

*На правах рукописи*



**МУРАШЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ  
ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА МОРСКИХ  
ОБЪЕКТАХ В АРКТИКЕ**

**Специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные  
системы охраны водных ресурсов»**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Ким Аркадий Николаевич**

Официальные оппоненты: **Серпокрылов Николай Сергеевич**  
доктор технических наук, профессор.  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», (г. Ростов),  
профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение».

**Кичигин Виктор Иванович**  
доктор технических наук, профессор.  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение».

Ведущая организация **ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»**

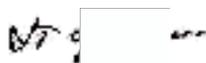
Защита состоится 17 октября 2017 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д212.223.06 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/murashev-sergey-vladimirovich>.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент



Пухкал Виктор Алексеевич

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность избранной темы.** Активизация эксплуатации недр арктического шельфа, активное освоение территорий архипелагов и островов Северного Ледовитого океана вносят дополнительную нагрузку на природную среду Арктики. Опыт эксплуатации морских буровых вышек и обитаемых разгрузочных терминалов (морских объектов) показал необходимость создания адекватных гидрометеорологическим условиям систем предотвращения загрязнения водных ресурсов Арктики, так как известные судовые системы очистки сточных вод не отвечают условиям эксплуатации на подобных объектах. Это потребовало решения новой, неприсущей ранее отрасли проблемы создания инновационных систем водоочистки для морских объектов в Арктике. Предъявляемые дополнительные требования к очистке, с учетом сохранения массогабаритных характеристик, соответствующих судовым установкам, требует применение новых более эффективных методов очистки и новых технических конструкций. Высокая конкуренция, а также работа в условиях санкций предъявляет требование получения решений, способных к правовой охране, т. е. получение решений, обладающих мировой новизной и изобретательским уровнем. Необходимость одновременного решения всего комплекса задач в области инновационной деятельности и в области инженерных решений систем водного хозяйства морских объектов, включающих сооружения для очистки сточных вод при использовании в технологических циклах, определило актуальность темы диссертации.

**Степень разработанности темы исследования.** Проблеме очистки сточных вод на морских и береговых объектах в Арктике уделялось недостаточно внимания, а опыт типизации установок очистки сточных вод для морских объектов отсутствует. Наиболее близкими по условиям эксплуатации являются судовые системы очистки «серых» и «черных» сточных вод. При этом на подобных объектах малой производительности, в частности, как правило, используются физико-механические и, в меньшей степени, биологические методы очистки. В нормативных документах, включая международные, обнаруживаются различные несогласованные между собой требования по номенклатуре и параметрам к подобным системам, включая требования по производительности, степени очистки.

С учетом ужесточения требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) к подобным системам, включая повышенные требования по сбросу сточных и балластных вод, в качестве перспективных методов очистки можно отметить методы глубокой биологической очистки, методы очистки с помощью мембранных технологии, а к методам обеззараживания – физические методы, включая электроудержание на зернистых грузках с использованием электропитания низкого напряжения и модернизированные методы УФ-обеззараживания.

Из имеющихся работ по этой тематике диссертации следует отметить труды М.И. Алексеева, С.Г. Амеличкина, В.М. Воробейчикова, А.С. Гордиенко, О.Г. Гавриша, П.И. Гвоздяка, Е.А. Горбачева, М.Г. Журба, А.Н. Ким, А.В. Киростаева, В.И. Кичигина, В.А. Колесникова, Б.Г. Мишукова, К.М. Морозова,

И.А. Нечаева, Л.В. Пучкова, В.И. Решняк, Н.С. Серпокрылова, М.А. Сомова, С.В. Степанова, В.В. Степанова, Н.В. Седых, Ю.А. Феофанова, Л.И. Цветковой, Т.П. Чеховской, В.Н. Швецова, С.В. Яковлева, и других отечественных ученых.

**Цель исследования** – снижение негативного влияния на окружающую среду Арктики путем разработки инновационных технических конструкций, методов очистки и методов обеззараживания сточных вод на морских объектах, на примере совершенствования технологии биологической очистки с биомембранной фильтрацией и обеззараживания сточных вод для сооружений малой производительности.

**Задачи исследования:**

– разработать основные требования к системам очистки сточных вод для морских объектов в Арктике и определить типоразмерный ряд установок очистки сточных вод для них;

– разработать оптимальную технологическую схему для установки очистки сточных вод для морских объектов в Арктике с применением метода создания новых технических решений на основе использования структуры международной патентной классификации;

– разработать опытно-промышленный образец компактной автоматизированной безреагентной установки глубокой биологической очистки сточных вод с узлом микрофильтрации для морских объектов в Арктике (на примере нефтегазодобывающих платформ);

– провести испытания опытного образца установки по технологии глубокой биологической очистки сточных вод с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой с отстойником-ферментатором, мембранно-биологическим реактором и биологическим (безреагентным) удалением фосфора;

– исследовать возможность использования полей токов высокой частоты для совершенствования методов УФ обеззараживания сточных вод и разработать варианты узлов обеззараживания для установки очистки сточных вод для морских объектов;

– исследовать возможность усовершенствования метода электроочистки сточных вод с использованием низкого напряжения и определить возможность использования метода на морских объектах.

**Объект исследования** – установки для очистки сточных вод на морских объектах в Арктике.

**Предмет исследования** – технологии очистки сточных вод и технические средства для ее реализации на морских объектах в Арктике.

**Научная новизна исследования** полученных в диссертации результатов заключается в следующем:

1. Впервые разработаны и обоснованы основные требования к судовым системам очистки сточных вод и к системам очистки сточных вод для морских объектов в Арктике, а также определен оптимальный по производительности типоразмерный ряд установок очистки сточных вод для судов и морских стационарных сооружений. Новые требования, отличаются тем, что вводится ограничение по габаритам установок.

2. Впервые предложена оптимальная технологическая схема для установки очистки сточных вод для морских объектов в Арктике, разработанная с применением метода создания новых технических решений на основе использования структуры международной патентной классификации. Предложена технология с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором. Новизна заключается в том, что примененный метод позволил разработать оптимальную технологическую схему глубокой биологической очистки сточных вод с биомембранной фильтрацией для компактных установок очистки сточных вод на морских объектах и судах, с учетом разработанных требований. Применение метода позволило создать, описанные в настоящем диссертационном исследовании 11 изобретений и полезных моделей.

3. Разработана методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором. Новизна состоит в том, что предложен расчет очистного комплекса биологических блоков с блоком биомембранной фильтрации.

4. Теоретически обоснован, разработан и испытан опытно-промышленный образец установки глубокой биологической очистки сточных вод с мембранно-биологическим реактором для морских объектов и для судов. Новым является то, что установка позволяет достигать требуемых показателей по биогенным элементам без применения в технологическом процессе химических реагентов. Новизна и изобретательский уровень подтверждены патентом на изобретение RU2537611, дата публикации 20.03.2014, Бюл. № 8, 10.01.2015, Бюл. № 1 «Установка очистки хозяйственно-бытовых сточных вод»;

5. Предложены и экспериментально проверены новые технические решения для систем обеззараживания сточных вод:

– усовершенствованный метод УФ обеззараживания сточных вод с использованием индуктивного поля токов высокой частоты. Новым является конструкция источника УФ излучения, позволяющая использовать инертный газ в качестве наполнения, а также отказаться от использования газоразрядных электродов, что по сравнению с известными системами УФ обеззараживания значительно повышает надежность и экологическую безопасность подобных систем. Новизна подтверждена патентом на полезную модель RU119736, «Устройство для обеззараживания водных сред», опубликован 05.03.2012, Бюл. № 24;

– усовершенствованный метод электроочистки и обеззараживания зернистой загрузки с использованием низкого напряжения. Новизна заключается в том, что применение покрытия на гранулы загрузки из сополимер стирола с дивенилбензолом позволило улучшить на 30 % восстановительную способность загрузки. Новизна и изобретательский уровень подтверждены патентом на изобретение RU2603372, дата публикации 27.11.2016, Бюл. № 33 «Способ электроочистки и обеззараживания загрязненных жидкостей»;

– усовершенствованный метод термической регенерации угольных загрузок с использованием токов высокой чистоты. Новизна заключается в том, что

метод позволяет производить регенерацию угольных загрузок без их извлечения из фильтра. Новизна и изобретательский уровень подтверждены патентами на изобретения RU2467955, «Устройство для обработки жидкости», опубликован 27.11.2012 Бюл. № 33, RU2499770, «Фильтр для очистки воды на основе активированного угля и способ его регенерации», опубликован 10.04.2013 Бюл. № 10, 27.11.2013 Бюл. № 33.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что доказана эффективность применения систем биологической очистки сточных вод на морских судах и морских объектах. В работе впервые изучен вопрос использования технологии мембранно-биологической очистки в сочетании с глубокой биологической очисткой по трехзонной схеме анаэробно-аноксидно-оксидной обработке с учетом условий эксплуатации на морских объектах. Предложена методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором. Показано, что наиболее эффективно мембраны используются в комбинации с биологическими методами очистки. Доказана возможность использования полуволоконных мембран на судах и морских объектах в условиях, требующих консервации очистных сооружений и при отрицательных температурах. Доказана эффективность применения метода обеззараживания сточных вод путем ее облучения с помощью бесконтактных источников генерации УФИ и электросорбционных устройств. Предложен и апробирован метод создания указанных выше новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод на основе закономерностей международной патентной классификации (МПК).

