

На правах рукописи



ТОПОРКОВ Антон Владимирович

**ФЛОТАЦИОННО-ФИЛЬТРАЦИОННАЯ ОЧИСТКА
СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КЕРАМЗИТО-ДИАТОМИТОВОГО СОРБЕНТА**

Специальность 03.02.08 – экология (в химии и нефтехимии)

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

ПЕНЗА – 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО “Самарский государственный университет” на кафедре “Органическая, биоорганическая и медицинская химия”.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Пурьгин Петр Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коновалов Владимир Викторович
доктор химических наук, профессор
Моисеев Игорь Константинович

Ведущая организация: ОАО “Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке”

Защита состоится 23 декабря 2011 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, 1а / 11, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан 23 ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М.И. Яхкинд

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Создание экологически эффективных и экономически рациональных систем очистки сточных вод от нефтепродуктов на промышленных предприятиях является трудной, но вполне разрешимой задачей. В этой ситуации представляется чрезвычайно важным поиск путей сокращения затрат, связанных с очисткой, с помощью применения более экономичных, но не менее эффективных способов очистки промышленных стоков.

Применение автоматизированных процессов флотации и фильтрации для очистки сточных вод от нефтепродуктов и создание на их основе установки флотационно-фильтрационной очистки воды позволяет достигать высокой степени очистки промышленных стоков при снижении экономических затрат.

В связи с этим изучение закономерностей процессов флотации и фильтрации и разработка на их основе технических решений по очистке сточных вод от нефтепродуктов является актуальной задачей.

Цель работы – повышение качества нефтесодержащих сточных вод за счет разработки и внедрения флотационно-фильтрационного способа очистки их от нефтепродуктов с использованием керамзито-диамитового сорбента.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Осуществить анализ существующих способов очистки сточных вод и обосновать перспективный способ очистки сточных вод от нефтепродуктов;
2. Оценить сорбционные свойства некоторых природных сорбентов и возможность их применения для очистки сточных вод от нефтепродуктов;
3. Экспериментально обосновать параметры технологического процесса очистки воды от нефтепродуктов на модельной установке;
4. Разработать принципиальную схему автоматизированной системы флотационно-фильтрационной очистки воды;
5. Выполнить эколого-экономическое обоснование системы флотационно-фильтрационной очистки воды от нефтепродуктов на основе природных сорбентов и рекомендовать способы утилизации отработанных сорбционных материалов.

Методы исследования: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, натурные исследования, обработка экспериментальных данных методами математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа с применением ЭВМ, лабораторные и опытно-промышленные исследования.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована планированием необходимого объема экспериментов, построением математической модели эксперимента с применением методов корреляционного и регрессионного анализа, удовлетворительной сходимостью полученных результатов экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и опытно-промышленных условиях, использованием современных и аттестованных средств измерений показателей.

Научная новизна работы:

– получена многофакторная регрессионная модель технологического процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов двухслойным керамзито-диамитовым сорбентом;

– получена математическая зависимость величины финансовых затрат на очистку нефтесодержащих сточных вод в зависимости от линейной скорости фильтрации, степени очистки сточных вод и производительности;

– разработана автоматизированная система флотационно-фильтрационной очистки воды с использованием керамзито-диамитового сорбента (новизна технического решения которой подтверждена двумя патентами РФ);

Практическое значение работы:

– предложена и внедрена на базе локомотивного депо станции “Самара” установка флотационно-фильтрационной очистки сточных вод с использованием керамзито-диамитового сорбента, позволившая производить очистку стоков от нефтепродуктов до требуемых нормативов.

– разработан способ термической регенерации керамзито-диатомитового сорбента, после полного насыщения нефтепродуктами, позволивший трехкратно использовать сорбент при очистке нефтезагрязненных сточных вод в цикле “накопление нефтепродуктов – регенерация”. Предложена технология последующей утилизации использованного сорбента.

– разработана компьютерная программа “Анализ и обоснование технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения и канализации”, защищенная свидетельством об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Реализация результатов работы:

Рекомендации по снижению экологической опасности нефтесодержащих сточных вод и автоматизированная система флотационно-фильтрационной очистки апробированы и внедрены в технологическом процессе локомотивного депо станции “Самара”. Материалы диссертационной работы используются кафедрой органической химии Самарского государственного университета в дипломных работах по специализации “Химия окружающей среды, химическая экспертиза и экологическая безопасность”.

