность температурного режима в любых расположенных на их территориях зданиях, жилых и производственных помещениях. Поэтому совершенствование методик прогнозирования указанных характеристик местного климата, является актуальной проблемой не только климатологии, но также архитектуры и строительства.

Наибольший интерес при этом представляет выявление устойчивых и значимых связей изменений рассматриваемых процессов, с природными факторами, состояния которых изменяются с периодами, сопоставимыми с продолжительностью нормативных периодов эксплуатации проектируемых сооружений. Одним из таких процессов является Атлантическая мультideкадная осцилляция (АМО) – крупномасштабный процесс в климатической системе нашей планеты, который был впервые описан М. Е. Шлезингером в 1994 г. [1].

Анализ основных исследований публикаций

Упомянутый процесс проявляется в изменениях средней поверхностной температуры Северной Атлантики, которые происходят квазициклически, с периодом порядка 50-100 лет[2, 3]. Он оказывает существенное влияние на изменения глобальных и региональных температур воздуха [4,5], а также интенсивности атмосферных осадков[6], во многих регионах Северного Умеренного климатического пояса, а также происходящие в них изменения уровня поверхности многих водных объектов[7].

Вследствие рассматриваемого процесса изменяются потоки тепла, доставляемого океаническими течениями в Арктику[8,9], что служит одной из основных причин вариаций ледовитости акваторий ее Европейского сектора.

Атлантические воды отличаются от арктических не только своей повышенной температурой, но и большей соленостью. В результате их охлаждения в Европейском секторе Арктики, их плотность возрастает, что приводит к их погружению в глубину. За пределы Европейского сектора Арктики охладившиеся, но столь же соленые атлантические воды уходят в толще ее вод. Достигнув шельфа Чукотки и Аляски, эти воды вновь частично поднимаются в поверхностный слой Северного Ледовитого океана, так как в зимние месяцы здесь активизируется конвекция. Поскольку поднимающиеся воды являются более солеными, при повышении интенсивности этого процесса соленость поверхностного слоя вод соответствующих районов Арктики также увеличивается, что влечет за собой некоторое снижение их ледовитости. Далее поднявшиеся воды увлекаются Трансарктическим течением, которое переносит их в западном направлении и частично возвращается в Северную Атлантику[10].

Поэтому вариации расхода, температуры и солености атлантических вод, проникающих в Европейский сектор Арктики способны с тем или иным запаздыванием влиять на изменения солености поверхностного слоя вод, ледовитости, а значит и поверхностной температуры многих арктических районов. Таким образом, вариации АМО способны влиять и на атмосферное давление в различных секторах Арктики, над которыми в зимние месяцы располагается Арктический антициклон.

Б. Л. Дзердзеевским и учеными его школы[11, 12] установлено, что при смещениях этого антициклона в сторону некоторого сектора Северного полушария, в нем возрастает продолжительность действия арктических блокингов. При этих процессах очень холодный зимний арктический воздух устремляется на юг, вызывая экстремальные похолодания на всем пути своего следования.

Если на пути распространения этого воздуха встречаются антициклоны, он их обтекает по изобарам, отклоняясь к западу и к востоку. В

результате, в регионы Европейского сектора арктический воздух способен поступать при блокингах, которые развиваются не только в этом секторе. На изменения метеоусловий в них способны влиять также блокинги в Сибирском секторе, которые взаимодействуют зимой с Сибирским антициклоном, а также в Атлантическом секторе, где они взаимодействуют с Азорским максимумом.

Последнее позволяет предположить, что значимым фактором изменчивости экстремально низких температур воздуха в зимние месяцы во многих регионах Европейской территории России могут быть арктические блокинги, которые развиваются в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе Северного полушария, под влиянием изменений состояний Арктического антициклона, первопричиной которых служат опережающие их по времени вариации состояния АМО.

Выдвинутая гипотеза не является тривиальной, поскольку известно, что в зимние месяцы холодный воздух на Европейскую территорию России может поступать и в холодных секторах приходящих сюда циклонов.

Поскольку вариации АМО способны опережать изучаемые процессы по времени на месяцы-годы, подтверждение адекватности данной гипотезы позволило бы использовать результаты мониторинга индекса АМО, представленные в [13], при сверхдолгосрочном прогнозировании изменений экстремальных температур воздуха на Европейской территории России в зимние месяцы. Поэтому проверка данной гипотезы, а также выявление условий, при которых она является адекватной, представляет немалый теоретический и практический интерес.

Постановка проблемы

Учитывая изложенное, объектом исследования выбраны изменения экстремальных температур воздуха на Европейской территории России в зимние месяцы.

Предметом исследования в ней служат связи изменений экстремальных температур зимних месяцев на Европейской территории России с вариациями состояния Атлантической мультидекадной осцилляции.

Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых вариации АМО

значимо влияют на изменения экстремальных температур зимних месяцев на Европейской территории России.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Оценены значимости влияния арктических блокингов в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе Северного полушария на возникновение метеоусловий в регионах Европейской территории России, при которых в них зимой наблюдаются экстремально низкие температуры воздуха.