**Практическая значимость** диссертационного исследования заключается в том, что полученные результаты могут использоваться при разработке и совершенствовании технологий и проектировании технических средств, повышающих эффективность очистки и обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод на различных объектах малой производительности. Разработаны требования и рекомендации для проектирования и специальные технические условия на типовый ряд очистных сооружений для морских объектов, предложены варианты отдельных узлов очистных установок (узел биологической очистки, узел микрофльтрации, узлы обеззараживания (варианты)).

**Методология и методы исследования** включали аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, применение функционального моделирования, методов создания новых технических решений, лабораторные и опытно-промышленные исследования по стандартным методикам. Достоверность полученных данных подтверждается длительностью и большим объемом экспериментов, проведенных на реальных сточных водах в полупромышленных условиях с применением стандартизированных методик измерения и анализа данных в аккредитованных лабораториях.

**Положения, выносимые на защиту:**

– основные требования к судовым системам очистки сточных вод и системам очистки сточных вод для морских объектов в Арктике;

– технологическая схема установки очистки сточных вод для морских объектов в Арктике, разработанная с использованием метода создания новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод на основе использования структуры международной патентной классификации;

– методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором;

– опытно-промышленный образец установки глубокой биологической очистки сточных вод с мембранно-биологическим реактором для морских объектов и для судов;

– усовершенствованный метод УФ обеззараживания сточных вод с использованием индуктивного поля токов высокой частоты;

– усовершенствованный метод электроочистки и обеззараживания зернистой загрузки с использованием низкого напряжения.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов», а именно п. 3 «Методы очистки природных и сточных вод, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов», п. 5 «Методы обеззараживания и кондиционирования природных и сточных вод, обеспечивающие санитарно-гигиенические, токсикологические и эпидемиологические требования, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок и аппаратов».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Научные выводы работы основаны на результатах теоретических и экспериментальных работ в лабораторных и производственных условиях с использованием в эксперименте макетов и полноразмерных опытно-промышленных модулей. Достоверность результатов обеспечена контролем измерений сертифицированных и аккредитованных лабораторий и использованием стандартных методик. Основные результаты работы были доложены на следующих семинарах, симпозиумах и конференциях: на заседании секции «Экология и безопасность в судостроении» Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова (СПб, 22 декабря 2015, 22 мая 2013, 01 декабря 2016); международном форуме «Экология большого города» (СПб, 20-22 марта 2013); XV Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (СПб, 19-21 марта 2014); Международной конференции «Инновационные системы отведения и очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий» (г. Петрозаводск 13 ноября 2014).

Проведены опытно-промышленные испытания опытно-промышленного образца установки с использованием предложенной технологии на ССА ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Результаты работ использованы в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» для разработки и принятия решений по реконструкции канализационных очистных сооружений пос. Молодежный, разработки и опытно-промышленных испытаний на Северной станции аэрации установки очистки сточных вод малой

производительности. На заседании 01 декабря 2016 Российского научно-технического общества судостроителей им. Акад. А.Н. Крылова рекомендованы к внедрению в судостроительной отрасли.

Результаты работ могут быть использованы на судах и для очистки сточных вод малых населенных пунктов в условиях крайнего севера.

**Публикации.** По результатам работы опубликованы 23 печатные работы, в том числе 17 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 145 наименований. Работа изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 29 таблиц, 1 приложение.

*Во введении* обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследований, отмечены ее научная новизна и практическая значимость работы, а также даны основные положения диссертации, вынесенные на защиту.

*В первой главе* проводится анализ современного состояния проблемы, раскрыты механизмы создания новых технических решений, предложена функциональная модель процесса очистки сточных вод для морских объектов и показано место результатов интеллектуальной деятельности в процессе разработки технических конструкций и методов очистки сточных вод. Предложен новый метод создания новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод, позволяющий производить разработку обладающих новизной решений на уровне лучших мировых аналогов.

*Во второй главе*, раскрыты особенности водопользования на морских объектах в Арктике. Рассмотрены основные методы и средства очистки и обеззараживания малых объемов сточных вод для подобных объектов, исследованы судовые системы очистки сточных вод, как наиболее близкие по условиям эксплуатации. В главе показано, что, несмотря на большое разнообразие существующих технических конструкций и методов очистки, отсутствуют отечественные и зарубежные системы очистки сточных вод, предназначенные для эксплуатации на морских арктических объектах, с учетом их особенностей. Не разработаны требования к подобным системам.

*В третьей главе* разработаны основные требования к системам и технологиям водоподготовки для морских объектов в Арктике, обоснованы и разработаны специальные технические условия на проектирование и строительство систем очистки, обеззараживания и утилизации сточных вод морских объектов на основе использования современных технологий. Для их реализации разработан типоразмерный ряд установок очистки сточных вод для них, выполнена практическая реализация метода инверсии международной патентной классификации для разработки прототипа перспективной компактной автоматизированной безреагентной комбинированной системы глубокой очистки сточных вод для морских оффшорных объектов в Арктике (на примере нефтегазодобывающих платформ и морских отгрузочных терминалов). Предложена методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной

обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором.

*Четвертая глава* посвящена экспериментальным исследованиям и анализу результатов испытаний систем глубокой биологической очистки сточных вод для морских объектов в Арктике по предложенной схеме. Испытания проводились на двух опытно-промышленных установках производительностью до 10 м<sup>3</sup>/сутки, в которых реализованы различные технологические схемы с мембранно-биологическим реактором (МБР) и с вторичным отстойником. В результате были реализованы различные гидравлические режимы работы мембранного модуля, определен оптимальный тип и режим работы мембран в составе биологического комплекса очистных сооружений, исследована возможность применения мембран при воздействии отрицательных температур. Отработаны режимы работы блока МБР совместно с блоками биологической очистки.

*Пятая глава* посвящена новым перспективным направлениям дообработки воды на морских сооружениях, включая экспериментальные исследования и испытания инновационных элементов (узлов) систем обеззараживания, разработанных с применением метода инверсии международной патентной классификации, а также описанию технико-экономического обоснования, которое показало, что применение предложенного метода разработки новых технических решений дает возможность получить принципиально новые решения, которые имеют правовую охрану и могут служить ресурсом производства. Исследована возможность совершенствования и экспериментально проверены усовершенствованная технология УФ обеззараживания сточных вод с использования полей токов высокой частоты, метод электроочистки и обеззараживания зернистой загрузки с использованием низкого напряжения, метод термической регенерации угольных загрузок с использованием токов высокой чистоты.