Положения, выносимые на защиту:

1. Сравнительный анализ сорбционных свойств фильтрующих материалов керамзита и модифицированного диатомита при очистке сточных вод от нефтепродуктов.

2. Функциональная зависимость степени очистки сточных вод от нефтепродуктов двухслойным керамзито-диамитовым сорбентом в зависимости от скорости движения водного потока и массы сорбентов.

3. Способ флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамзито-диатомитового сорбента.

4. Способ термической регенерации керамзито-диатомитового сорбента, после полного насыщения нефтепродуктами, позволивший трехкратно исполь-

зовать сорбент при очистке нефтезагрязненных сточных вод и технология последующей утилизации использованного сорбента.

5. Принципиальная схема автоматизированной системы флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамито-диамитового сорбента.

6. Компьютерная программа “Анализ и обоснование технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения и канализации”, защищенная свидетельством об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация и публикация результатов работы.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на I Международной научной конференции “Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование” (Санкт-Петербург, 2005); на II Международной, научно-практической конференции “Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта” (Самара, 2005), I Международном форуме “Актуальные проблемы современной науки”, секция “Экология” (Самара, 2005); 2-й Международной научно-практической конференции “Достижения ученых XXI века” (Тамбов, 2006); Международной научно-практической конференции “Экологические проблемы современности” (Пенза, 2006), III Всероссийской научно-практической конференции “Процессы, технологии, оборудование и опыт переработки отходов и вторичного сырья” (Самара, 2008), IV Всероссийской научно-технической конференции “Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности и экологии” (Тула, 2008), на научных конференциях “Дни студенческой науки” студентов и аспирантов Самарского государственного университета путей сообщения (Самара, 2005–2009).

Основные положения диссертации изложены в 17 печатных работах, из них 4 – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, получено 2 патента РФ на полезные модели, 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 197 наименований и приложений. Работа изложена на 172 страницах, содержит 32 таблицы и 16 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, изложены научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первой главе “Состояние вопроса. Цель и задачи исследований” дан анализ информации, связанной с очисткой сточных вод, описаны источники появления сточных вод, загрязненных нефтепродуктами. Представлена оценка влияния производственных нефтесодержащих сточных вод на живые организмы водоемов.

Рассмотрены современные методы и средства очистки сточных вод от нефтепродуктов. Дана краткая характеристика существующим методам очистки, выявлены основные достоинства и недостатки применения этих методов при очистке сточных вод от нефтепродуктов.

Проанализированы современные природные сорбционные материалы, выявлены конструктивные особенности современных очистных сооружений на основе фильтрации и флотации. Поставлены цели и задачи работы.

Во второй главе “Методика проведения исследований фильтрационной очистки сточных вод” рассмотрены объекты, методы исследования процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием природных сорбентов.

Описана схема экспериментальной установки для очистки воды, состоящая из фильтровальной колонки, диаметром 200 мм, высотой 2 м, пьезометрических датчиков, пьезометрического щита, запорной арматуры, переливного бака, расходного бака, воздухоотделительных труб, бака подачи обрабатываемой воды.

В процессе исследований определялась:

– концентрация нефтепродуктов $C_{\text{нп}}$ в очищенной воде, путем отбора порций фильтрата объемом 100–200 мл на анализаторе нефтепродуктов АН-2 (Методика ПНД Ф 14.1:2.5-95, ОСТ 38.01378-85. Охрана природы. Гидросфера. Определение содержания нефтепродуктов в сточных водах методом инфракрасной спектрофотометрии);

– линейная скорость фильтрации (мм /мин) и коэффициент массопередачи;

– полная динамическая емкость (ПДЕ) по нефтепродуктам (мг/г порошка) по результатам сорбции в колонке на основании выходных кривых.

Параметрами сравнения исследуемых образцов являлись:

– степень очистки (определялась концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде; максимальная погрешность измерения $\pm 10\%$, количество повторных опытов не превышало трех) – характеризовало величину удельной поверхности сорбента;

– полная динамическая емкость исследуемых материалов по нефтепродуктам (рассчитывалась на основе измерений концентраций нефтепродуктов в очищаемой воде) – характеризовало величину удельной поверхности сорбента и объем пор;

– скорость фильтрации жидкости через сорбент – характеризовало время контакта адсорбируемого вещества с поверхностью сорбента.

