

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

*На правах рукописи*

**ГРАФОВА**  
**Елена Олеговна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ  
ЗАГОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

05.23.04 – Водоснабжение, канализация,  
строительные системы охраны водных ресурсов

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2008

Работа выполнена на кафедре  
«Водоснабжения, водоотведения и гидравлики»  
ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»  
и в научно-производственной фирме «Чистая вода»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
Аюкаев Ренат Исакович  
**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
Ким Аркадий Николаевич  
кандидат технических наук, доцент  
Протасовский Евгений Михайлович  
**Ведущая организация** ЗАО «ПИ «Ленинградский водоканал-  
проект»

Защита состоится 01 июля 2008 года в 13-00 на заседании диссертационного совета Д.212.223.06 при Санкт-Петербургском архитектурно-строительном университете по адресу: 198005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, ауд. 206  
Тел./факс: (812) 316 58 72

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета.  
Автореферат диссертации размещен на официальном сайте ГОУ ВПО «Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета» ([www.spbgasu.ru](http://www.spbgasu.ru))

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью предприятия, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан 30 мая 2008 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

В. В. Дерюгин  
к.т.н., профессор

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Переход России к рыночной экономике дал толчок частной инициативе – стали создаваться малые и средние предприятия пищевой промышленности, по производству продуктов повседневного спроса, базы отдыха, кемпинги, коттеджные застройки на загородных территориях; вдоль автомобильных междугородных трасс появились в достаточном количестве автозаправочные станции и кафетерии. Загородное размещение заметно влияет на обустройство системами водопровода и канализации новых видов производств и объектов придорожного сервиса, при этом более ощутимы экологические последствия функционирования таких объектов.

Диссертация посвящена изысканию, научному обоснованию и обобщению производственного опыта реализации эффективных технологий и конструктивных решений водоочистных сооружений для объектов загородного размещения. Акцент сделан на очистке и доочистке сточных вод различной природы на медленных фильтрах и скорых фильтрах «сухого» фильтрования.

Водоочистные комплексы загородного размещения, рассмотренные в диссертации, построены вновь или реконструированы, введены в эксплуатацию и приняты на сервисное обслуживание при непосредственном участии автора. Диссертационные исследования проведены по программе научно-исследовательских и внедренческих работ кафедры водоснабжения, водоотведения и гидравлики Петрозаводского государственного университета.

**Цель и задачи исследований.** Адаптировать известные, разработать и обосновать новые решения по оптимизации систем водоснабжения и водоотведения с учетом особенностей загородных объектов.

В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие задачи исследований:

- ▲ проанализировать состояние и перспективы оснащения инженерными системами водоснабжения и водоотведения, сервисного обслуживания загородных объектов;

- ▲ провести исследование нормативной базы для проектирования систем водоснабжения и водоотведения загородных объектов;
- ▲ исследовать технологию многоступенчатого медленного фильтрования и адаптировать ее применительно к загородным объектам;
- ▲ разработать и исследовать технологию многокасетного «сухого» фильтрования применительно к загородным объектам;
- ▲ обобщить опыт проектирования, строительства и реконструкции, штатной эксплуатации и сервисного обслуживания загородных систем водоснабжения и водоотведения;
- ▲ выбрать и обосновать методики оценки экологических последствий от функционирования загородных объектов.

#### ***Научная новизна:***

- ▲ исследованы закономерности, разработаны новые и адаптированы известные конструктивные решения многоступенчатых медленных фильтров для очистки оборотных вод автомоек, хозяйственно-бытовых и дождевых стоков загородных объектов;
- ▲ разработана и исследована технология многокасетного «сухого» фильтрования применительно к доочистке оборотных вод автомоек, дождевых и хозяйственно-бытовых стоков загородных объектов;
- ▲ создана математическая модель и на её основе проанализированы возможности процесса многокасетного «сухого» фильтрования, созданы блок-схема и программа расчета многокасетных «сухих» фильтров;
- ▲ предложено использовать метод растительной биоиндикации для оценки экологической ситуации в зоне размещения загородных объектов.

#### ***Практическая значимость работы:***

- ▲ откорректированы расчетные параметры систем водоснабжения и водоотведения ряда категорий загородных объектов;

- ▲ предложены конструктивные и расчетные параметры многоступенчатых медленных фильтров для очистки оборотных вод автомоек, доочистке хозяйственно-бытовых и дождевых стоков загородных объектов;
- ▲ предложены конструктивные и расчетные параметры «сухих» многокассетных фильтров по очистке оборотных вод автомоек, доочистке хозяйственно-бытовых и дождевых стоков загородных объектов;
- ▲ предложено и обосновано использование в качестве загрузки «сухих» многокассетных фильтров местного сорбционного материала органического происхождения — модифицированного торфа;
- ▲ на примере более 15 построенных или реконструированных с участием диссертанта загородных водохозяйственных объектов проработаны и обобщены инженерно-технические, организационно-правовые, финансово-экономические аспекты их проектирования, строительства, эксплуатации и сервисного обслуживания.