*В заключении* изложены основные итоги выполненного исследования, сделаны предложения о возможных направлениях продолжения исследования.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Разработаны основные требования к судовым системам очистки сточных вод и к системам очистки сточных вод для морских объектов в Арктике.**

В работе были впервые сформулированы и обоснованы унифицированные технические требования к установкам очистки сточных вод для морских сооружений и для судов и впервые разработаны специальные технические условия на проектирование и строительство систем биологической очистки, обеззараживания и утилизации сточных вод нефтегазодобывающих платформ и терминалов, а именно:

1) обоснованы требования по сбросу загрязняющих веществ с учетом требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) и СанПиН 2.1.5.2582-10. Санитарно-эпидемиологические

требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения;

2) с учетом опыта эксплуатации существующих судовых установок очистки сточных вод, разработаны требования по производительности установок очистки сточных вод для морских объектов. Данные по производительности установок очистки сточных вод приведены в таблице 1;

3) обоснованы требования по унификации установок очистки сточных вод для морских судов и морских объектов по ОСТР5.5414-2011. Системы сточные судовые. Правила проектирования;

4) разработаны требования к методам биологической очистки сточных вод и методам мембранной фильтрации в системах очистки сточных вод на судах и морских объектах.

Таблица 1 – Рекомендуемая производительность установок очистки сточных вод для морских объектов

Тип оффшорного объекта	Производительность установки, м <sup>3</sup> в сутки	Количество человек
Отгрузочные терминалы и промежуточные платформы для обслуживания вертолетов, а также малые и средние суда	2,5	10-15
Промежуточные платформы для обслуживания вертолетов, транспортные суда, суда технического флота	5	20–25
Буровые платформы и морские суда специального назначения	10	30–50
Буровые платформы и морские суда специального назначения	20	75–100
Буровые и нефтегазодобывающие платформы, суда-трубоукладчики	50	150–250

**2. Разработана технологическая схема установки очистки сточных вод для морских объектов в Арктике, с использованием метода создания новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод, на основе использования структуры международной патентной классификации. На основании проведенного анализа была предложена оптимальная для разработанных выше требований к системам очистки сточных вод технологическая схема установки очистки сточных с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором. Для чего был разработан комплексный метод создания новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод, заключающийся в систематизации и применении новых технических решений на основе использования структуры международной патентной классификации (метод инверсии международной патентной классификации (МПК)) и метода структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis & Design Technique), позволяющего учитывать отраслевые особенности использования результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Разработанный комплекс-**

ный метод позволяет эффективно подбирать перспективные для применения и дальнейшего совершенствования передовые технические решения (прототипы) и производить разработку новых решений в области очистки и обеззараживания сточных вод на уровне лучших мировых аналогов.

Традиционное назначение МПК заключается в классификации известных опубликованных патентных документов с целью упрощения их поиска в патентных базах данных. Использование результатов анализа структуры МПК как таковой в качестве инструмента создания новых средств и методов в настоящее время неизвестно (рисунок 1).

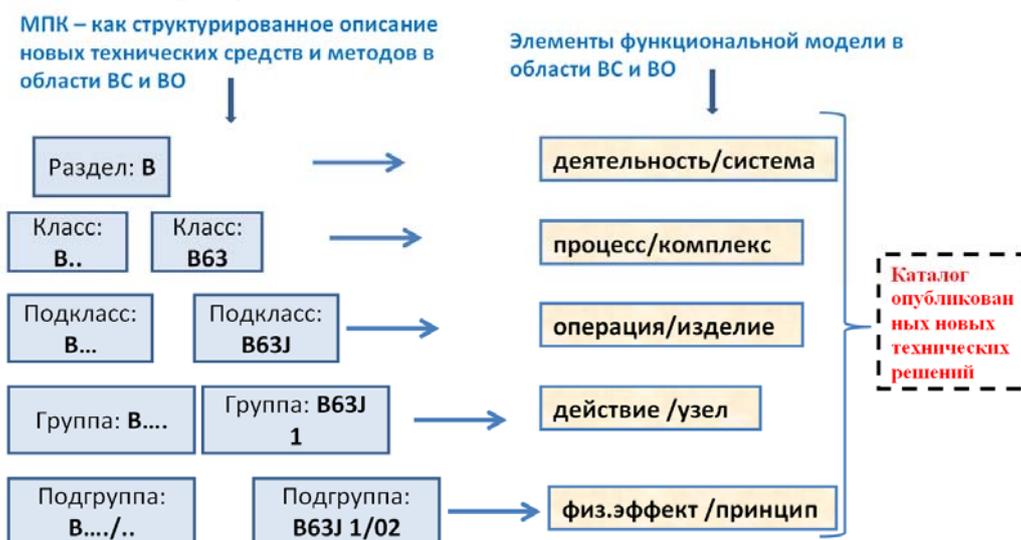


Рисунок 1 – Метод выявления новых технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод на основе закономерностей МПК

Предлагаемый метод заключается в том, что сначала разрабатывается функциональная модель системы очистки и обеззараживания сточных вод морских объектов на основе анализа известных решений с учетом опыта эксплуатации. Затем выделяются те процессы, операции и действия, реализуемые в изучаемой модели, которые могут влиять на использование результатов интеллектуальной деятельности в качестве ресурса системы очистки и обеззараживания сточных вод. Далее определяются новые требования к разрабатываемым системам, производится определение основного класса разрабатываемых систем по МПК и поиск в основном классе технических решений по критерию наличия или отсутствия аналогов. После этого выполняется отбор групп МПК вне основного класса по критерию наличия технических решений, совпадающих по функциональному назначению. В подгруппах указанных групп МПК производится отбор технических решений, дающих возможность достичь решения поставленной задачи с заданными техническими требованиями.

Для использования МПК в качестве инструмента поиска новых решений была найдена связь каждого его иерархического уровня с уровнями функционирования – деятельность, процесс, операция и действие. Указанная связь иллюстрируется таблицами 2–4.

Таблица 2 – Связь иерархической структуры МПК с элементами функциональной модели

Обозначение уровня иерархии					Примечание
Раздел	Класс	Подкласс	Группа	Подгруппа	
С	02	F	3/00	3/30	
Раздел – уровень 1					
	Класс – уровень 2				
		Подкласс– уровень 3			
			Группа– уровень 4		
				Подгруппа – уровень 5	
Элементы функциональной модели					
Деятельность	Процесс	Операция	Действие		Только для процессов (способов)
Система	Комплекс	Изделие	Узел		Только для технических средств (устройств)

Таблица 3 – Иерархическое строение МПК для классификации судовых систем

Раздел	Класс	Подкласс	Группа
В	63	J	(4/00, 99/00)
Различные технологические процессы, транспортирование	Суда и прочие плавающие средства; оборудование для них	Вспомогательное судовое оборудование (специальные устройства на судах для обработки воды, промышленных и бытовых сточных вод)	

Таблица 4 – Иерархическое строение МПК для классификации методов обработки воды

Раздел	Класс	Подкласс	Группа
С	02	F	(1/00, 5/00)
Химия	Обработка воды	Промышленных и бытовых сточных вод или отстоя сточных вод	Химическая или физическая обработка воды

Анализ структуры МПК показал, что в него не включены морские (оффшорные) сооружения, но и отсутствует класс систем, установленных на них (подкласса систем обработки воды). Поэтому, как отдельным направлением дальнейших исследований, было выбрано обоснование состава средств и методов очистки сточных вод (ОСВ) на морских объектах в Арктике – их типизация и разработка технических условий (ТУ) на такие системы.

Систематизация новых технических решений в области водоочистки дала возможность обосновать новый класс МПК с учетом специфики морских объектов, создать метод выявления новых технических конструкций и способов очистки, что позволило разработать и применить новые технические решения, получить 11 патентов РФ и реализовать ряд перспективных технологий, обосновать и выполнить технологический расчет типоразмерного ряда для судов и морских объектов.

### **3. Разработана методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором.**

В качестве перспективной модельной технологии для морских объектов, обосновано применение комбинированной технологии глубокой биологической очистки сточных вод анаэробно-аноксидно-оксидной обработки с отстойником-ферментатором, мембранно-биологическим реактором и биологическим (безрегентным) удалением фосфора.

Была предложена методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором. Состав сточных вод судов и платформ, при более высокой концентрации стоков, близок по составу к сточным водам населенных пунктов. Обоснованы исходные данные для расчета типоразмерного ряда установок очистки сточных вод, которые приведены в таблице 5.

Методика расчета типоразмерного ряда установок очистки сточных вод включает: среднестатистические исходные данные для расчета, формулы для расчета биологических блоков, усреднителя и мембранного блока.