2. Оценены значения временных сдвигов, при которых статистические связи между вариациями индекса АМО, а также запаздывающими по отношению к ним суммарными продолжительностями арктических блокингов в указанных секторах Северного полушария являются наиболее сильными.

Материалы и методы

В данной работе, как экстремально низкие в том или ином пункте рассматриваются зафиксированные в нем среднесуточные температуры воздуха, которые в период с 1 декабря по 28 февраля не превышают уровень $x = m - \sigma$, где m – их среднее значение, а σ – их среднеквадратическое отклонение.

Максимальные значения экстремально низких температур воздуха и периоды их существования определены для пунктов Европейской территории России, входящих в состав Центрального, Северо-Западного и Южного Федеральных округов, для которых информация о среднесуточных температурах зимних месяцев представлена в [14]. Пункты, которые относятся к Северо-Кавказскому Федеральному округу, при этом не рассматривались, поскольку в них на изменения зимних метеоусловий существенным является влияние Кавказских гор, что ощутимо изменяет проявляющиеся в них закономерности.

При этих исследованиях учтены данные о рассматриваемых характеристиках за отрезок времени с 1 января 1981 г. по декабрь 2015 г., который соответствует третьему (1981-1997гг.) и четвертому (1998-2015 гг.) периоду третьей циркуляционной эпохи[16]. В качестве примера, в таблице 1 представлены максимальные значения экстремально низких температур воздуха для пунктов Таганрог и Приморско-Ахтарск.

Таблица 1.

Статистические характеристики m , σ и максимальные значения температур воздуха x в пунктах Таганрог и Приморско-Ахтарск, которые рассматриваются как экстремально низкие.

№	Пункт	m (°C)	σ (°C)	x (°C)
1	Таганрог	-2,260	5,571	-7,831
6	Приморско-Ахтарск	-0,171	5,025	-5,196

Как видно из таблицы 1, географическое положение пункта существенно влияет на уровень температуры воздуха, которая для него является экстремально низкой. Аналогичные расчеты

показали, что максимальные значения экстремально низких температур воздуха по Европейской территории России снижаются с юга на север и с запада на восток. Их значения максимальны для

пунктов Ялта (Южный берег Крыма) и Сочи (Черноморское побережье Краснодарского края), а минимальны - для пункта Нарьян-Мар (Печорская низменность).

Направления, по которым происходят Арктические блокинги, являются одним из критериев, в соответствии с которыми осуществляется типизация макроциркуляционных процессов в Северном полушарии, при подходе, предложенном Б. Л. Дзердзеевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой [15]. Учет этих направлений, а также атмосферного давления над Арктикой, позволил выявить 41 Элементарный циркуляционный механизм (далее ЭЦМ), которые относятся к 11 типам и 4 группам [11].

Арктические блокинги существуют лишь в периоды действия ЭЦМ, которые относятся к группам Нарушенная зональная (НЗ) и Меридиональная Северная (МС). В такие периоды над Арктикой расположена область повышенного давления и существуют один (НЗ) или 2-4 блокирующих процесса (МС).

Информация о продолжительности действия в том или ином месяце и году каждого ЭЦМ получена из [16]. Она базируется на Календаре последовательной смены ЭЦМ за 1899-2015 гг., который до 1970 г. составлялся под руководством и при непосредственном участии Б.Л. Дзердзеевского сотрудниками циркуляционной группы Отдела климатологии Института географии АН СССР.

С 1971г. составление Календаря курировала В. М. Курганская, а с 1994 г. эта работа осуществляется Н.К. Кононовой, которая принимает в ней участие с 1957 г. В 2014 г. к составлению Календаря подключилась Т.Ю. Горбунова [17].

При решении первой задачи, значимость влияния на возникновение экстремально низких температур в некотором пункте Европейской территории России, арктического блокинга, который происходит в каком-либо секторе Северного полушария, оценена с помощью двух мер.

Первая мера (P1) вычислялась как отношения суммарного за ту или иную зиму количества суток, в течение которых в некотором пункте наблюдаются экстремально низкие температуры воздуха, а также происходят блокинги, к количеству суток с экстремально низкими температурами воздуха.

Вторая мера (P2) определялась как отношения суммарного за ту или иную зиму количества суток, в течение которых в том же пункте наблюдаются экстремально низкие температуры воздуха, а также происходят блокинги, к количеству суток, в течение которых той же зимой арктические блокинги происходили в некотором секторе северного полушария.

Значения указанных мер определены для всех рассматриваемых пунктов, а также для двух периодов: 1981-1997гг и 1998-2015 гг..

Даты, соответствующие экстремально низкому температурам воздуха в рассматриваемых пунктах, получены из [14]. При определении дат, в которые арктические блокинги присутствовали в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе Северного полушария, использован Календарь последовательной смены ЭЦМ [16], а также перечни ЭЦМ, которые в них являются блокирующими.

Перечни ЭЦМ, при которых арктические блокинги наблюдаются в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе, в соответствии с [11,17], приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Перечни блокирующих ЭЦМ.