**Реализация результатов работ.** По материалам диссертационных разработок запроектированы, построены, реконструированы, приняты на сервисное обслуживание более 15 водоочистных комплексов загородных объектов на территории Республики Карелия, в том числе на автозаправочных станциях (АЗС) в Питкярантском, Кондопожском, Сортавальском, Прионежском районах, базах отдыха под городами Петрозаводск, Сортавала, вблизи поселка Вяртсиля, конфетной фабрике под г. Обнинском Калужской области и масложировом заводе под Петрозаводском.

Рекомендации для проектирования систем водоснабжения и водоотведения загородных объектов переданы в проектные организации Петрозаводска, включены в учебные программы для 4–5 курсов специальности 2908 – Водоснабжение и водоотведение Петрозаводского государственного университета.

**Личный вклад автора состоит:**

- ▲ в постановке цели и задач диссертационных исследований, выборе и обосновании методик и оборудования для прове-

дения экспериментов и методов контроля эффективности работы водоочистных сооружений;

- ▲ в разработке технологии, обосновании и конструктивном оформлении сооружений многоступенчатого медленного и многокассетного «сухого» фильтрования и их комплексного использования с учетом загородного размещения объектов водоотведения;
- ▲ в постановке прикладной задачи, построении и анализе математической модели многокассетного «сухого» фильтрования, разработке блок-схемы и программы расчета фильтра;
- ▲ в организации, проведении и обобщении опыта работ по строительству и реконструкции водохозяйственных комплексов загородных объектов с использованием результатов диссертационных разработок;
- ▲ в организации, проведении и обобщении опыта сервисного обслуживания построенных или реконструированных загородных водохозяйственных объектов;
- ▲ в выборе и обосновании методик и проведении экспериментальной оценки экологических последствий от обустройства загородных объектов системами водоснабжения и водоотведения.

***Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций*** подтверждается сходимостью результатов лабораторных исследований с результатами работы производственных сооружений, применением аккредитованных методик определения параметров изучаемых процессов, аттестованных приборов, экспертных заключений государственных санитарных и природоохранных служб. Математическое моделирование процесса многокассетного «сухого» фильтрования выполнено с использованием классической теории массообменных и тепловых процессов в гетерогенных системах. Состоятельность отработанных диссертантом организационных, производственных и финансовых инструментов сервисного обслуживания загородных водохозяйственных объектов проверена многолетней практикой работы без рекламаций и банкротств.

***На защиту выносятся:***

- ▲ результаты корректировки расчетных параметров хозяйственно-питьевого водоснабжения, хозяйственно-бытовой и дождевой канализации объектов загородного размещения;
- ▲ аналитический обзор опыта применения процессов медленного и «сухого» фильтрования при очистке природных и сточных вод;
- ▲ результаты экспериментальных исследований и производственного опыта применения многоступенчатого медленного фильтрования при очистке оборотных вод автомоек, дождевых и смеси производственных и хозяйственно-бытовых стоков масложирового завода загородного размещения;
- ▲ результаты экспериментальных исследований и производственного опыта применения многокассетного «сухого» фильтрования при очистке оборотных вод автомоек, дождевых и смеси производственных и хозяйственно-бытовых стоков масложирового завода загородного размещения;
- ▲ анализ и обобщение производственного опыта сервисного обслуживания большой группы построенных и реконструированных водохозяйственных сооружений загородного размещения;
- ▲ предложения по организации биомониторинга экологических последствий от обустройства системами водопровода и канализации объектов загородного размещения.

***Апробация работы и публикации.*** Основные положения диссертационной работы доложены на научно-практических конференциях преподавателей, аспирантов, студентов Петрозаводска, Санкт-Петербурга, Пензы, Вологды (2005-2008 гг.). По материалам диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 2 в изданиях рекомендованных ВАК.

***Объем и структура диссертации.*** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, приложений, изложена на 149 страницах текста, содержит 28 рисунков и 19 таблиц. Библиографический список содержит 141 наименование.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В главе 1* приведен анализ состояния и условий эксплуатации сооружений водопровода и водоотведения объектов загородного размещения. Дана оценка экологической ситуации вдоль авто-трасс вблизи АЗС и кафетериев в зависимости от степени их инженерного обустройства, организации служб сервисного обслуживания водохозяйственных систем.

Значительная часть объектов придорожного сервиса (АЗС, кемпинги, рестораны, кафетерии, гостиницы) построены заново в последние 5-12 лет. К сожалению, в подавляющем большинстве случаев системы водоотведения вновь построенных загородных объектов работают в проектном режиме только первые нескольких лет (иногда месяцев) эксплуатации. Среди множества причин такой удручающей ситуации можно выделить основные:

- ▲ непригодность к условиям загородного размещения, невысокая надежность, сложность эксплуатации, малая степень автоматизации водоочистных установок заводской готовности, запроектированных и построенных по технологиям возведения крупных сооружений;
- ▲ отсутствие должного контроля со стороны местных санитарных и природоохранных служб за соблюдением проектных режимов эксплуатации природоохранных комплексов, обеспечением нормативного качества очистки стоков;
- ▲ отсутствие службы сервисного обслуживания водохозяйственных сооружений специализированными предприятиями.