Таблица 5 – Исходные данные для расчета типоразмерного ряда установок очистки сточных вод

Наименование параметра	Показатель на входе установки	Показатель на выходе установки
Аммонийный азот, мг/л	40	0,4
Общий азот, мг/л	60	10
БПК <sub>5</sub> , мг/л	275	2
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	400	3
Температура, °С	15	

Выполнен технологический расчет типоразмерного ряда установок очистки сточных вод с учетом имеющихся потребностей. Расчет произведен для трех рабочих концентраций активного ила: 3 г/л (нормальный показатель); 5 г/л (увеличенный показатель) и 9 г/л (максимальный показатель). Для упрощения выполнения вариантов расчетов составлена программа расчета установок очистки сточных вод.

Расчет анаэробной и анноксидных зон производится по формулам (2, 5, 7), предложенных профессором Б. Г. Мишуковым:

1. Объем анаэробной зоны  $W_{\text{анаэр}}$ ,  $\text{м}^3$ , рассчитывается по формуле

$$W_{\text{анаэр}} = Q_{\text{ср}} \cdot t_{\text{анаэр}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ср}}$  – средний расход сточных вод для установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $t_{\text{анаэр}}$  – продолжительность пребывания сточных вод в анаэробной зоне, ч.

Продолжительность пребывания сточных вод в анаэробной зоне  $t_{\text{анаэр}}$ , ч, в безреагентном режиме определяется по формуле

$$t_{\text{анаэр}} = \frac{B(J_P - 0,01)^{0,65}}{(H_{i5})^{0,3} (L_{\text{уд}})^{0,5} \cdot 1,072^{T-15}}, \quad (2)$$

где  $J_P$  – содержание фосфора в активном иле, г/г;  $H_{i5}$  – допустимая нагрузка на ил,  $\text{кг}/(\text{кг} \cdot \text{сут.})$  по БПК<sub>5</sub>;  $L_{\text{уд}}$  – соотношение БПК<sub>5</sub> и концентрации фосфора фосфатов в поступающей на очистку воде, г/г;  $T$  – среднегодовая температура сточных вод, °С;  $B$  – коэффициент, отражающий условия анаэробно-окислительного восстановления потенциалом.

В безреагентном режиме  $J_P$  составляет 0,03 г/г, при добавке реагентов продолжительность обработки сокращается до 0,75–1 ч, а значение  $J_P$  достигает величины 0,05–0,07 г/г.

При жестком ограничении анаэробной зоны от поступления растворенного кислорода и нитратов значение  $B$ , принимается равным 40, в обратном случае  $B = 60$ .

2. Объем аноксидных блоков  $W_{\text{д}}$ ,  $\text{м}^3$ , рассчитывается по формуле

$$W_{\text{д}} = \frac{G_{\text{Нд}}}{r_{\text{д}}} \quad (3)$$

где  $G_{\text{Нд}}$  – масса денитрифицируемого азота, поступающая за 1 час в аноксидный отсек, г.;  $r_{\text{д}}$  – объемная скорость денитрификации,  $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ .

Масса денитрифицируемого азота, поступающая в аноксидный отсек  $G_{\text{Нд}}$ , г/ч, рассчитывается по формуле

$$G_{\text{Нд}} = Q_{\text{ср}} \cdot C_{\text{Нд}} \quad (4)$$

где  $C_{\text{Нд}}$  – концентрация денитрифицируемого азота в аноксидном отсеке, мг/л.

В аноксидной зоне для денитрификации существенное значение имеет наличие органического субстрата (источника энергии для восстановления нитратного азота) и начальной концентрации азота нитратов.

Объемная скорость денитрификации  $r_{\text{д}}$ ,  $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ , рассчитывается по формуле

$$r_{\text{д}} = 0,83(L_{\text{уд}})^{0,6} (C_{\text{NO}_3} R_N)^{0,3} (C_{\text{НО}}^{\text{анок}})^{0,12} \cdot 1,072^{T-15} \quad (5)$$

где  $L_{\text{уд}}$  – соотношение БПК<sub>5</sub> к количеству денитрифицированного азота  $G_{\text{Нд}}$ , свидетельствующее об обеспеченности процесса органическим субстратом (удельная нагрузка по органическому веществу), г/г;  $C_{\text{NO}_3}$  – концентрация азота нитратов в аноксидном отсеке, мг/л;  $R_N$  – кратность рециркуляции нитратного потока;  $C_{\text{НО}}^{\text{анок}}$  – концентрация азота нитратов на выходе из аноксидной зоны, мг/л.

Множитель  $C_{\text{NO}_3} R_N$  равен количеству денитрифицированного азота  $G_{\text{Нд}}$ .

3. Объем аэробного блока (нитрификатора)  $W_H$ ,  $m^3$ , определяется по формуле

$$W_H = \frac{Q_{CP} \cdot C_{NH_4}}{r_H} \quad (6)$$

где  $C_{NH_4}$  – концентрация нитрифицируемого азота в оксидном отсеке, мг/л;

$r_H$  – объемная скорость нитрификации, г/( $m^3 \cdot ч$ ).

При повышенных дозах ила объемная скорость нитрификации (окислительная мощность)  $r_H$ , г/( $m^3 \cdot ч$ ), в аэробной зоне определяется по формуле:

$$r_H = 1,74 \left( \frac{C_{NH_4}^{ex}}{0,55} \right)^{0,25} \left( \frac{C_N^{en}}{20} \right)^{0,5} \left( \frac{a_i}{2} \right)^{0,48} \cdot 1,072^{T-15} \quad (7)$$

где  $C_{NH_4}^{ex}$  – концентрация азота аммонийного на выходе установки, мг/л;  $C_N^{en}$  – концентрация азота общего на входе установки, мг/л;  $a_i$  – концентрация активного ила в аэробной зоне, г/л.

4. Объем отстойника-ферментатора (усреднителя) рассчитывается по СНиП 2.04.03-85, либо принимается равным объему анаэробного блока. Объем мембранного отсека определяется размером мембранных блоков и их количеством или принимается равным объему аэробного блока.

5. Объем мембранного блока рассчитывается с учетом требуемых габаритов мембранного модуля или принимается равным объему аэробного блока, при удельной производительности от 20 до 30 л/( $m^2 \cdot ч$ ). Увеличение удельного расхода приводит к более быстрому засорению мембран.

Графики зависимости объемов типоразмерного ряда установок очистки сточных вод и отдельных блоков от производительности, для различных концентраций активного ила представлены на рисунках 2 и 3.

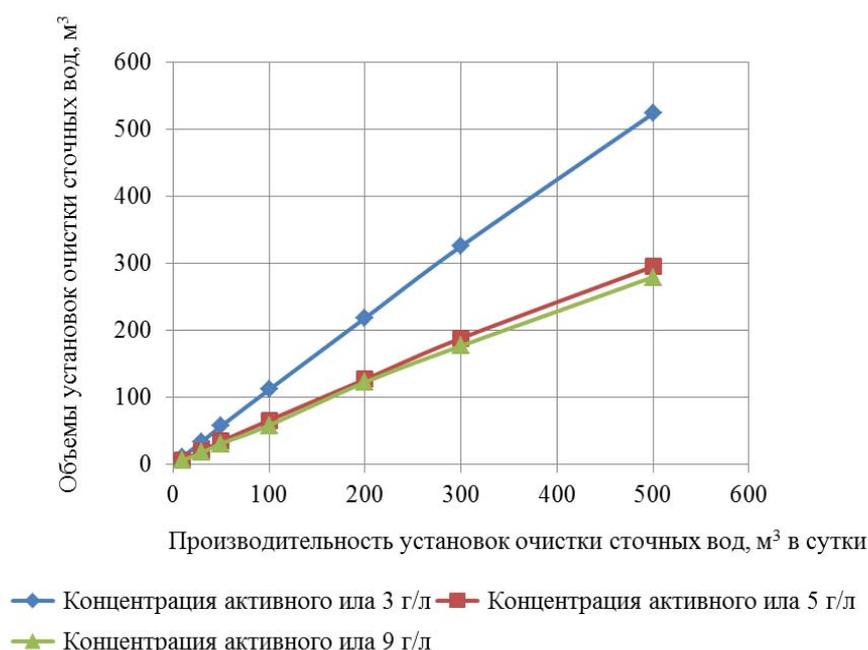


Рисунок 2 – Расчетные объемы типоразмерного ряда установок очистки сточных вод, для различных концентраций активного ила