Исследования проводили при температуре 20-21 °С. На основании полученных данных строили изотермы адсорбции.

Исследования проб воды, очищенной на экспериментальном фильтре, проводили на оборудовании SHIMADZU FTIR-8400. Концентрацию нефтепродуктов $C_{\text{нп}}$ в очищаемой воде определяли (отбирая порции фильтрата объемом 100–200 мл) на ИК-фурье-спектрофотометре (методика определения нефтепродуктов в воде МУК 4.1.1013-01).

Для двухслойной фильтрующей загрузки в качестве сорбентов выбраны керамзит и диатомит.

Рассчитаны продолжительность работы фильтра до момента достижения предельной потери напора и критерий оптимальности, который показывает равенство продолжительности защитного действия (t_3) фильтра и продолжительности его работы до момента достижения предельной потери напора (t_n). Определены свойства керамзитной загрузки при очистке воды от взвешенных веществ. Определены свойства загрузки при сорбции нефтепродуктов (НП) в динамических условиях.

В третьей главе “Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение” приведены результаты исследований сорбции нефтепродуктов из воды.

Результаты экспериментов показали, что с ростом концентрации нефтепродуктов (рис. 1) исследуемые сорбенты извлекают НП со степенью очистки от 91% до 95% для керамзита, и от 93% до 97% для модифицированного диатомита.

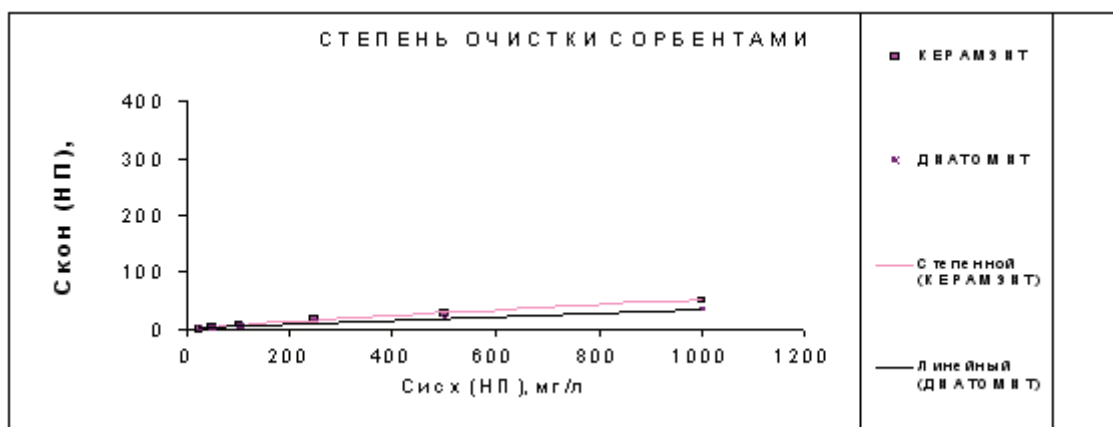


Рис. 1. Зависимость содержания нефтепродуктов в фильтрате от исходной концентрации нефтепродуктов для исследуемых сорбентов

Результаты адсорбции красителя из водного раствора образцами сорбентов, представлены на рис. 2. Для полной оценки адсорбционных свойств исследуемых образцов, полученные изотермы проанализированы в соответствующих координатах линеаризации эмпирических уравнений Фрейндлиха и Ленгмюра.