В диссертации анализируется каждое из указанных положений на примере работы более 15 загородных водохозяйственных объектов на территории Карелии. В обзоре рассмотрены вероятные причины расхождения нормативных и фактических расходов воды на нужды хозяйственно-питьевого водоснабжения объектов загородного размещения, отличий в составе и качестве загрязнений поверхностных вод с территорий загородных объектов.

Практика сервисного обслуживания множества водохозяйственных систем загородных объектов, располагаемых иногда в сотнях километров от городов, показала перспективность применения технологий и оборудования, относящихся к так назы-

ваемым «редко- и легкообслуживаемым». В этой связи проведен анализ перспектив применения сооружений, основанных на технологии медленного и «сухого» фильтрования. Рассмотрены методики интегральной оценки воздействия загородных производственных объектов на экологическую ситуацию в прилегающей местности.

По материалам первой главы сформулированы цели и задачи диссертационных исследований, определены методы и средства их решения.

*Во второй главе* представлены результаты исследований и корректировки норм проектирования систем водоснабжения и водоотведения загородных объектов в условиях Северо-запада России.

Кафедра Водоснабжения, водоотведения и гидравлики ПетрГУ в рамках хозяйственной деятельности НПФ «Чистая вода» провели реконструкцию или обустроили вновь системами водоснабжения и водоотведения более полутора десятков загородных объектов (рис. 1).

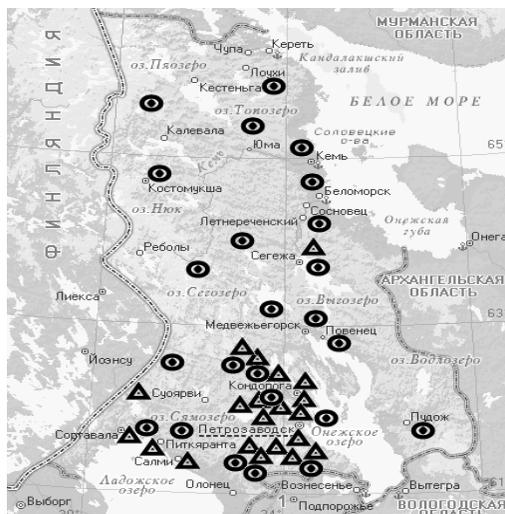


Рис. 1. Размещение на территории Карелии водохозяйственных объектов загородного размещения:

● – объекты НПФ «Чистая вода»; ▲ – объекты диссертанта

В подавляющем большинстве случаев фактические расходы воды оказывались существенно меньше нормативных.

С целью выяснения причин такого расхождения проведен хронометраж работы ряда загородных кафе. Фиксировались показатели, обозначенные в качестве расчетных в СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий». Результаты наблюдений подтверждают общую тенденцию снижения фактических расходов против рассчитанных по нормативам для городских условий. Так, хронометраж на одном из кафе при АЗС на автомагистрали «Кола» показал, что фактические расходы воды оказались в 10 раз меньше расчетных.

Не менее значимы отличия в условиях работы и систем водоотведения объектов загородного размещения. Загородные шоссе (автостреды) менее загрязнены нефтепродуктами, поскольку техническое состояние автомобилей и автобусов для междугородных и международных перевозок выглядит безупречным по сравнению с городскими грузовиками. Легковые автомобили на междугородные трассы также выходят в «подтянутом» состоянии. Существенно меньше вероятность внесения нефтепродуктов на территорию АЗС на колесах въезжающих автомобилей.

Концентрации взвешенных веществ в дождевых и талых стоках также существенно ниже, поскольку нет строительных площадок, разрытых участков дорог, нет россыпей песка, цемента. Концентрации органических загрязнений (оцениваемых по БПК) существенно меньше на загородных АЗС по сравнению с городскими, поскольку нет разливов из аварийных колодцев городской канализации, нет разбросанного по дорогам пищевого мусора, задавленных домашних животных, собачьих и кошачьих экскрементов, рассыпанных перевозимых продуктов.

Проведен сравнительный анализ качества дождевых стоков с территорий городской и загородной АЗС: концентрации загрязнений с АЗС загородного размещения на 35–45 % ниже. В диссертации представлены также результаты наблюдений за качеством дождевых и талых вод с территорий 4 городских и 3 загородных АЗС, выполненных в разное время в процессе сервисного обслуживания.