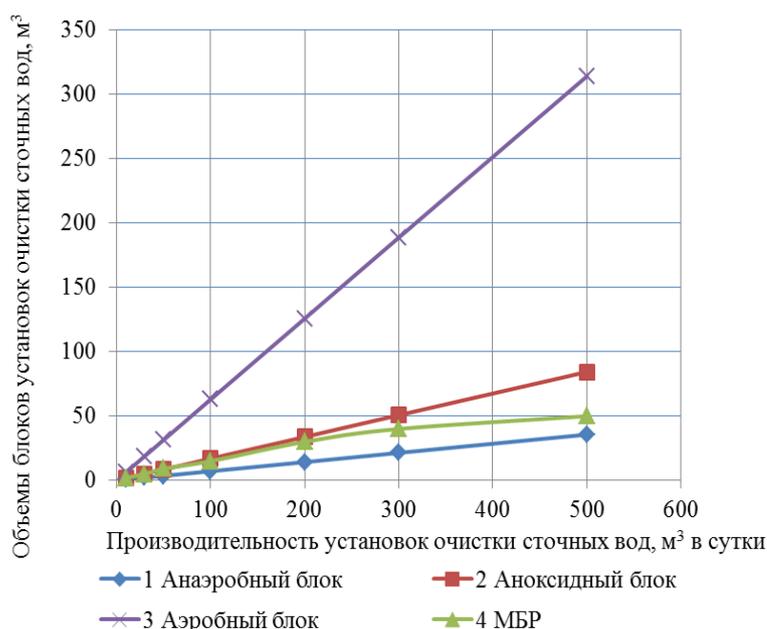


Рисунок 3 – Расчетные объемы отдельных блоков типоразмерного ряда установок очистки сточных вод, для различных концентраций активного ила

Расчет апробирован для установок производительностью до 500 м<sup>3</sup>/сут. По результатам исследований был выбран типоразмерный ряд установок очистки сточных вод с рабочей концентрацией активного ила 5 г/л.

Объемы и габариты установок очистки сточных вод с учетом увеличения объемов на 25 % (поправка на качку) приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Объемы и габариты установок очистки сточных вод с рабочей концентрацией активного ила 5 г/л

Производительность установки очистки сточных вод, м <sup>3</sup> в сутки	Объем блоков установки очистки сточных вод, м <sup>3</sup>				Габариты установки очистки сточных, м		
	Усреднитель	Блоки биологической очистки	МБР	Все блоки	Длина	Ширина	Высота
10	1	4,52	2	7,52	2,5	1,5	2
30	3	13,58	5	21,6	7,2	1,5	2
50	5	22,59	9	36,6	7,3	2,5	2
100	10	45,2	10	65,2	13	2,5	2

По результатам выполненных расчетов определено, что увеличение дозы активного ила в 2 раза (5 г/л) позволяет уменьшать в 1,5 раза габаритные характеристики очистных сооружений, при этом увеличение дозы активного ила более чем в 3 раза (свыше 8 г/л) не целесообразно.

Основными причинами нарушения работы установок биологической очистки на судах является нестабильность качественного состава очищаемой

сточной воды. Предлагаемая установка обеспечивает высокую стабильность процессов нитрификации в условиях залповых выбросов высокоцентрированных сточных вод, что является преимуществом по сравнению с установками биологической очистки, где применяется илоразделение на вторичных отстойниках.

В результате проведенной оценки судовых установок очистки сточных вод в качестве базы для сравнения по основным показателям была выбрана установка DVZ-SKA «BIOMASTER» – с мембранным блоком, имеющая наименьшие габаритные характеристики.

#### 4. Разработан и испытан опытно-промышленный образец установки глубокой биологической очистки сточных вод с мембранно-биологическим реактором для морских объектов и для судов.

Принципиальная схема установки очистки сточных вод для морских объектов и для судов представлена на рисунке 4. Для проведения обеспечения автоматизированной работы установки и мембранного блока был разработан алгоритм системы управления установкой и реализован на микропроцессорной технологии фирмы FASTWEL.

Отдельно разработан и испытан алгоритм работы насоса промывки мембранного блока, включающий два режима: режим промывки, активизирующийся автоматически при достижении разряжения на датчике давления 0,7 бар и отключающийся, при давлении 0,2 бар.

Приведены результаты исследований по подбору типов мембран и определению режима их работы в составе экспериментального комплекса и проведено исследование поведения мембран при воздействии отрицательных температур. Разработаны программы и методики лабораторных исследований и методика расчета блоков установки очистки сточных вод. Произведен расчет на вибрацию и ударостойкость установки.

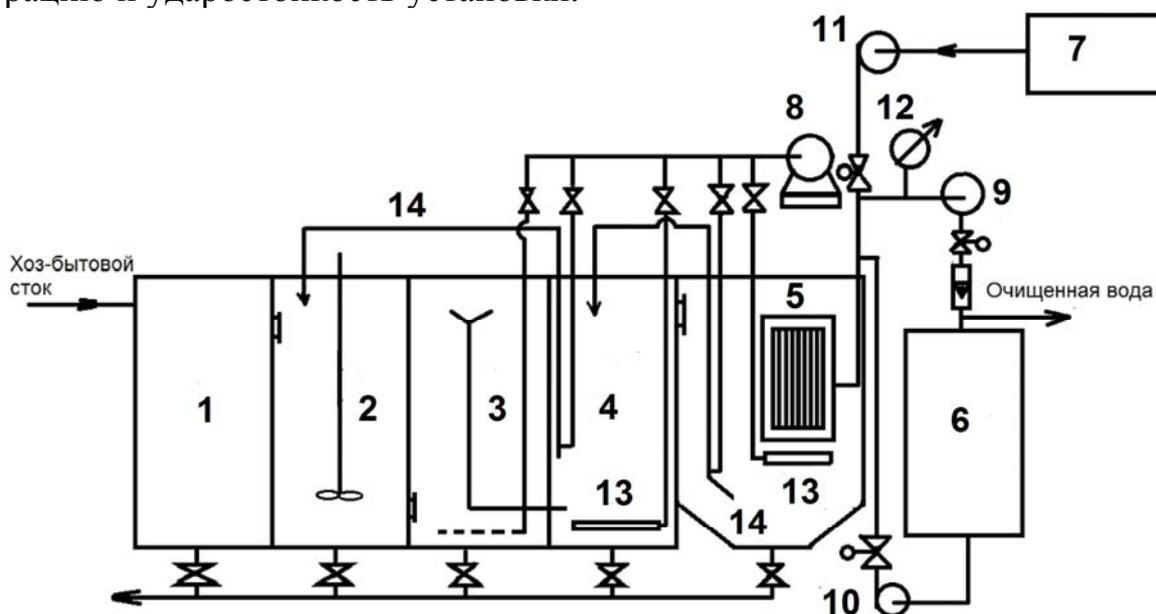


Рисунок 4 – Технологическая схема установки очистки сточных вод с МБР: 1 – усреднитель; 2 – анаэробный блок; 3 – аноксидный блок; 4 – оксидный блок; 5 – блок мембранной фильтрации; 6 – емкость накопления очищенной воды (пермеата) для промывки мембран; 7 – емкость для хранения реагента для химической промывки мембран; 8 – компрессор подачи воздуха; 9 – самовсасывающий насос; 10 – насос обратной промывки мембран; 11 – насос подачи химреагента; 12 – вакуумметр; 13 – мелкопузырчатый аэратор; 14 – эрлифты

Испытания проводились на двух опытных установках производительностью до 10 м<sup>3</sup>/сутки. Показатели очистки сточных вод, полученные после выхода на рабочий режим установок представлены в таблице 7 и 8.