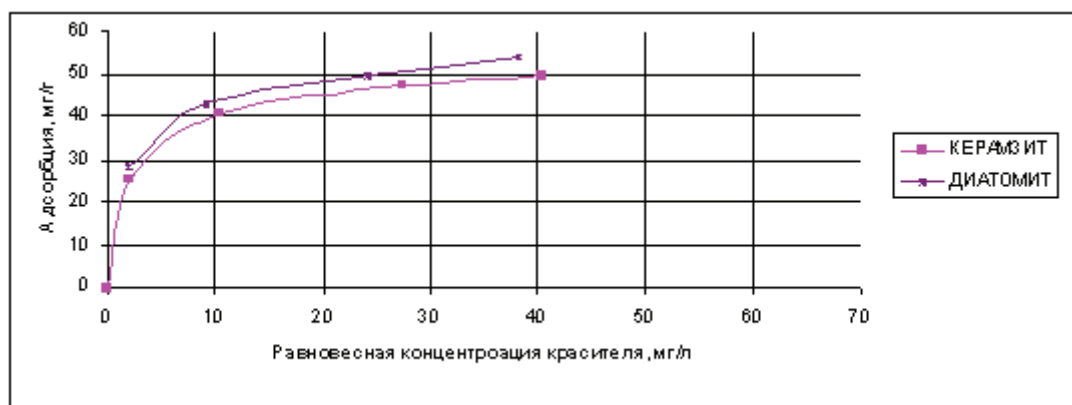


Рис. 2. Изотермы сорбции метиленового голубого из водного раствора при 20 °С: 1 – модифицированный диатомит, 2 – керамзит

Предварительный графический анализ изотерм адсорбции исследуемых адсорбентов свидетельствует о лучших сорбционных свойствах модифицированного диатомита по сравнению с керамзитом.

Для более объективной оценки свойств сорбентов, рассчитывались значения адсорбционных параметров для всех исследуемых сорбентов (табл. 1).

Таблица 1

Значения адсорбционных параметров из уравнений Фрейндлиха и Ленгмюра

Наименование сорбента	тип уравнения	
	Уравнение Фрейндлиха	
	β	$1/n$
керамзит	21,78	0,22
диатомит	24,21	0,20
	Уравнение Ленгмюра	
	Γ_m	$A=1/a$
керамзит	52,39	0,37
диатомит	55,22	0,41

Величина константы $1/n$ в уравнении Фрейндлиха для сорбентов колеблется в пределах 0,20–0,22. Указанный показатель для исследуемых сорбентов различен, что обусловлено различной природой сорбентов, а значит и их внутренним строением. С ростом v при равных значениях $1/n$, процесс сорбции ускоряется и эффективнее извлекается растворенное вещество. Максимальное значение $v=24,21$ у модифицированного диатомита, у керамзита $v=21,78$.

Значение константы адсорбционного равновесия A уравнения Ленгмюра изменяется от 0,37 до 0,41, что свидетельствует о достаточно хороших адсорбционных свойствах исследуемых сорбентов. Величина константы адсорбционного равновесия больше для модифицированного диатомита, чем для керамзитной крошки. С ростом данного показателя адсорбент лучше извлекает вещество из водных растворов.

Таким образом, модифицированный диатомит обладает лучшими сорбционными характеристиками по сравнению с керамзитом. Диатомиты как аморфные соединения кремния соединяют в себе важнейшие для сорбционной очистки свойства: имеют пористую структуру и обеспечивают большую скорость прохождения фильтруемой жидкости, а когда поверхность модифицирована сульфатом алюминия, то в порах исходного материала образуется оксид алюминия, который также обладает сорбционными свойствами.

Для выявления влияния компонентного и фракционного состава загрузки на эффективность работы экспериментального фильтра были проведены опыты с модельными водами, содержащими НП.

В режиме фильтрования вода подавалась сверху вниз через слои сорбционного материала из керамзита и модифицированного диатомита. Концентрация НП в модельной воде составляла 500 мг/л. Величина керамзитной крошки составляла: 2–5мм, 5–10мм, 10–20мм. Повторность проведения опыта – трехкратная.

Влияние фракционного состава сорбента на степень поглощения НП
при исходной концентрации 500 мг/л

Компонентный состав фильтрующего материала, части	Степень поглощения НП при фракционном составе сорбента, мм											
	2–5				5–10				10–20			
	опыт № 1			Сред знач.	опыт № 2			Сред знач.	опыт № 3			Сред знач.
смесь № 1 керамзит:диатомит 1:2	92	93	96	94	98	97	97	97	96	92	91	93
смесь № 2 керамзит:диатомит 2:1	91	90	93	91	97	96	96	96	93	91	90	91
смесь № 3 только керамзит	91	90	94	92	93	94	95	94	80	76	77	78

В первом опыте использовались фракции 1–2; 5–10 и 10–20 мм керамзитной крошки и диатомита, модифицированного 0,3–0,5% раствором сульфата алюминия в соотношении Т:Ж=1:10, осажденным аммиаком до установления рН=7, с последующей термообработкой при температуре 200 °С в течение 2 часов, в соотношении 1:2 соответственно. Во втором опыте соотношение керамзитного сорбента и диатомита составляло 2:1 соответственно. В третьем опыте участвовала только керамзитная крошка.