В ходе диссертационных работ канализованы (проектирование, строительство, пусконаладка) два предприятия пищевого профиля загородного размещения: конфетная фабрика в Калужской области с подключением к действующим поселковым канализационным очистным сооружениям после локальной предочистки стоков и масложировой завод в Карелии со строительством собственных локальных очистных сооружений на полную очистку перед сбросом в рыбохозяйственный водоем. К особенностям канализования такого рода промпредприятий следует отнести:

- ▲ высокие концентрации загрязнений при большой неравномерности поступления стоков;
- ▲ сложные условия взаимодействия основного производства и локальных очистных сооружений из-за залповых сбросов стоков (так, залповый сброс промстоков загородного предприятия может достигать 40–70% его среднесуточного сброса);
- ▲ изменчивость и неустойчивость физико-химических показателей сточных вод на протяжении времени их аккумуляирования и обработки на локальных очистных сооружениях (гниение, деструкция, изменения фазового состояния загрязнений);
- ▲ частное владение предприятиями пищевого профиля, в большинстве случаев привносящее определенный диссонанс во взаимоотношения с контролирующими службами, со службами городских очистных сооружений.

В диссертации приводятся анализ и обобщение технологических, инженерно-технических и организационно-финансовых решений, потребовавшихся при проектировании, строительстве, пусконаладке и сервисном обслуживании очистных сооружений двух предприятий пищевого профиля.

**Глава 3** посвящена результатам лабораторных и производственных испытаний медленных фильтров в системе физико-химической и биологической очистки и доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод малых загородных объектов.

На отечественном рынке природоохранного оборудования широко представлены установки заводской готовности для очистки малых объемов хозяйственно-бытовых сточных вод биологическим методом. В диссертации представлено обобщение паспортных данных такой продукции.

Высокая неравномерность поступления стоков, их низкая температура из-за малой доли горячей воды в общем водоотведении, периодические отравления активного ила и трудности восстановления его работоспособности делают такие установки практически неработоспособными.

На ряде загородных водохозяйственных объектов были получены обнадеживающие результаты при эксплуатации смонтированных нами установок физико-химической очистки и биологической доочистки на медленных фильтрах. В целях оптимизации конструкций и условий эксплуатации таких установок проведены экспериментальные исследования, в которых варьировались: состав, место и режимы введения реагентов; методы смешивания реагентов со стоками; материал зернистой загрузки медленных фильтров (кварцевый песок, дробленые шунгизит, габбро-диабаз, шунгит); крупность загрузки (рекомендованные СНиП 2.04.02-94 для условий водоснабжения от 0.3 до 1.0 мм; более мелкие – от 0.1 до 0.3 и более крупные – от 0.6 до 1.5 мм) с коэффициентами неравномерности от 1.5 до 1.8; двухслойные загрузки (более крупный и легкий дробленый шунгизит в верхнем слое и более мелкий кварцевый песок в нижнем); скорость фильтрования (на однослойных от 0.1 до 0.2 и на двухслойных загрузках от 0.2 до 0.6 м/ч); в целях снижения трудозатрат на регенерацию фильтров испытывалось применение пористого синтетического полотна поверх загрузки; виды реагентов, места и режимы их введения; режимы сбора и стабилизации осадка.

В экспериментах с медленными фильтрами при очистке и доочистке сточных вод показано (так же как и ранее при очистке поверхностных вод – Р. Р. Аюкаев), что уменьшение крупности зерен против нормативной (0.3–1.0 мм) существенно не повышает эффект очистки. Укрупнение же загрузки до 0.6–1.8 мм снижает этот показатель незначительно, удлиняется время образова-

ния на поверхности загрузки биологической пленки, загрязнения глубже проникают в толщу загрузки.

Применение вместо кварца высокопористых дробленого шунгизита, габбро-диабаз сокращает кратно время образования биологически активной пленки. Примерно в 2 раза может быть повышена скорость фильтрования при использовании двухслойных загрузок при сохранении качества очистки. Исследован механизм распределения загрязнений в двухслойной загрузке, показано, что на поверхности каждого из слоев образуется биологически активная пленка, что позволяет продлевать фильтроциклы. Однако усложняется технология регенерации.

Высокорентабельным оказалось совмещение в корпусе медленного фильтра функций песколовки, нефтеотделителя, отстойника, собственно медленного фильтра, уплотнителя осадка и насосной 2-го подъема. Упрощает высотную схему очистных сооружений, снижает затраты на общестроительные работы использование недорогих погружных насосов для откачки фильтрата вместо устройства самотечного движения стоков по сооружениям.

Регенерация медленного фильтра производится по методу «водного пылесоса». Такие установки выпускаются для сбора осадка со дна плавательных бассейнов. Объем осадка при влажности 97–98 %, собираемого ежедневно в конце второй смены, составляет от 53 до 123 литров. Для сбора такого количества осадка в помещении мойки устанавливаются от одной до трех пластиковых емкостей по 50 л с перфорированным дном, по которому укладывается фильтрующая ткань. За 24 часа осадок обезвоживается до 70–75 % влажности и подлежит захоронению. Фугат сливается в резервуар грязной воды.

В таблице 1 представлены результаты анализов оборотных вод до и после очистки на автомойке при загородной АЗС в пригороде Медвежьегорска.