Таблица 7 – Показатели очистки сточных вод, полученные на установке с МБР, после ее выхода на рабочий режим

Номер пробы	Сток	рН, ед. рН	Взв-ые вещества, мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>5</sub> , мг/л	N-NH <sub>4</sub> , мг/л	N-NO <sub>3</sub> , мг/л	P-PO <sub>4</sub> , мг/л
1	Поступающий	7,3	210	440	160	29	0,23	3,1
	Очищенный	7,5	5,0	24	2,0	2,4	7,6	0,15
2	Поступающий	7,5	200	340	140	28	0,25	2,7
	Очищенный	7,3	5,0	24	1,4	3,4	12	0,21
3	Поступающий	7,4	400	440	130	27	0,29	2,6
	Очищенный	7,4	5,0	31	1,8	1,6	12	0,51
4	Поступающий	7,5	160	300	100	20	0,20	1,9
	Очищенный	7,3	6,1	13	2,6	1,9	12	0,27
5	Поступающий	7,5	210	380	170	24	0,20	2,9
	Очищенный	7,2	5,0	24	6,0	1,8	7,7	0,96
	Очищенный	7,6	5,0	20	1,9	6,7	2,3	1,4
7	Поступающий	7,4	240	450	180	26	0,18	3,4
	Очищенный	7,3	5,0	21	1,2	4,0	3,9	0,65

Таблица 8 – Показатели очистки сточных вод, полученные на установке с вторичным отстойником, после ее выхода на рабочий режим

Номер пробы	Сток	рН, ед. рН	Взв-ые вещества, мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>5</sub> , мг/л	N-NH <sub>4</sub> , мг/л	N-NO <sub>3</sub> , мг/л	P-PO <sub>4</sub> , мг/л
1	Поступающий	7,1	440	490	170	15	1,2	1,3
	Очищенный	7,3	10	36	2,2	0,52	10	<0,1
2	Поступающий	7,3	240	390	160	21	0,58	1,8
	Очищенный	7,4	5	29	1,6	2,2	9,8	0,2
3	Поступающий	7,3	140	350	130	31	0,40	2,8
	Очищенный	7,5	10	46	3,6	14	3,3	0,17
4	Поступающий	7,1	180	300	-	22	0,54	2
	Очищенный	7,5	6,5	65	-	13	6,5	0,98
5	Поступающий	7,2	180	310	140	28	0,27	2,3
	Очищенный	6,8	5	36	2,9	5,1	10	0,74
6	Поступающий	7,1	440	700	-	37	0,22	3,1
	Очищенный	7,2	6,9	31	-	3,9	11	0,15
7	Поступающий	7,2	78	230	-	26	0,4	3,4
	Очищенный	7,3	7,8	36	-	6,7	8,2	0,14

В первой установке (см. таблица 7) применена предлагаемая технологическая схема биологической очистки с блоком мембранной фильтрации. Во второй установке (см. таблица 8) реализована схема биологической очистки с тонкослойным модулем, и химическим удалением фосфора с использованием

железосодержащего коагулянта. Результаты эксперимента показали, что в целом получены более высокие показатели очистки сточных вод на установке с МБР. Сравнительные показатели очищенной воды, полученные в установке с МБР и в установке с вторичным отстойником приведены в таблице 9.

Меньший разброс показателей очистки сточных вод для установки с МБР свидетельствует, что данная технология обеспечивает более стабильное качество очистки, а из среднего значения ХПК можно сделать вывод, что для нее также характерна более высокая эффективность очистки по трудноокисляемым веществам. Кроме того, стоит отметить высокую степень удаления фосфора без использования химических реагентов. Достигнуты показатели очищенной воды до нормативов сброса в водные объекты культурно-бытового назначения и Резолюции МЭРС.159(55).

В ходе испытаний оценивалась пропускная способность мембран, для чего ежедневно проводилось измерение удельного расхода пермеата, соответствующие данные представлены на рисунке 5.

Таблица 9 – Сравнение показателей очищенной воды и средняя эффективность очистки, полученные в установке с МБР и в установке с вторичным отстойником

Показатель очистки	Установка с МБР	Установка с вторичным отстойником
Доза активного ила, мг/л	5000-7000	2000-3000
Продолжительность пребывания сточной воды, ч	10,5	19
Средние показатели очищенной воды		
Взвешенные вещества, мг/л	5,6	7,3
ХПК, мг/л	21	40
БПК <sub>5</sub> , мг/л	2,5	2,6
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	2,9	6,5
N-NH <sub>3</sub> , мг/л	7,8	8,4
P-PO <sub>4</sub> , мг/л	0,47 (без реагента)	0,35 (с реагентом)
Значения за период испытаний (минимальное – максимальное)		
Взвешенные вещества, мг/л	5,0-6,1	5-33
ХПК, мг/л	10-31	29-65
БПК <sub>5</sub> , мг/л	1,2-3,3	1,6-3,6
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	1,6-3,4	0,52-14,0
N-NH <sub>3</sub> , мг/л	2,3-12	3,3-11
P-PO <sub>4</sub> , мг/л	0,15-0,98	0,1-0,98
Средняя эффективность очистки, %		
Взвешенные вещества, мг/л	97	95,8
ХПК, мг/л	94,7	91,2
БПК <sub>5</sub> , мг/л	98,3	98,2
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	86,7	75,3
P-PO <sub>4</sub> , мг/л	82,1	83,8

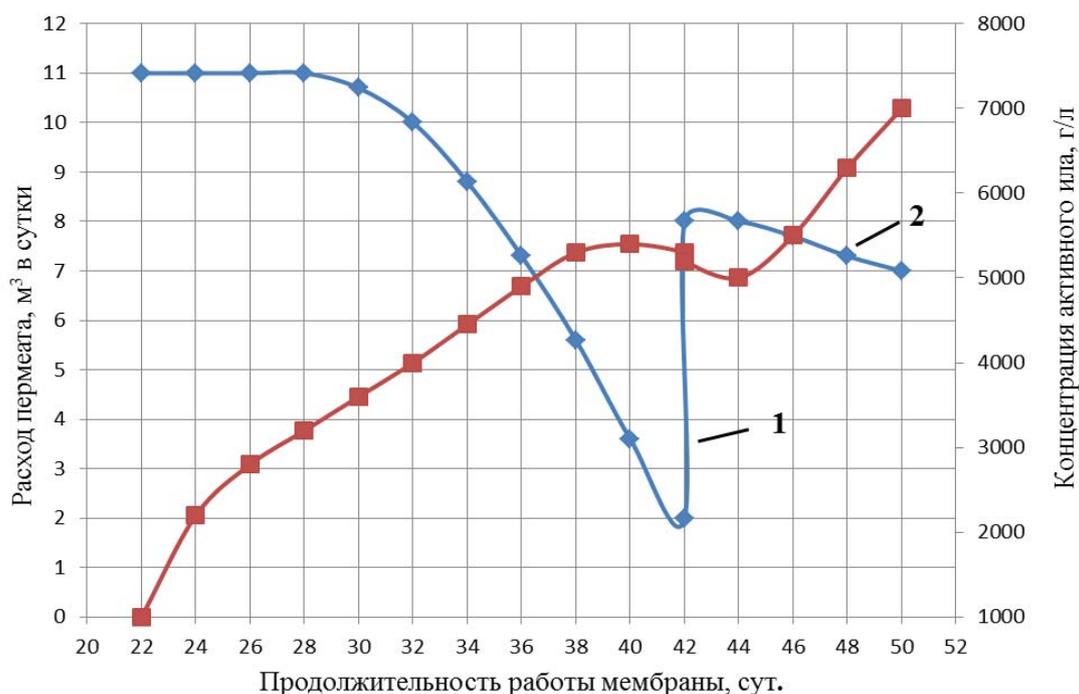


Рисунок 5 – Зависимость от времени работы мембран:  
1 – удельного расхода пермеата; 2 – концентрации активного ила

При достижении предельно допустимого минимального значения расхода пермеата производилась химическая регенерация мембран, позволившая восстановить пропускную способность мембран до 70 % по сравнению со значением, характерным для новых мембран. Для настройки оптимальных режимов обратной и химической промывки МБР использовался разработанный алгоритм автоматического управления временем и частотой обратной промывки по постоянно измеряемому значению трансмембранного давления.

Был исследован вопрос об устойчивости мембран относительно возможных перерывов в работе биореактора. Испытания показали, что установленные в биореакторе полволоконные мембраны из поливинилиденфторида после консервации установки на зимний период, в течение которого она находилась в неотапливаемом контейнере, остались целыми и не потеряли своих рабочих свойств.

Было установлено, что мембранное разделение, являясь элементом технологической цепи биологических сооружений, существенно влияет на параметры биоценоза в процессе очистки (возраст и концентрацию активного ила). Была определена оптимальная концентрация активного ила – от 5 до 7 г на литр. Это позволило уменьшать размеры очистных сооружений в 1,5-2 раза.