сектор	Атлантический	Европейский	Сибирский
ЭЦМ	3, 8а, 8бл, 8гз, 8гл, 9а, 12а, 12бз, 12бл	4а, 4б, 4в, 8бз, 10а, 10б, 12вз,	5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 8бл, 8вз, 8вл, 8гз, 8гл, 11а, 12бл, 12вл

Из таблицы 2 видно, что наибольшее количество блокирующих ЭЦМ соответствует Сибирскому, а наименьшее - Европейскому сектору.

При решении второй задачи общая продолжительность в некотором месяце арктических блокингов в каждом секторе рассчитана как сумма периодов действия соответствующих ему блокирующих ЭЦМ, которые в этом месяце действовали. Поэтому как фактический материал о периодах действия таких ЭЦМ использована таблица 2 и [16].

Арктические воздушные массы, участвующие в образовании блокингов, формируются в соответствующих секторах Арктики, где атмосферное давление зависит от средней температуры их подстилающей поверхности (СТП). Как фактический материал при вычислении этих

температур для периода с января 1982 по декабрь 2014 г., использованы данные о средних температурах поверхности всех районов изучаемых секторов, которые расположены к северу от параллели 67°N, и ограничены квадратами координатной сетки размерами 1°x1°. Эти данные, содержатся в [19]. С их помощью для каждого i-зимнего месяца и каждого года t рассчитаны средние значения СТП Атлантического, Европейского и Сибирского секторов Арктики.

$$СТП_i(t) = \sum_{\lambda} \sum_{\varphi} СТП(\lambda, \varphi) * \cos(\varphi),$$

где СТП(λ,φ) значение СТП района, ограниченного квадратом координатной сетки размерами 1°x1° с центром долготы которого - λ, а широта - φ;

Σ_{ϕ} - оператор суммирования СТП всех квадратов расположенных на одинаковой широте;

Σ_{λ} – оператор суммирования значений Σ_{ϕ} .

Полученные таким образом временные ряды СТП Атлантического, Европейского и Сибирского секторов Арктики, а также временные ряды продолжительностей в тех же секторах арктических блокингов, подвергнуты корреляционному анализу. Предварительно в них выделены и скомпенсированы линейные тренды. В результате установлено, что между рассматриваемыми процессами существует значимая положительная корреляция (достоверность данного результата не менее 95%). Последнее позволило подтвердить адекватность вывода, который сделан Б. Л. Дзердзеевским [11], согласно которого изменения продолжительности блокингов в том или ином секторе соответствуют смещениям Арктического антициклона.

Учитывая это, при решении второй задачи изучено влияние вариаций АМО на изменения СТП различных районов Атлантического, Европейского и Сибирского сектора Арктики. Выявлялся временной сдвиг Δ , при котором влияние вариаций индекса АМО на запаздывающие по отношению к ним изменения СТП в некотором секторе Арктики являлось наиболее существенным. При этом как фактический материал об изменениях состояния АМО использована база данных [13]. Эта база включает информацию за период с января 1948 г.

Как мера существенности влияния вариаций индекса АМО на изменения СТП в некотором секторе Арктики, использовано количество его районов, ограниченных квадратами координатной сетки размерами $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, где значения коэффициента корреляции рассматриваемых процессов положительны и значимы (превышают заданный пороговый уровень).

Если бы изучаемые процессы являлись стационарными и нормальными, в качестве этого уровня можно было бы выбрать значение некоторого порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [20].

Так как каких либо причин рассматривать изучаемые процессы как стационарные и гауссовы, не установлено, критерий Стьюдента при оценке значимости связей между ними применен быть не может.

Учитывая это, принято следующее допущение: - статистическая связь между сопоставляемыми фрагментами временных рядов изучаемых процессов является достаточно сильной, если значение коэффициента их парной корреляции превышает уровень +0,5. Его использование позволило для каждого Δ определить районы соответствующего сектора Арктики, для которых связь межгодовых изменений их СТП в зимние месяцы, в период 1982-2014 гг., с вариациями АМО, является достаточно сильной.

С учетом рекомендаций [18], установлено, что изучаемые статистические связи могут быть признаны надежными и пригодными для прогнозирования, если сопоставляемые фрагменты рассматриваемых временных рядов содержат 33 члена. Поэтому при определении значений Δ , которые соответствуют тому или иному региону Арктики, статистические связи вариаций индекса АМО с запаздывающими по отношению к ним изменениями его СТП, их сила оценивалась для различных фрагментов временных рядов АМО, которые имеют именно такую длину. Последнее позволило изучать статистические связи между изучаемыми процессами на отрезках времени длиной 33 года и при сдвигах между ними Δ , лежащими в диапазоне от 0 до 34 лет.

Результаты исследования и их анализ

При решении первой задачи в соответствии с рассмотренной методикой оценены значимости влияния арктических блокингов в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе Северного полушария на изменения зимних метеоусловий в регионах Европейской территории России, при которых в них наблюдаются экстремально низкие температуры воздуха. Значения используемой меры значимости этого влияния определены для всех рассматриваемых ее пунктов. Для этого рассчитаны значения мер P_1 и P_2 , осредненные по всем пунктам, находящимся на территориях Центрального, Северо-Западного и Южного федеральных округов, которые соответствуют третьему (1981-1997гг.) и четвертому (1998-2015 гг.) периодам третьей циркуляционной эпохи. Эти значения приведены в таблице 3. Из таблицы 3 следует, что в четвертом периоде третьей циркуляционной эпохи по сравнению с ее третьим периодом доли интервалов времени, в течение которых наблюдались экстремально низкие температуры воздуха, приходящиеся на время действия арктических блокингов в Европейском секторе, во всех рассматриваемых регионах Европейской территории России заметно снизилась.