Таблица 1

Дата наблюдений	Концентрация загрязнений, мг/л					
	взвеш. в-ва		нефтепродукты		БПК <sub>5</sub>	
	до	после	до	после	до	после
Май 2006г.	550-710	2,5-4,2	63-90	0,6-1,9	67-80	5,5-16,0
Июнь 2006г.	380-500	2,0-3,5	48-87	0,5-1,4	42-88	4,0-9,0
Сентябрь 2006г.	290-310	2,3-4,0	39-97	0,8-2,9	33-67	3,0-7,2
Октябрь 2006г.	170-450	3,2-4,1	18-96	1.1-2,5	30-45	5,5-8,6

Отработаны режимы регенерации медленных фильтров методом сканирования (рис. 2).

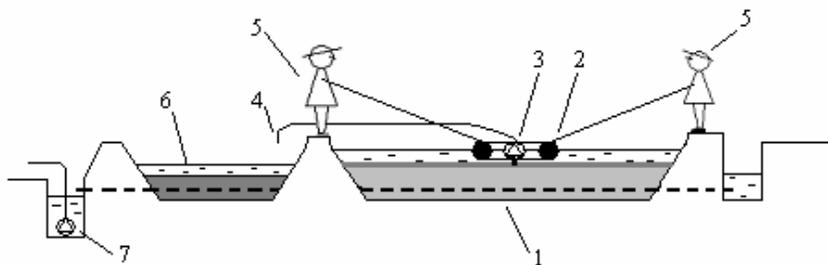


Рис. 2. Технология регенерации медленного фильтра методом сканирования:

1 – медленный фильтр; 2 – минипонтон; 3 – самовсасывающий насос; 4 – выпуск биопленки; 5 – операторы; 6 – площадка для приема и просушки биопленки; 7 – погружной насос

Для глубокой регенерации используется технология «штыкования», когда загрузка сканируется трубопроводом с промывной водой. После осаждения вымытой грязи производится её «отсос».

В случае с очисткой смеси производственных и хозяйственно-бытовых стоков масложирового завода регенерация медленных фильтров гидропылесосом оказалась трудоемкой из-за вязкого характера осадка и проводилась вручную при периодических опорожнениях фильтров.

**В главе 4** представлены результаты исследований установок, работающих по технологии «сухого» фильтрования. Преимущества этой технологии показаны ранее Г. Ю. Ассом при обезжелезивании подземных вод и Н. А. Залетовой при доочистке сточных вод от аммония солевого. В обоих случаях показано увеличение фильтроциклов до 30 раз против обычного скорого фильтрования. Исследования закономерностей «сухого» сорбционного фильтрования проведены в несколько этапов: 1) разработка и экспериментальное обоснование технологии и конструкции «сухого» многокассетного фильтра; 2) подбор сорбционных материалов; 3) построение и исследование математической модели; 4) производственные испытания.

Сервисное обслуживание большого количества систем водоснабжения и канализации загородных АЗС и объектов придорожного сервиса позволило выявить преимущества технологий и установок, когда межрегенерационный период рабочих элементов велик и вместо регенерации на месте можно перейти на простую замену отработавших элементов на резервные, а регенерацию отработавших производить в стационарных условиях на производственной базе. Так родилась конструкция «сухого» фильтра с выдвижными кассетами (рис. 3).

Для загрузки «сухого» фильтра опробованы торф, полистирол, древесная стружка, сипрон, бусофит, сорбционные материалы на основе пенополиуретана, модифицированные азотсодержащие угли. Выбор остановлен на модифицированном торфосорбенте, производимом в промышленном масштабе на базе карельских торфяников.

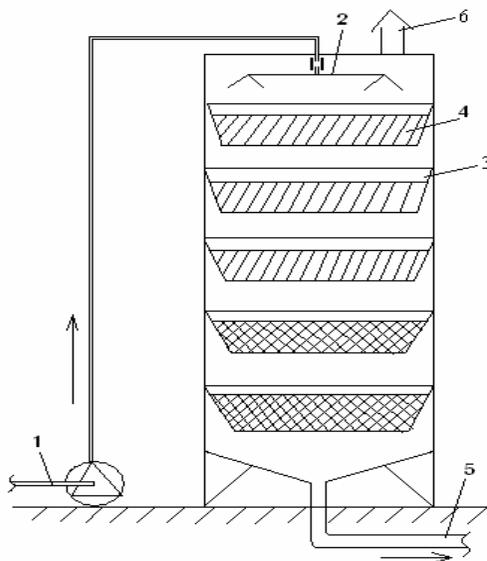


Рис. 3. Схема многосекционного «сухого» фильтра:

1 – исходный сток; 2 – распылитель; 3 – выдвижная секция с перфорированным дном; 4 – сорбент; 5 – выпуск очищенного (доочищенного) стока

В диссертации представлена разработанная диссертантом при консультативной помощи профессора Е. В. Веницианова математическая модель многокассетного «сухого» фильтра (рис. 4).