Результаты испытаний показали возможность использования полволоконных мембран в условиях, требующих консервации очистных сооружений при отрицательных температурах.

Расчетная стоимость установки очистки сточных вод, устанавливаемых на нефтегазодобывающих платформах в комплекте с ЗИП и сопроводительной до-

кументацией составляет 5 млн руб., что в среднем на 40 % ниже стоимости зарубежных установок для обработки судовых сточных вод типа Omnipure ISMX MP.

**5. Разработан и экспериментально проверен усовершенствованный метод УФ обеззараживания сточных вод с использованием индуктивного поля токов высокой частоты.**

Выполненные экспериментальные исследования позволили апробировать новую технологию обеззараживания сточных вод, разработать и испытать узел обеззараживания, основанный на усовершенствованном методе УФ обеззараживания. В работе экспериментально, на собранной для этого установке (рисунок 6), проверена предложенная технология УФ обеззараживания воды с использованием токов высокой частоты. Данные эксперимента приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Данные о режимах работы устройства и результатах анализа воды

Номер пробы	Газ	Расход, л/мин	Мощность, Вт	Виды бактерий		Кратность уменьшения	
				ОКБ	ТКБ	ОКБ	ТКБ
	Исходная концентрация ОКБ и ТКБ в воде			20208	13100		
1	Воздух	2	120	255	138	79	94

Продолжение таблицы 10

2	Ксенон	2	150	164	100	123	131
3	Ксенон	2	100	355	245	57	53
4	Ксенон	2	80	382	291	53	45
5	Воздух	1	100	318	227	64	57

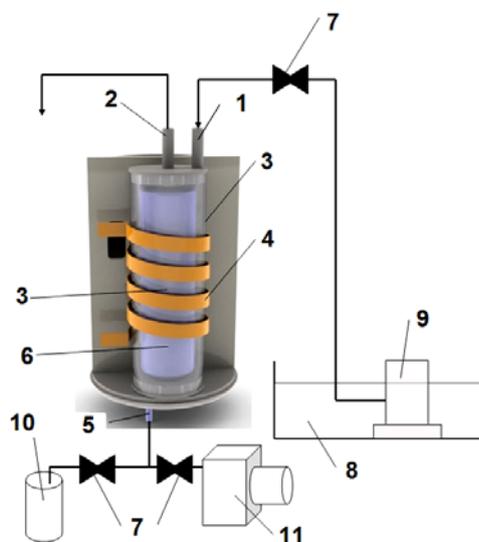


Рисунок 6 – Внешний вид (слева) и схема (справа) установки для проведения испытаний опытного образца устройства генератора УФИ на основе тороидной колбы: 1 – вход воды; 2– выход воды; 3 – корпус; 4 –индуктор; 5 – штуцер откачки; 6 – тороидная колба; 7 – штуцер для откачки газа; 8 – обрабатываемая вода; 9 – погружной насос; 10– баллон с ксеноном; 11 – форвакуумный насос

**6. Разработан и экспериментально проверен усовершенствованный метод электроочистки и обеззараживания зернистой загрузки с использованием низкого напряжения.**

Результаты экспериментов, проведенных с технологией электроудержания как физического метода обеззараживания воды, показали, что она может быть использована в качестве безреагентной технологии обеззараживания при малых объемах очистки. В настоящее время технология электроудержания применяется в промышленных электросорбционных аппаратах, производительностью от 1-50 м<sup>3</sup> в сутки.

Показано, что увеличение производительности технологии электроудержания, в первую очередь зависит от степени использования рабочей поверхности загрузки. Электростатическое взаимодействие примесей с поляризованным зарядом  $q$ , Кл, материала загрузки описывается зависимостью:

$$q = \frac{\epsilon E}{4\pi} \quad (10)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля, Н/Кл;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

Было установлено, что основная часть поверхности гранул загрузки в силу слабого электрического заряда не активно сорбирует клетки микроорганизмов, а десорбция микроорганизмов с сильно заряженных участков происходит не полностью. Устранение этого недостатка было предложено путем рассеивания электрического поля высокой концентрации, образующегося в местах соприкосновения гранул загрузки. Такое рассеяние было выполнено с помощью нанесения покрытия на гранулы загрузки из сополимер стирола с дивинилбензолом. Использование в качестве загрузки титаната бария ( $BaTiO_3$ ) с нанесенным полимерным покрытием со значением диэлектрической проницаемостью, близкой к используемой загрузке (1250–10 000) позволило улучшить на 30 % восстановительную способность загрузки. Результаты экспериментальных исследований на макете установки обеззараживания сточных вод (см. рисунок 7) приведены в таблице 11.

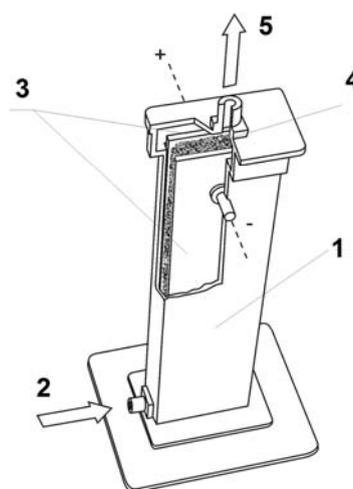


Рисунок 7 – Внешний вид (слева) и схема (справа) экспериментального макета установки обеззараживания сточных вод: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – электроды; 4 – загрузка; 5 – выходной патрубок

Таблица 11 – Зависимость десорбции микробных клеток от покрытия гранул сегнетоэлектрика полимерной пленкой

Электросорбционная керамическая загрузка	Концентрация микроорганизмов в растворе до электросорбции, %	Концентрация сорбированных микроорганизмов на загрузке, %	Концентрация десорбированных микроорганизмов, %
BaTiO <sub>3</sub>	100	83,3	44,4
BaTiO <sub>3</sub> с полимерным покрытием	100	86,4	72,7

### III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе выполнения исследований были получены следующие результаты:

1. В диссертационной работе на основе выполненных исследований предложено новое технологическое решение актуальной научно-технической проблемы поиска и создания охраноспособных технических решений в области очистки и обеззараживания сточных вод на морских объектах в Арктике. Разработанный метод поиска позволяет максимально эффективно использовать как вновь создаваемые, так и существующие результаты интеллектуальной деятельности при разработке новых технических средств и методов.

2. Проведен обзор и изучен опыт эксплуатации существующих судовых и береговых установок очистки малой производительности, произведена их типизация и впервые разработаны специальные технические условия для систем очистки и обеззараживания сточных вод для морских сооружений. Изучены вопросы по уменьшению массо-габаритных характеристик установок очистки сточных вод, отказ от использования химических реагентов, учета неравномерности потока, вибрации и качки.

3. Обосновано и рекомендовано два направления развития систем водочистки для оффшорных сооружений:

- создание комбинации плавсредств с использованием современных малогабаритных и эффективных систем очистки стоков и систем водоподготовки как новое направление в судостроении – суда жизнеобеспечения

- развитие новых средств и методов дообработки непосредственно на морских сооружениях и судах.

4. Впервые применен метод создания новых охраноспособных технических решений на основе использования структуры международной патентной классификации для разработки технических решений:

- технологии с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором;

- опытно-промышленного образца компактной автоматизированной безреагентной комбинированной системы глубокой очистки сточных вод для морских объектов в Арктике (на примере нефтегазодобывающих платформ);

- узла микрофльтрации системы очистки сточных вод;

- усовершенствованного способа ультрафиолетового обеззараживания с использованием индуктивного поля токов высокой частоты;

– усовершенствованного метода электроочистки сточных вод с использованием низкого напряжения;

– предложены варианты конструкций узлов обеззараживания.

5. Впервые изучен вопрос использования предлагаемой технологии мембранно-биологической очистки в сочетании с глубокой биологической очисткой по трехзонной схеме анаэробно-аноксидно-оксидной обработке для морских объектов.

6. Предложена комплексная методика для расчета типоразмерного ряда установок с анаэробно-аноксидно-оксидной обработкой сточных вод, с отстойником-ферментатором и мембранно-биологическим реактором.