Аналогичные изменения произошли и с долями интервалов времени действия арктических блокингов в Европейском секторе, на которые в пунктах тех же регионов приходились периоды экстремально низких температур воздуха. Это позволяет заключить, что влияние арктических блокингов в Европейском секторе на формирование метеоусловий, при которых на всей рассматриваемой территории России зимние температуры воздуха являются экстремально низкими, в четвертом периоде (1988-2015 гг.) ослабло. При этом наиболее сильным оно остается в Северо-Западном Федеральном округе и наиболее слабым в Южном Федеральном округе.

Таблица 3.

Значения меры значимости влияния арктического блокинга на возникновение экстремально низких температур воздуха зимой.

Блокинг в Европейском секторе				
	1981-1997гг.		1998-2015 гг.	
Федеральный округ России	P1	P2	P1	P2
Центральный	0,173	0,211	0,077	0,143
Северо-Западный	0,186	0,223	0,087	0,152
Южный	0,123	0,188	0,052	0,119
Блокинг в Сибирском секторе				
	Третий период		Четвертый период	
Федеральный округ России	P1	P2	P1	P2
Центральный	0,195	0,143	0,236	0,110
Северо-Западный	0,167	0,121	0,189	0,093
Южный	0,191	0,165	0,233	0,108
Блокинг в Атлантическом секторе				
	Третий период		Четвертый период	
Федеральный округ России	P1	P2	P1	P2
Центральный	0,063	0,073	0,068	0,111
Северо-Западный	0,113	0,123	0,236	0,154
Южный	0,100	0,092	0,245	0,137
Блокинг в любом из этих секторов				
	Третий период		Четвертый период	
Федеральный округ России	P1	P2	P1	P2
Центральный	0,371	0,163	0,532	0,138
Северо-Западный	0,386	0,167	0,553	0,141
Южный	0,366	0,151	0,516	0,13

Для большинства рассматриваемых пунктов Европейской территории России в четвертом периоде той же циркуляционной эпохи заметно возросли P1- доли интервалов времени, в течение которых в них наблюдались экстремально низкие температуры воздуха, приходящихся на периоды действия арктических блокингов в Сибирском секторе. Из этого следует, что влияние арктических блокингов в Сибирском секторе Северного полушария на образование метеоусловий, при которых на всей рассматриваемой территории России зимние температуры воздуха являются экстремально низкими, усилилось. В четвертом периоде (1988-2015 гг.) третьей циркуляционной эпохи наиболее сильным это влияние является в Центральном Федеральном округе.

В четвертом периоде третьей циркуляционной эпохи наиболее значительно усилилось влияние на рассматриваемые процессы в Южном федеральном округе арктических блокингов, которые происходили в Атлантическом секторе. Усилилось оно и в прочих Федеральных округах.

Во всех рассматриваемых Федеральных округах России также усилилось влияние арктических блокингов, происходящих в любом из рассматриваемых секторов Северного полушария. Доли периодов их действия, совпадающие по времени с периодами существования на соответствующих территориях экстремально низких температур воздуха, всюду превышают 50%.

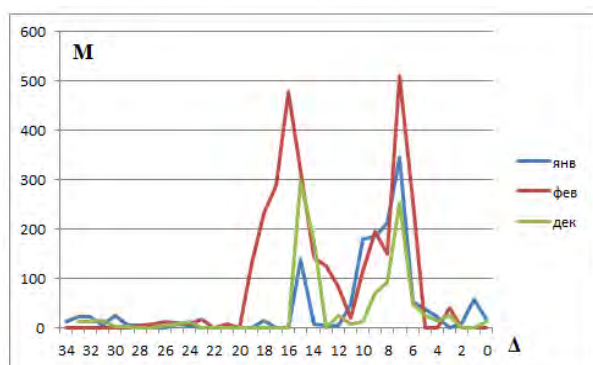
При решении второй задачи для Атлантического, Европейского и Сибирского сектора Арктики и каждого значения Δ определены его районы, для которых статистическая связь межгодовых изменений их СТП в том или ином зимнем месяце, с вариациями индекса АМО является достаточно сильной. Полученные при этом для того или иного зимнего месяца зависимости количества таких районов (М) каждого сектора от значения Δ представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что для всех секторов Арктики и всех зимних месяцев рассматриваемые зависимости носят мультимодальный характер, а значения Δ , которые соответствуют их максимумам, в различных секторах заметно различаются.