Результаты опытов показали (табл. 2), что наиболее эффективная очистка модельной воды происходит, если экспериментальный фильтр имеет двухслойную загрузку, состоящую из слоев керамзита фракцией 5–10 мм и модифицированного диатомита фракцией 0,5–1 мм, с соотношением керамзита и диатомита 2:1, соответственно.

Данное соотношение экономически обосновано с помощью специально разработанной компьютерной “Программы анализа и обоснования технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения”, с учетом таких показателей, как стоимость сорбента, наличие в регионе, транспортные расходы, его эффективность, и др.

При исследовании зависимости эффективности работы экспериментального фильтра, с двухслойной загрузкой, состоящей из керамзита и модифицированного диатомита, от температуры модельной воды, были определены величины степени очистки воды. Температурный режим варьировался в диапазоне 10-21°С, концентрация НП в модельной воде составляла 500 мг/л, полученные значения занесены в табл. 3.

Результаты исследования показали, что эффективность процесса сорбции уменьшается с понижением температуры. Это связано со снижением растворимости и переходом нефтепродуктов, растворенных в воде, в эмульгированное состояние. В результате затрудняется процесс поглощения НП сорбционной загрузкой.

Таблица 3

Влияние температурного режима на степень очистки воды
в экспериментальном фильтре при исходной концентрации НП 500 мг/л

№ опыта	Конечная концентрация НП, мг/л при температуре модельной воды, °С		
	10 °С	15 °С	20 °С
1	31	24	15,3
2	31,5	23,7	15
3	32	24,6	15,4
Погрешность измерений	31,50±0,33	24,10±0,3	15,23±0,13
Степень очистки, %	93,7	93,70	95,18

Для исследования влияния линейной скорости фильтрации и массы сорбента на эффективность работы экспериментального фильтра был проведен многомерный регрессионный, корреляционный анализ и построена многофакторная математическая модель.

Искомое уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Z = 0,831773 - 0,014857 \cdot V + 0,005125 \cdot M,$$

где Z – степень очистки сточных вод, V – линейная скорость воды в фильтре, м/ч; M – масса сорбента в фильтрующей загрузке, кг;

Для описания влияния переменных на степень очистки были рассчитаны коэффициенты эластичности (табл.4):

Таблица 4

Рассчитанные коэффициенты эластичности

Коэффициент эластичности	Значение
$E_1 = A \cdot (x_1/z) = -0,0144 \cdot (9/0,83)$	$E_1 = -0,16$
$E_2 = B \cdot (x_2/z) = 0,0048 \cdot (25/0,83)$	$E_2 = 0,14$

Полученные значения показывают, что увеличение только на 1% линейной скорости фильтрации (от своего среднего значения) при неизменной массе сорбента, приводит к уменьшению степени очистки в среднем на 0,16%, а при увеличении только на 1% массы сорбента (от своего среднего значения), степень очистки увеличится в среднем на 0,14%.

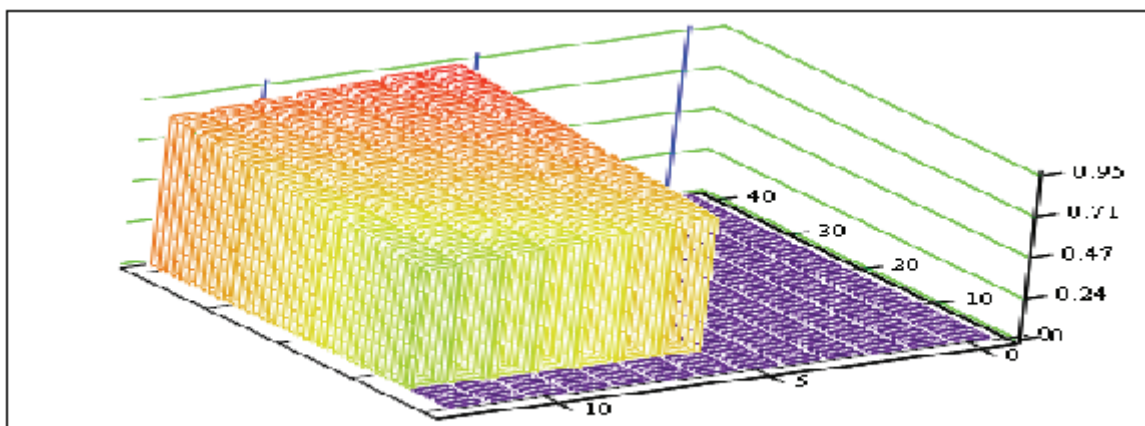
Зависимость степени очистки сточных вод от линейной скорости фильтрации и массы сорбента представлена на рис. 3.