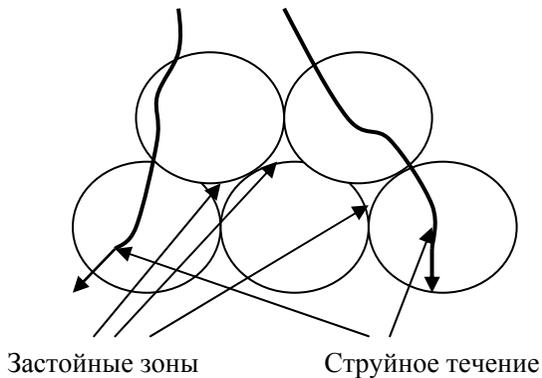


Рис. 4. Схема потока при однофазном течении

При построении модели принято: фильтрация происходит в трехфазной среде (твердое тело – жидкость – газ) с образованием пленочного (не струйного) течения; фильтрация происходит в пульсационном режиме; конструкция фильтра обеспечивает поэтапную замену отработавших секций. Исследованы особенности влияния струйного и пленочного течения на кинетику процесса. При фильтрации сплошным потоком формируются проточные и застойные зоны. Перенос массы осуществляется от проточных к застойным зонам, далее – к поверхности частиц. Первая стадия быстрая, вторая (диффузионный перенос) – значительно более медленная. Массоперенос описывается моделью:

$$\partial C_{33}/\partial t = \beta_1(C - C_{33}), \partial a/\partial t = \beta_2(C_{33} - f^{-1}(a)). \quad (1)$$

Для второй стадии величина кинетического коэффициента  $\beta_2$  равна:

$$\beta_2 = \alpha D_{ж}/\Delta_2. \quad (2)$$

При капельном орошении в поровом слое имеется трехфазная система: зерна загрузки, воздушные зоны и пленочное течение воды. Толщина диффузионного слоя  $\Delta_n$  зависит от расхода воды. Если его величина меньше расхода при сплошном течении в  $N$  раз, то во столько же раз меньше толщина диффузионного слоя  $\Delta_n$ . Из (2) следует, что диффузионный путь при дождевании в  $N$  раз меньше, чем при струйном течении. Следовательно, в  $N$  раз возрастает величина коэффициента внешней диффузии  $\beta_2$ . Выигрыш также образуется вследствие того, что исключается первая стадия в модели (1).

При прямоугольной изотерме сорбции модель динамики сорбции имеет вид:

$$\partial a/\partial t = \beta(a)C, \quad (3)$$

$$\beta(a) = \{\beta_0 \text{ при } a < a_0, 0 \text{ при } a = a_0\}. \quad (4)$$

Время защитного действия  $t_{\text{пр}}(c)$  находится из решения системы (3) – (4):

$$t_{\text{пр}} = \Gamma/\nu l - \Gamma/\beta(2,31gC_0/C_n - 1). \quad (5)$$

Первое слагаемое в (5) определяется емкостью сорбента. Второе слагаемое зависит от кинетики процесса. Чем меньше кин-

тический коэффициент  $\beta$ , тем меньше время защитного действия. Для пленочной фильтрации величина второго слагаемого в (5) значительно меньше, чем при сплошном течении. Для водовоздушной фильтрации происходит также увеличение  $t_{пр}$  за счет первого слагаемого в (5) вследствие уменьшения скорости  $v$ .

Таким образом, водовоздушная фильтрация имеет бесспорные преимущества перед традиционной однофазной, вытекающие из значительного улучшения кинетики массопереноса.

В диссертации представлено исследование влияния прерывистого режима водовоздушного фильтрования на емкость сорбента. Показано, что чем больше продолжительность паузы, тем меньшее количество воды остается на поверхности сорбента, меньше сопротивление молекул воды расширению пятен нефтепродуктов и выше сорбционная емкость. Дополнительная аэрация увеличивает емкость фильтра за счет высушивания осадка:

$$da_0/dt = a_{0max} - \gamma a_0(t). \quad (6)$$

Решение уравнение имеет вид:

$$a_0(t) = a_{0max} - (a_{0max} - a_0) \exp(-\gamma t). \quad (7)$$

Аэрация способствует повышению емкости фильтра, и эта зависимость реализуется через увеличение коэффициента  $\Gamma$  в уравнении (5).

Найдено решение задачи динамики очистки воды в рамках модели (3) – (4) при условии, что на входе поддерживается постоянная концентрация  $C_0$ , а выходная концентрация на должна превышать нормативной величины  $C_n$ .

Сделан теоретический вывод о наиболее эффективном числе секций «сухого» фильтра. Наибольший выигрыш по времени защитного действия будет при большем числе секций  $n$ . Ограничителем выступает конструктивное исполнение фильтра.

Проведены полупромышленные и промышленные испытания «сухого» фильтра. Многокассетные фильтры «сухого» фильтрования смонтированы по нашим рекомендациям и эксплуатируются в пригородах Петрозаводска, Медвежьегорска, Сортавалы, включены в проекты нескольких водоочистных комплексов для объектов Петрозаводска, Сортавалы, Вяртсиля, Питкяранты.

*Глава 5* посвящена обобщению опыта проектирования, строительства, пусконаладки и сервисного обслуживания водохозяйственных сооружений загородного размещения в условиях перехода к рыночной экономике.