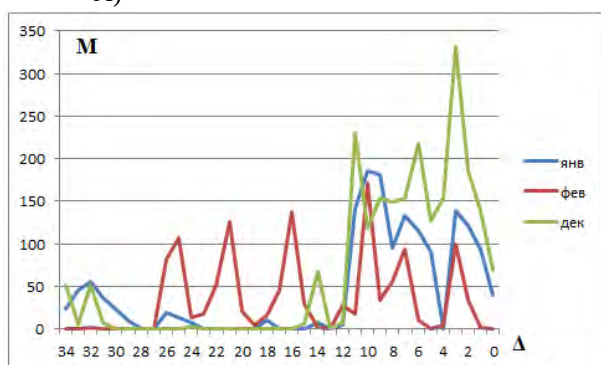
Как следует из рисунка 1А, в Атлантическом секторе минимальное значение Δ , при котором в соответствующей зависимости М(Δ) присутствует первый максимум, составляет 7 лет. Наибольшее количество районов данного сектора, где при таком Δ , связь между вариациями СТП и АМО достаточно сильна, соответствует – февралю. Второй максимум в рассматриваемой зависимости для февраля соответствует $\Delta=16$ лет, для января и декабря – при $\Delta=15$ лет.

Как видно из рисунка 1Б, в Европейском секторе минимальное значение Δ , при котором в соответствующей зависимости М(Δ) присутствует первый максимум, составляет 3 года. Это приблизительно совпадает с оценкой времени, за которое вода из тропической зоны Северной

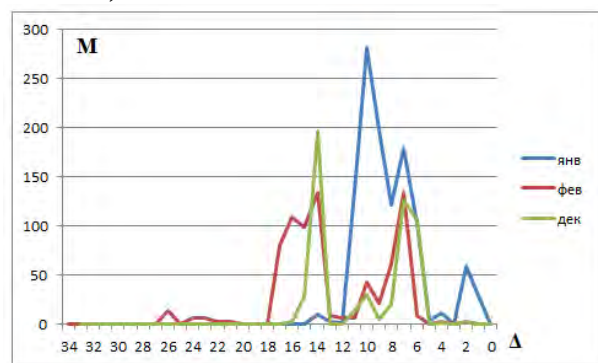
Атлантики по системе поверхностных течений: Северо-Пассатное – Антильское – Гольфстрим – Североатлантическое, достигает Норвежского моря [4]. Наибольшее количество районов данного сектора, где при таком Δ , связь между вариациями СТП и АМО достаточно сильна, соответствует декабрю, а наименьшее – февралю. Это не удивительно, поскольку известно, что ледовитость районов Европейского сектора от декабря к февралю увеличивается.



А)



Б)



В)

Рис. 1. Зависимости от Δ количества (М) районов секторов Арктики, где сила связи изменений в 1982-2014 гг. их СТП в зимние месяцы, с опережающими на Δ вариациями АМО, достаточно велика.

А) Атлантический; Б) Европейский; В) Сибирский.

Из данного рисунка следует также, что наряду с упомянутым максимумом, в рассматриваемой зависимости присутствуют и иные,

которым соответствуют значения Δ , 6-7, 10-11 и более лет. Наибольшие значения М, превышающие 100, для декабря и января соответствуют $\Delta=11$ лет, а для февраля – 26 лет.

Существование первого максимума рассматриваемой зависимости может отражать влияние на СТП районов Европейского сектора Арктики прихода в него дополнительного тепла, доставляемого атлантическими водами. В образовании последующих максимумов этой зависимости, вероятно, проявляется влияние доставляемой теми же водами избыточной соли, которая, благодаря циркуляции поверхностных вод Арктики многократно возвращается в Европейский сектор Арктики. Об этом свидетельствует и близкое к эквидистантному расположение максимумов рассматриваемой зависимости (соответствующие им значения Δ различаются на 4-6 лет).

Из рисунка 1В следует, что в Сибирском секторе минимальное значение Δ , при котором в соответствующей зависимости М(Δ) присутствует достаточно высокий максимум ($M>100$), составляет приблизительно 7 лет. Наибольшее количество районов данного сектора, где, при таком Δ , количество районов достаточно сильной связи между вариациями СТП и АМО превышает 100, соответствует январю. В феврале и декабре оно меньше и практически одинаково.

Значение Δ , при котором в январе достигается максимальное значение М, составляет 10 лет. При таком времени запаздывания значимо влиять на СТП районов данного сектора могут лишь вариации солёности поверхностного слоя его вод, обусловленные повторным возвратом в него солёных атлантических вод, доставляемых циркуляцией поверхностных вод Арктики. Разность значений Δ , при которых значения М, соответствующие в Сибирском секторе декабрю и февралю, достигают максимумов, превосходящих 100, составляет 7 лет.

Сопоставление рисунков 1А-В свидетельствует об адекватности выдвинутой гипотезы. Оно показывает, что арктические районы, где на межгодовые изменения в зимние месяцы СТП ощутимо влияют вариации индекса АМО, действительно существуют. В них связи между этими процессами наиболее сильны, если последние опережают изменения СТП по времени на то или иное Δ , минимальное значение которого составляет 3 года и соответствует Европейскому сектору. Минимальное значение Δ , которое соответствует районам Сибирского, и Атлантического сектора Арктики, составляет 7 лет.