Множественный коэффициент корреляции – $R=0,95519441$, детерминации – $R^2=0,91239635$. Значимые факторы – скорость воды и масса сорбента. С увеличением скорости воды степень очистки снижается. Увеличение массы сорбента повышает качество очистки сточных вод. Наиболее существенно влияние массы сорбента.

В результате повторной обработки данных получена квадратичная регрессионная модель на основе значимых факторов:

$$Z = 1,044310 - 0,054000 \cdot V - 0,003131 \cdot M + 0,002175 \cdot V^2 + 0,000192 \cdot M^2.$$

Множественный коэффициент корреляции – $R = 0,99347866$, детерминации – $R^2=0,98699984$.



z

Рис. 3. Зависимость степени очистки сточных вод от линейной скорости фильтрации и массы сорбента

Степень очистки порядка 95% обеспечивает линейная скорость воды не более 6–7 м/ч при массе сорбента около 40 кг. Снижение массы сорбента снижает степень очистки независимо от скорости фильтрации (рис. 4).

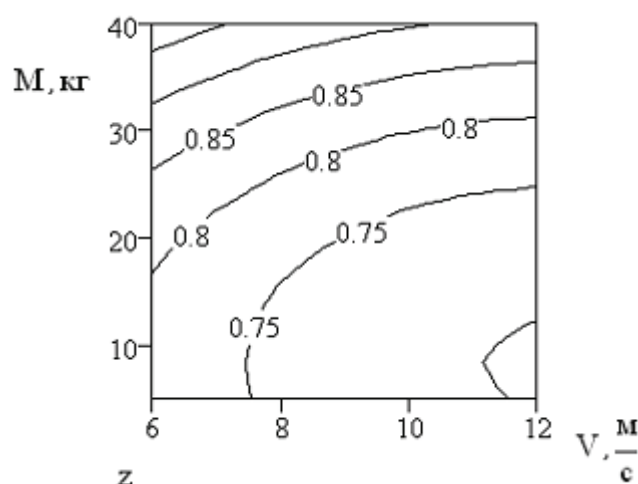


Рис. 4. Влияние линейной скорости воды V (м/с), и массы сорбента M (кг) на степень очистки модельной воды z (доли)

Для определения динамических характеристик процесса адсорбции нефтепродуктов, необходимых для расчета основных параметров очистки сточных вод и режима работы адсорбера с керамзито-диатомитной сорбционной загрузкой, была построена выходная кривая (рис. 5) сорбции нефтепродуктов в координатах $C_{\text{кон}}$ (мг/л) / ϕ (мин) (высота слоя 10 мм, исходная концентрация нефтепродуктов 500 мг/л) размер частиц фракции – 5–10 мм.

С использованием уравнения Шилова на основании экспериментальных данных по сорбции нефтепродуктов определены коэффициент задерживающего слоя сорбента, потеря времени защитного действия, длина зоны массопередачи. Коэффициент защитного действия составляет $K = 1,52 \cdot 10^6$ с/м; коэффициент массопередачи $Kv = 342,9$ с⁻¹; предельная величина адсорбции $b_0 = 129,2$ мг/м³.