Преобладание на рынке природоохранных услуг заказов от частных фирм, компаний и физических лиц привносит существенные коррективы в совершенствование технико-экономических обоснований в рамках подхода «цена – качество». В диссертации обобщен собственный опыт решения таких задач за счет использования конкурентоспособных технологий и оборудования, индивидуального проектирования, исполнения контрактов без рекламаций, работы в контакте с местными санитарными и природоохранными органами, проектными фирмами, за счет помощи заказчикам в получении согласований и передаче законченных объектов в эксплуатацию, введения удобных для заказчика графиков финансирования, обязательного сервисного обслуживания. Так, при подключении конфетной фабрики загородного размещения к ведомственным канализационным сооружениям были выданы практически невыполнимые технические условия по жирам и БПК. По результатам анализа нами было показано, что фактическое соотношение  $\text{БПК}_5:\text{N}:\text{P}=102.5:10.15:0.85$  в стоках не отвечает оптимальным условиям биологического процесса (100:5:1), что содержание органики ( $\text{БПК}_5$ ) и фосфора в стоках по отношению к азоту в два с лишним раза меньше оптимального (рис. 5); добавление к таким стокам «мягких» органических загрязнений и фосфора сделает процесс минерализации загрязнений более полным, позволит снизить остаточные концентрации биогенных элементов (азота и фосфора) в очищенных стоках.

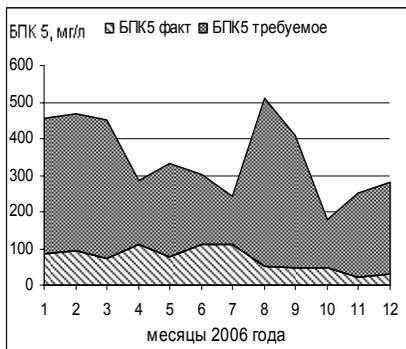
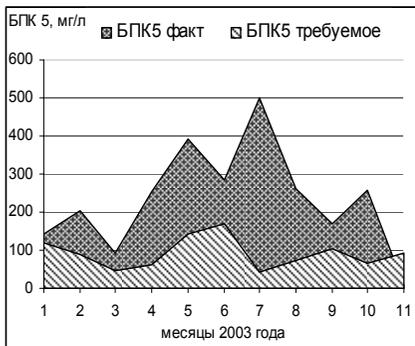


Рис. 5. Усредненные показатели качества стоков, поступающих на КОС ВНИИСХРАЭ в 2003 и 2006гг.

Натурные наблюдения подтвердили наши ожидания: приведенных данных оказалось достаточно для корректировки ТУ в сторону послабления.

В диссертации обобщен опыт использования эффективных научных и инженерных разработок в решении неординарных задач при проектировании, строительстве и сервисном обслуживании двух пищевых предприятий загородного размещения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Загородное размещение водохозяйственных объектов приносит множество особенностей в их проектирование, строительство, эксплуатацию и сервисное обслуживание. Создание конкурентоспособного водоочистного оборудования для таких объектов возможно за счет совмещения в одной конструкции нескольких функций.

2. Многолетний отечественный и зарубежный опыт применения медленных фильтров, простота их конструкций и эксплуатации, длительный межрегенерационный период делают перспективным использование этих сооружений на загородных объектах. Отечественные разработки в области «сухого» фильтрования, собственные наблюдения диссертанта дают основание считать

перспективным развитие этого направления исследований при создании сооружений с большим межрегенерационным периодом для объектов загородного размещения.

Практика сервисного обслуживания очистных сооружений загородных объектов, располагаемых иногда в сотнях километров от города, показала перспективность применения технологий и оборудования, относящихся к так называемым «редко- и легкообслуживаемым».

3. Действующие отечественные нормы проектирования систем водоснабжения и водоотведения объектов общественного питания завышены для условий загородных объектов придорожного сервиса. Концентрации загрязнений дождевых вод с территорий автозаправочных станций загородного размещения на 35–45 % ниже аналогичных по городским АЗС, что дает возможность проектировать «редкопосещаемые» водоочистные установки и за счет этого облегчать их эксплуатацию и сервисное обслуживание.

4. Выполненные диссертантом поверочные эксперименты и практика эксплуатации производственных сооружений при очистке нефтесодержащих дождевых и оборотных вод автомоек, доочистке смеси производственных маслосодержащих и хозяйственных стоков пищевого предприятия подтверждают полученные ранее при очистке природных вод зависимости процесса медленного фильтрования от крупности зерен, высоты слоя, вида фильтрующих материалов, условий подготовки воды.

5. Использование надзагрузочного объема медленного фильтра в качестве отстойника и аэротенка, а биопленки – на поверхности слоя в качестве уплотнителя осадка повышает технико-экономические показатели медленных фильтров и расширяет область их применения в очистке сточных вод. Многоступенчатый медленный фильтр с органическим или минеральным сорбентом на завершающем этапе обеспечивает простое в устройстве, эксплуатации и сервисном обслуживании сооружение для очистки дождевых вод с территорий загородных (и городских) АЗС.