Обсуждение полученных результатов

Выявленные закономерности могут быть использованы при разработке прогнозов изменений экстремальных температур воздуха в зимние месяцы на Европейской территории России, для сценария будущего, при котором выявленные закономерности сохраняются неизменными. При этом также должно

быть принято допущение, согласно которому главным фактором изменений ледовитости Арктики, а также состояния Арктического антициклона в зимние месяцы являются вариации потоков тепла и соли, которые поступают в нее из Северной Атлантики. Влияние на них изменений содержания в атмосфере парниковых газов проявляется опосредованно, через указанные вариации.

При разработку таких прогнозов за основу должны быть приняты изменения состояния индекса АМО, которые, для периода 1998-2015 гг., в соответствии с [12], представлены на рисунке 3.

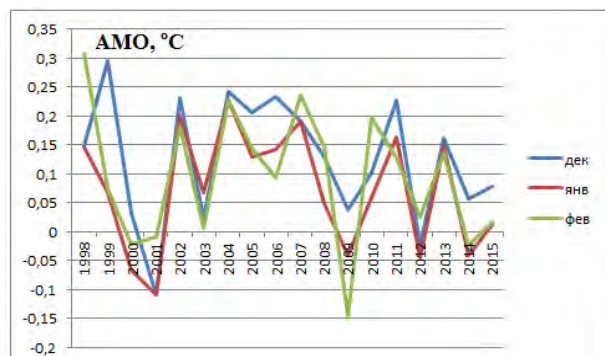


Рис. 2. Зависимости от времени среднемесячных значений индекса АМО в период 1998-2015 гг., согласно [12].

Из рисунка 2 следует, что для всех зимних месяцев межгодовые изменения индекса АМО носят колебательный характер, при этом их средний уровень устойчиво снижается (что наиболее заметно в январе и феврале).

Рисунок 1Б показывает, что в Европейском секторе Арктики, зимой 2016г. проявлялись изменения состояния АМО, которые имели место в 2013 г.. Поэтому зима 2016 года в регионах Европейской территории России суровой не была.

Рисунок 1Б позволяет предположить также, что зима 2017 года здесь будет несколько более суровой (в особенности в январе и феврале), так как будет сказываться влияние АМО в 2014 г..

Из рисунков 1А и 1Б следует, что в Атлантическом и Сибирском секторе суровые условия января и февраля, обусловленные низкими уровнями АМО в те же месяцы 2014 года, могут сложиться в 2021 г.

2020г. будет характеризоваться повышенными температурами всех зимних месяцев, а 2019 год – их пониженными значениями. Все зимние месяцы в 2017г. и 2018 г. в данных секторах также будут, по-видимому, более теплыми.

Так как арктические блокинг чаще возникают в периоды, когда в соответствующем секторе Арктики происходит похолодание, полученные результаты позволяют предположить, что зима 2017г., 2018 г. и 2020 г. на Европейской территории России будет более теплой, в 2019 году и 2021 г. она будет более суровой.

Поскольку тенденция к снижению АМО в Сибирском и Атлантическом секторе также проявится с запаздыванием 7 лет, представляется вероятным, что аналогичная тенденция в ближайшие десятилетия будет проявляться и в изменениях экстремально низких температур зимних месяцев на всей Европейской территории России. Периоды, в течение которых температуры будут оставаться экстремально низкими, также будут возрастать. Эту особенность целесообразно учитывать при расчете систем отопления и теплоизоляции зданий, проектируемых для ее населенных пунктов.

Выводы

Таким образом, установлено,

1. В регионах Европейской территории России в XXI веке, не менее 50% случаев возникновения зимой метеоусловий, при которых температуры воздуха в их населенных пунктах становятся экстремально низкими, связаны с арктическими блокингами, действующими в Атлантическом, Европейском и Сибирском секторе.

2. По сравнению с аналогичным периодом в конце XX века, значимость влияния арктических блокингов в Европейском секторе снижается, а в Сибирском и Атлантическом возрастает.

3. Значимым фактором изменений поверхностных температур зимних месяцев в тех же секторах Арктики является Атлантическая мультideкадная осцилляция, вариации состояния которой опережают их по времени.

4. Проявляющаяся в XXI веке тенденция к снижению значений индекса АМО может породить тенденцию к увеличению продолжительности зимних блокингов в Сибирском и Атлантическом секторе, а также повышению суровости зим практически на всей Европейской территории России.

Список литературы

1. Schlesinger, M. E. (1994). "An oscillation in the global climate system of period 65-70 years". *Nature* 367 (6465): 723–726.
2. Mingfang, Ting; Yochanan Kushnir; Richard Seager; Cuihua Li (2009). "Forced and Internal Twentieth-Century SST Trends in the North Atlantic". *Journal of Climate* 22 (6): 1469–1481.
3. Delworth, T. L. & Mann, M. E. Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere. *Clim. Dyn.* 16, 661–676 (2000).
4. Chen, X. & Tung, K.-K. Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration. *Science* 345, 897–903 (2014).
5. Dickson R. R., Meincke J., Rhines P. Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the Role of the Northern Seas in Climate. — Springer, 2008. — 736 с.
6. Enfield, D.B., Mestas, A.M. Ttimble P.J. ,2001: The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, 2077-2080.