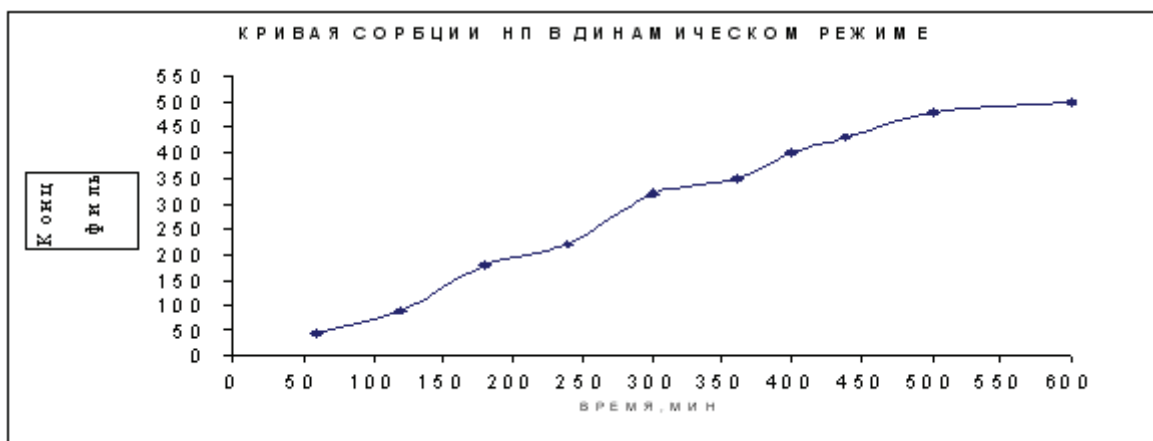


Рис. 5. Кривая сорбции в динамическом режиме

Исследованы различные способы регенерации керамзито-диатомитового сорбента, после полного насыщения нефтепродуктами (табл. 5). Выявлено, что при термической регенерации (350–450 °С) достигается высокая степень очистки от нефтепродуктов (составляет не ниже 95%), при этом восстановление сорбционной емкости по НП составляет 68%. Указанный способ регенерации показал лучшие результаты по восстановлению сорбционной емкости по сравнению с иными температурами обработки, а также с химическими способами.

Таблица 5

Влияние различных способов регенерации отработанного керамзито-диатомитового сорбента на его свойства

Способ регенерации сорбента	Степень очистки от НП, %	Полная динамическая емкость по НП, мг/г керамзита	Восстановление сорбционной емкости по НП, %
Термическая регенерация			
250-350 °С	77	125	50
350-450 °С	97	165	68,18
450-550 °С	77	70	28
Химическая регенерация			
Способ регенерации сорбента		Степень очистки от НП, %	
Обработка водой при 100 °С		46	
Обработка раствором соды		68	

После первого и второго цикла “накопление-регенерация”, степень очистки регенерированным сорбентом составляла не менее 95%. После третьей регенерации степень очистки достигла уровня 83%, а динамическая емкость снизилась до 30 мг/г. Таким образом, можно предложить трехкратное использование керамзитно-диатомитного сорбента в цикле “накопление нефтепродуктов – регенерация”. После использования сорбента его требуется подвергать прокаливанию при температуре около 400 °С для удаления нефтепродуктов. Впоследствии такой сорбент становится безопасным для возможного захоронения или утилизации.

Для определения влияния качественных и количественных характеристик технологического процесса на величину финансовых затрат была получена аналитическая зависимость – множественное уравнение регрессии. В качестве объясняющих переменных были выбраны производительность, линейная скорость фильтрации, степень очистки сточных вод (рис. 6). Был рассчитан множественный коэффициент детерминации $R^2=0,75$, который показывает, что вариация затрат на технологический процесс очистки сточных вод на 75% объясняется вариацией производительности, степени очистки и линейной скорости фильтрации через сорбционную загрузку. Уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$C = -135,629 + 0,009 \cdot Q + 3,542 \cdot V + 220,429 \cdot z$$

где C – величина финансовых затрат; Q – производительность установки (расход воды), м³/ч; V – средняя расчетная скорость воды в фильтре, м/ч; z – степень очистки сточных вод, доли.