6. Вошедшие в практику ручной мойки автомобилей высоконапорные (90—180 бар), с малым расходом (0.4—0.7 м<sup>3</sup>/ч) насосы

позволяют использовать для безреагентной очистки оборотной воды медленные фильтры. Медленный фильтр, под устройство которого используется межколесная смотровая яма, выполняет одновременно функции песколовки, нефтеотделителя, резервуара грязной воды, сооружения биологической очистки, уплотнителя осадка и собственно фильтра. Обслуживание такого сооружения сводится к вывозу задержанного песка, взвешенных и нефтепродуктов с периодичностью не чаще одного раза в 20–40 суток.

7. Разработана и испытана конструкция многокассетного фильтра «сухого» фильтрования для очистки дождевых стоков, оборотных вод автомоек и доочистки городских сточных вод. Анализ предлагаемых на рынке сорбционных материалов отечественного и иностранного производства показал перспективность применения для «сухих» фильтров местного материала – модифицированного торфа.

8. Разработаны и исследованы математическая модель процесса многокассетного «сухого» фильтрования, блок-схема и программа расчета «сухих» фильтров.

9. По рекомендациям и при участии диссертанта запроектированы, построены, переданы в штатную эксплуатацию и находятся на сервисном обслуживании очистные сооружения, в состав которых входят фильтры медленного и «сухого» фильтрования.

**Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих работах:**

1. Графова Е. О. Экологические и инженерные проблемы обустройства загородных автозаправочных станций системами водопровода и канализации / Е. О. Графова, Р. Р. Аюкаев // Межвузовский сборник научных трудов. – Самара, 2005. – С. 11 – 16.
2. Графова Е. О. Экологические проблемы инженерного обустройства загородных АЗС / Е. О. Графова // Материалы 57 научной студенческой конференции ПетрГУ. – Петрозаводск, 2005. – С. 13-15.
3. Графова Е. О. Экологические проблемы загородных автозаправочных станций и их инженерные решения / Е. О. Графова // Строительство 2006. Материалы международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 161–163.
4. Графова Е. О. Экологические проблемы инженерного обустройства загородных АЗС / Е. О. Графова // Города России: Проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. – Пенза, 2006. – С. 13–15.
5. Графова Е. О. К выбору источников водоснабжения и методов подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения для загородных объектов / Е. О. Графова // Вестник Поморского университета. № 4, 2006. – С. 136 – 142 **(ВАК)**.
6. Графова Е. О. Проблемы канализования кондитерской фабрики загородного размещения / Е. О. Графова, Р. И. Аюкаев, А. М. Четокин, Е. А. Соколова, Ю. Н. Гринин, В. С. Мачигин // Водоснабжение и санитарная техника. № 10, 2007. – С. 41–45. **(ВАК)**
7. Графова Е. О. О возможности использования нового экологически безопасного высокоэффективного реагента ферроксина при доочистке жиросодержащих сточных вод / Е. О. Графова, Р. И. Аюкаев, В. С. Мачигин., др. // Вестник ВНИИ Жиров. – № 2, 2007. – С. 32–35.

### Условные обозначения

- $C(x, t)$  – концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) в проточной зоне ( $\text{г/дм}^3$  воды);
- $C_{\text{зз}}(x, t)$  – концентрация ЗВ в застойной зоне ( $\text{г/дм}^3$  воды),
- $a(x, t)$  – концентрация ЗВ в сорбенте ( $\text{г/дм}^3$  слоя фильтра);
- $f^{-1}(a)$  – функция, обратная изотерме сорбции ЗВ на сорбенте;
- $\beta_1, \beta_2$  – кинетические коэффициенты массопереноса между проточной и застойной зонами и застойной зоной и сорбентом соответственно ( $\text{с}^{-1}$ ).
- $D_{\text{ж}}$  – коэффициент молекулярной диффузии ЗВ жидкости,  $\text{см}^2/\text{с}$  (порядка  $10^{-5}$ );
- $\Delta_i$  – характерный размер застойной зоны, см; имеет порядок размера зерна;
- $\alpha$  – численный коэффициент, учитывающий форму зон;
- $\beta(a)$  – кинетический коэффициент, определяемый уравнением;
- $C_{\text{н}}$  – требуемая (нормативная) концентрация на выходе из фильтра;
- $l$  – длина фильтрующего слоя (см);
- $a_0(t)$  – емкость фильтра в данный момент фильтрации (при фильтрации только водовоздушной смеси без аэрации – величина постоянная);
- $a_{0\text{max}}$  – максимально достижимая для данной загрузки и набора НМП емкость фильтра;
- $\gamma$  – кинетический коэффициент повышения емкости загрузки при аэрации;
- $\Gamma$  – коэффициент распределения, равный отношению емкости фильтра к входной концентрации.

Подписано в печать 26.05.2008. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Изд. № 135.  
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз.

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ  
185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33