7. Gerard D. McCarthy, Ivan D. Haigh, Joël J.M. Hirschi, Jeremy P. Grist & David A. Smeed (27 May 2015). "Ocean impact on decadal Atlantic climate variability revealed by sea-level observations". *Nature*.
8. Marshall, J., Johnson, H. & Goodman, J. A study of the interaction of the North Atlantic Oscillation with ocean circulation. *J. Clim.* 14, 1399–1421 (2001).
9. Sallenger, A. H., Jr, Doran, K. S. & Howd, P. A. Hotspot of accelerated sea-level rise on the Atlantic coast of North America. *Nature Clim. Change* 2, 884–888 (2012).
10. Бурков В. А. Общая циркуляция вод Мирового океана./ Л. – Гидрометиздат. – 1980. – 253с.
11. Дзердзеевский, Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР..М. - 1968. – 240с.
12. Zakharov V. G., Kononova N. K. (2015). Relationship of dynamics of fields of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season)//*The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal*, 2015, №1 (2), p.45-57.
13. База данных об изменениях индекса Атлантической мультideкадной осцилляции[Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.cdc.noaa.gov/timeseries/AMO/>
14. База данных о характеристиках метеоусловий в различных пунктах мира [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.tutiempo.net>
15. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. (1946). Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР.Сер. 2. Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. М., Л., Гидрометиздат, 80 с..
16. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmospheric-circulation.ru>
17. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. //М. ИГ РАН.Воентехиниздат. - 2009. – 372с.
18. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть. III. Служба морских гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 143 с.
19. База данных об изменениях эффективных температур различных участков земной поверхности. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>.
- 20.Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит. -2006. -816с.

Kholopcev A. V..

THE AIR'S TEMPERATURES ON THE TERRITORY OF EUROPEAN RUSSIA IN WINTER, WHICH ARE EXTREMELY LOW, AND ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATION

Summary. The influence of the Arctic blocking, which occurring in the winter months in the Atlantic, European and Siberian sector, on the formation of regions in European Russia weather conditions, under which the air temperature in them is extremely low, are estimated. The features of the influence of Atlantic multidecadal oscillation on these variations, which are identified, are used in the forecasting for the coming decades. This forecast is useful in designing of construction projects.

Keywords: European territory of Russia, winter, arctic blocking, extremely low temperatures, the Atlantic multidecadal oscillation.

Памятка для авторов

Рекомендации

по списку использованных источников и ссылки на них

Оформление списка и ссылок выполняется в соответствии с:

- 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.

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 четырех и более авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии всех авторов. Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой. Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

Примеры основных правил оформления списка литературы.

Однотомная книга одного автора:

Глазунов В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 94 с.

Однотомная книга двух авторов:

Мельников Г.Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов: учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

Однотомная книга трех авторов:

Попов Е.В., Верецагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978. 400 с.

Однотомная книга четырех и более авторов:

Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / В.К. Абалакин, Е.П. Аксенов, Е.А. Гребеников, В.Г. Демин, Ю.А. Рябов ; под ред. Г.Н. Дубошина. М.: Наука, 1976. 864 с.

Импульсные источники света / И.С. Маршак, А.С. Дойников, В.П. Жильцов, В.П. Кирсанов, Р.Е. Ровинский, Л.Н. Шукин, М.Г. Фейгенбаум; под общ. ред. И.С. Маршака. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1978. 472 с.

Переводная книга:

Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел : пер. с англ. / под ред. Г.Н. Дубошина. М.: Наука, 1982. 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967.].

Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных : пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C.J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

Отдельный том многотомного издания:

Сварка и свариваемые материалы : справочник. В 3 т. Т. 1. Свариваемость материалов / ред. Э.Л. Макаров. М.: Металлургия, 1991. 258 с.

Глава из книги:

Глазырин Б.Э. Автоматизация выполнения отдельных операций в Word 2000 // Office 2000 : 5 кн. в 1 : самоучитель / Э. М. Берлинер, И. Б. Глазырина, Б. Э. Глазырин. 2-е изд., перераб. М., 2002. Гл. 14. С. 281-298.

Статья из многотомного издания

Кулаков В.А. Викторианский стиль // БРЭ. М., 2006. Т.5. С. 308 – 309.

Диссертация:

Пнев А.Б. Оптико-электронные измерительные системы на основе квазираспределенных волоконно-оптических брэгговских датчиков : дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 176 с.

Автореферат диссертации:

Вишняков И. В. Модели и методы оценки коммерческих банков в условиях неопределенности : автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2002. 15 с.

Аналитический обзор:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья: аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. М.,: ИМЭМО, 2007. 39 с.

Депонированная научная работа

Алгоритм численного решения жестких дифференциальных уравнений / Ю.Ю. Громов, М.М. Деревуз, Н.А. Земской, О.Г. Иванова, Н.Г. Мосягина; Тамбовский государственный технический университет. Тамбов, 1999. 8 с. Деп. в ВИНТИ 04.03.1999, № 669-В1999.

Стандарт:

ГОСТ Р 517721 – 2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования. Введ. 2002-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2001. 27 с.

Патент:

Чугаева В.И. Приемопередающее устройство : пат. 2187888 Российская Федерация. 2002. Бюл. № 23 (2 ч.). 3 с.

Описание составной части документа.