7. Проведены испытания опытного образца системы глубокой биологической очистки сточных вод с биологическим блоком анаэробно-аноксидно-оксидной обработки, отстойником-ферментатором, мембранно-биологическим реактором и узлами обеззараживания.

8. Экспериментально определены типы и режимы работы мембран в составе биологического блока опытного образца, исследована возможность применения мембран при воздействии отрицательных температур.

9. Экспериментально установлены оптимальные концентрации активного ила в МБР типоразмерного ряда систем очистки сточных вод для морских сооружений.

10. Проведено технико-экономическое обоснование разработки и использования предложенной системы очистки сточных вод для морских объектов.

#### **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации**

1. Мурашев С.В. Расчет установок малой производительности для биологической очистки сточных вод с мембранной фильтрацией [Текст] / Б.Г. Мишуков, С.В. Мурашев, // Водоснабжение и санитарная техника – 2017. – № 1 – С.47-51 (0,31 п. л. /0,15 п. л.).

2. Мурашев С.В. Опыт апробации технологии очистки сточных вод на базе мембранного биологического реактора на очистных сооружениях малой производительности [Текст] / С.В. Мурашев, Е.В. Соловьева, Н.К. Шилова // Водоснабжение и санитарная техника – 2016. – № 2 – С.52-57 (0,37 п. л. /0,12 п. л.).

3. Мурашев С.В. Водоподготовка и очистка сточных вод для морских и прибрежных объектов в условиях арктического климата [Текст] / С.В. Мурашев // Водоснабжение и санитарная техника – 2016. – № 3 – с. 51-56 (0,38 п. л.).

4. Мурашев С.В. Инновационный метод организации создания и разработки новых технических и технологических решений [Текст] / С.В. Мурашев // Успехи современной науки – 2016. – Том 1 – № 2. с. 119 – 125 (0,3 п. л.).

5. Мурашев С.В. Основные подходы к формированию политики государственного регулирования трансфера технологий [Текст] / С.В. Мурашев, К.М. Ромодин // Научное мнение – 2013. – № 5 – С.23-28 (0,37 п. л. /0,19 п. л.).

6. Мурашев С.В. Интеллектуальный капитал компании, как показатель ее эффективности [Текст] / Ю.А. Трухин, С.В. Мурашев // Водоснабжение и санитарная техника – 2008. – № 9 – С.48-55. (0,5 п. л. /0,25 п. л.).

7. Пат. 2537611 Российская Федерация МПК С02F9/14, С02F3/30, С02F1/44, С02F103/20 Установка очистки хозяйственно-бытовых сточных вод [Текст] / Трухин Ю.А., Васильев Б.В., Шилова Н.К., Мурашев С.В., Ромодин К.М., Ильичев С.В.; заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации – № 2012134592; заявл. 14.08.12; опубл. 10.01.15, Бюл. № 1. – 10 с.

8. Пат. 2603372 Российская Федерация МПК С02F1/46, В03С5/00 Способ электроочистки и обеззараживания загрязненных жидкостей, [Текст] / Мурашев С.В., Степанов В.В.; заявитель и патентообладатель Мурашев С.В. – № 2014150677; заявл. 15.12.2014; опубл. 27.11.16, Бюл. № 22. – 9 с.

9. Пат. 2499770 Российская Федерация МПК С02F1/28, В01J20/34 Фильтр для очистки воды на основе активированного угля и способ его регенерации [Текст] / Кармазинов Ф.В, Кинебас А.К., Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Е.И.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» – № 2011139630; заявл. 30.09.11; опубл. 10.04.13, Бюл. № 33. – 8 с.

10. Пат. 119736 Российская Федерация МПК С02F1/32 Устройство для обеззараживания водных сред [Текст] / Кинебас А.К., Трухин Ю.А., Шилов С.А., Мурашев С.В., Петров Н.И., Ильичев С.В; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2012108035; заявл. 05.03.12; опубл. 27.08.12, Бюл. № 24. – 2 с.

11. Пат. 131712 Российская Федерация МПК С02F1/00, В63J4/00 Мобильный водоочистной комплекс [Текст] / Ипатко М.Н., Мельник Е.А., Ким А.Н., Мурашев С.В., Шилов С.А.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», – № 2011126058; заявл. 20.06.11; опубл. 27.08.13, Бюл. № 24. – 2 с.

12. Пат. 2472688 Российская Федерация МПК В65D88/00 Резервуар для хранения питьевой воды [Текст] / Кармазинов Ф.В., Кинебас А.К., Мельник Е.А., Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Е.Н.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2011126059; заявл. 20.06.11; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2. – 8 с.

13. Пат. 2467955 Российская Федерация МПК С02F1/28, В01D63/00 Устройство для обработки жидкости [Текст] Кинебас А.К., Мельник Е.А., Нефедова Е.Д., Гвоздев В.А., Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Н.И., Форопонов А.А.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2011112289; заявл. 30.03.11; опубл. 27.11.12, Бюл. № 33. – 6 с.

14. Пат. 2471722 Российская Федерация МПК С02F1/78 Устройство для очистки и обеззараживания водных сред [Текст] Кинебас А.К., Мельник Е.А.,

Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Н.И., Форопонов А.А.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2011112288; заявл. 30.03.11; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1. – 8 с.

15. Пат. 2472712 Российская Федерация МПК C02F1/32 Устройство для обеззараживания воды [Текст] Кармазинов Ф.В., Кинебас А.К., Ипатко М.Н., Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Н.И., Ромодин К.М.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2011111210; заявл. 24.03.11; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2. – 7 с.

16. Пат. 2472574 Российская Федерация МПК B01D63/00, B01D65/02 Устройство для очистки и обеззараживания воды [Текст] Кармазинов Ф.В., Кинебас А.К., Трухин Ю.А., Мурашев С.В., Петров Е.Н., Форопонов А.А.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Аквапатент» – № 2011112272; заявл. 30.03.11; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2. – 8 с.

17. Пат. 2568991 Российская Федерация МПК C02F1/32, A61L2/10 Устройство обеззараживания воды [Текст] Кинебас А.К., Трухин Ю.А., Курганов Ю.А., Мурашев С.В., Ильичев С.В., Степанов В.В.; заявитель и патентообладатель ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» – № 2013156801; заявл. 20.12.13; опубл. 20.11.15, Бюл. № 32. – 4 с.

#### **Публикации в других изданиях**

18. Мурашев С.В. Новые системы водоподготовки и водоочистки в условиях Арктики / А.Н. Ким, С.В. Мурашев, //Производственно-технический и научно-практический журнал Водоочистка Водоподготовка Водоснабжение – 2017. – № 2 (110) – С.32–36 (0,31 п. л./0,55 п. л.).

19. Мурашев С.В. Совершенствование способа электроудержания при очистке питьевой и сточной воды / С.В. Мурашев, А.Н. Ким //Международная конференция «Инновационные системы отведения и очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий», 13-14 ноября 2014 – г. Петрозаводск, 2014 – С.68–71 (0,25 п. л./0,08 п. л.).

20. Мурашев С.В. Дообработка водопроводной воды на фильтрах с сорбционной загрузкой, модифицированной фуллеренами / А.Н. Ким, С.В. Мурашев, Н.А. Грун //Материалы конференции, посвященной памяти академика РАН и РААСН Сергея Васильевича Яковлева – СПб., 2010. – С.68–81 (0,4 п. л./0,2 п. л.).

21. Мурашев С.В. Патентные исследования как инструмент интеллектуальной собственности / С.В. Мурашев, В.В. Степанов, К.М. Ромодин // Международный журнал Трубопроводная арматура и оборудование – 2011. – № 1(52) – С.92 (0,06 п. л./0,02 п. л.).

22. Мурашев С.В. Правовая охрана конструкторской документации / С. В. Мурашев, К.М. Ромодин, В.В. Степанов //ТПА Экспресс – 2012. – № 1 (05) – С.7 (0,06 п. л./0,02 п. л.).

23. Мурашев С.В. Регламент ноу-хау / Ю.А. Трухин, В.В. Степанов, С.В. Мурашев, К.М. Ромодин // СПб: Лема, 2010, 156 с. (9,75 п. л./2,44 п. л.).

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 05.07.2017. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,6. Тираж 100 экз. Заказ 60. «С» 41.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 5/8, лит. А.