Статья из периодического издания (журнала):

Чайковский М.М., Ядыкин И.Б. Оптимальная настройка ПИД-регуляторов для многосвязных билинейных объектов управления // Автоматика и телемеханика. 2009. №1. С. 130 - 146.

Звягин Ф.В. Об одном классе орбит в задачах трех и четырех тел // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2010. №2. С. 105—113.

Станкевич И.В., Яковлев М.Е., Си Ту Хтет. Разработка алгоритма контактного взаимодействия на основе альтернирующего метода // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2011. Спец. вып. Прикладная математика. С. 134 – 141.

Статья из сборника:

Двинянинова Г.С. Комплимент: Коммуникативный статус или стратегия в дискурсе // Социальная власть языка: сб. науч. тр. Воронеж, 2001. С. 42 – 49.

Орлик А.Г., Коберник Н.В. Получение износостойких антиабразивных покрытий // Труды МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2010. № 602 : Математическое моделирование сложных технических систем. С. 34-38.

Статья из продолжающегося издания.

Белова Г. Д. Некоторые вопросы уголовной ответственности за нарушение налогового законодательства // Актуал. проблемы прокурор. надзора. 2001. Вып. 5 : Прокурорский надзор за исполнением уголовного и уголовно-процессуального законодательства. Организация деятельности прокуратуры. С. 46-49.

Живописцев В. П., Пятосин Л.П. Комплексные соединения тория с диантипирилметаном // Учен. зап. / Перм. ун-т. 1970. № 207. С. 184-191.

Из материалов конференции:

Карпенко А.П., Селиверстов Е.Ю. Глобальная оптимизация методом роя частиц на графических процессорах // Всерос. суперкомпьютерная конференция «Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность»: труды. М.: Изд-во МГУ, 2009. С.188-191.

Симонов А. Очистка сточных вод: проектирование технических устройств // 7-я региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 12-15 мая 2002 г.) : тез. докл. Волгоград, 2002. С. 13-15.

Электронные ресурсы удаленного доступа:

Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Имитационное моделирование сложных динамических систем. Режим доступа: http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp (дата обращения 20.04.2012). Топтыгин И. Н. Математическое введение в курс общей физики: учеб. пособие для студентов. СПб.- 2000. Режим доступа: <ftp://ftp.unilib.neva.ru/dl/010.pdf> (дата обращения 20.04.2012).

Российская государственная библиотека. Режим доступа: <http://www.rsl.ru> (дата обращения 01.05.2012).

Статья из электронного журнала:

Автор 1:

Шахтарин Б. И. Оценка действия гармонической помехи на фазовую автоподстройку // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/353914.html> (дата обращения 18.04.2012).

Авторов 2:

Каганов Ю.Т., Карпенко А.П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора, как механизма параллельной кинематики типа «трипод» // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2009. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/133262.html> (дата обращения 20.04.2012).

Авторов 3:

Буренков В. С., Иванов С.Р., Савельев А.Я. Проблемы формальной верификации технических систем // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/373672.html> (дата обращения 18.04.2012).

Авторов больше 4-х:

Численное моделирование процесса калибровки осесимметричных деталей жидкой технологической средой / А.С. Софьин, А.В. Стрижков, Н.В. Ульвис, О.В. Зарубина, Р.В. Боярская // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 4. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/361706.html> (дата обращения 18.04.2012).

Статья, которой присвоен номер DOI:

Постникова Т.В. Анализ факторов, влияющих на построение цепи поставки с учетом ограничений логистической инфраструктуры // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 5. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/1994-0408.0512-351140.400544>

Strukov D.B., Snider G. S., Stewart D. R., Williams S. R. The missing memristor found // Nature. 2008. vol. 453. PP. 80-83. DOI: 10.1038/nature06932

Правила оформления статей в сборник «Строительство и техногенная безопасность»

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии не должен 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*.

Оформление статьи. Параметры страницы: верхнее – 2,5 см, нижнее – 2,5см, левое-2,5см, правое-2см. Оформление в две колонки: ширина колонки – 7,32 см, промежуток – 0,5 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. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 х 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 10 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 10 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись. 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 11 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.

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 (Summary) от 100 до 200 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.

Ключевые слова (Key words) до 6 слов, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.

Текстовая часть. Статья должна содержать такие разделы: введение; анализ публикаций, материалов, методов; цель и постановка задачи исследований; основной раздел с результатами и их анализом; выводы, список литературы. Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пт, центрируются.

Научное издание

CuTB №5(57) – 2016

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сборник научных трудов академии строительства и архитектуры ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет В. И. Вернадского»

Технический и художественный
редактор *Е. В. Мажарова* Вёрстка и
дизайн *В. А. Бибик*

Подписано к печати 15.12.2016

Формат 60х84/8

Усл. печ. л. 17,8

Тираж 50 шт.

Издательство «Антиква»

295000, Российская Федерация, Республика Крым, г.
Симферополь, пер. Героев Аджимушкая 6, оф. 3, тел.:
+79788913701 e-mail: antikva07@mail.ru

Типография ИП Гальцовой Н. А. Российская
Федерация, Республика Крым,
г. Симферополь, пгт. Аграрное, ул. Парковая 7, кв. 908