Для этих переменных рассчитаны коэффициенты эластичности (табл. 6):

Таблица 6

Рассчитанные коэффициенты эластичности

Коэффициент эластичности	Значение
$E_1 = A \cdot (q/c) = -135,629 + 0,009(30,375/94,98)$.	$E_1 = 0,03$
$E_2 = B \cdot (v/c) = 3,542 \cdot (9/94,98)$.	$E_2 = 0,335$
$E_3 = C \cdot (z/c) = 220,42 \cdot (0,9/94,98)$.	$E_3 = 2,1$

Рассчитанные значения коэффициентов эластичности показывают, что при увеличении только производительности, при неизменных линейной скорости фильтрации и степени очистки, на 1% (от своего среднего значения), приводит к увеличению затрат на очистку 1 м³ воды в среднем на 0,03%, при увеличении только линейной скорости фильтрации, при неизменных значениях производительности и степени очистки, на 1% (от своего среднего значения), приводит к увеличению затрат на очистку 1 м³ в среднем на 0,33%, а при увеличении только степени очистки на 1% (от своего среднего значения), затраты увеличатся в среднем на 2,1%.

В результате статистической оценки результатов получена регрессионная модель.

Множественный коэффициент корреляции – $R=0,86672271$, детерминации – $R^2=0,75120826$. Значимые факторы – скорость воды и степень очистки сточных вод. С увеличением величины значений факторов возрастает стоимость обработки сточных вод. Из указанных факторов наиболее существенно влияние степени очистки.

В результате повторной обработки данных получена квадратичная регрессионная модель на основе значимых факторов:

$$S = -18,5460 - 18,0190 \cdot V + 164,2456 \cdot z + 1,2898 \cdot V \cdot V + 40,2449 \cdot z \cdot z - 1,8064 \cdot V \cdot z,$$

Множественный коэффициент корреляции – $R=0,89578777$, детерминации – $R^2=0,80243574$. Статистически значимый фактор – квадрат скорости воды. С увеличением скорости воды возрастает стоимость обработки 1 м³ сточных вод.

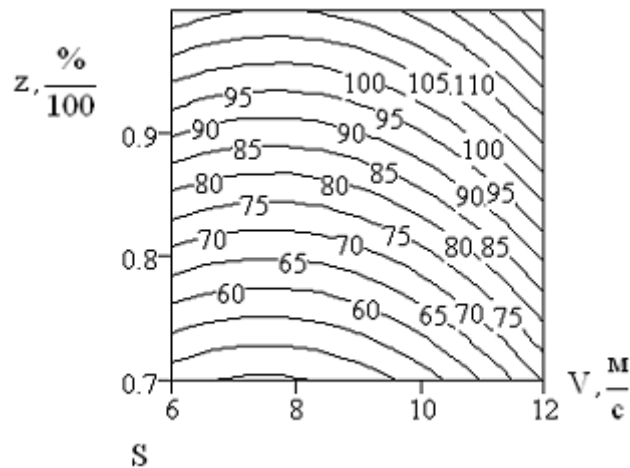


Рис. 6. Влияние линейной скорости воды V (м/с) и степени очистки вод z (%/100) на стоимость обработки 1 м^3 сточных вод, руб.

Минимальная стоимость обработки соответствует линейной скорости воды 7,0–8,5 м/с. Дальнейший рост линейной скорости воды резко снижает качество очистки и увеличивает стоимость обработки. С увеличением степени очистки наблюдается повышение стоимости обработки.

В четвертой главе “Практическая реализация результатов исследования” приведены результаты расчетов флотационно-фильтрационной установки очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамзито-диамитового сорбента и “Программа анализа и обоснования технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения”.

Дается описание работы и технологическое обоснование основных параметров предлагаемой установки для очистки сточных вод с учетом экономической целесообразности и экологического воздействия на окружающую среду.

В предлагаемой установке очищаемая вода (рис. 7), загрязненная нефтепродуктами, из отстойника 26 подается во флотатор 1. Здесь загрязненный сток смешивается с химическим реагентом, поступающим из емкости 24. В результате образования мелкодисперсных пузырьков газа, захватывающих частицы загрязнений и выносящих их на поверхность очищаемой воды, в верхней части флотатора скапливается слой пенного продукта, удаляемого в емкость 29. Далее, очищаемая вода поступает в верхнюю часть фильтра 6 до тех пор, пока уровень воды не достигнет верхней сетки 12, частично разбивающей пенную эмульсию. Средняя часть фильтра 8 заполнена двухслойно адсорбентом (керамзитная крошка, а под ней более мелкий модифицированный диатомит). Проходя через слои адсорбента нисходящим потоком, очищаемая вода встречается с движущимися противотоком мелкодисперсными пузырьками воздуха, подаваемыми компрессором 22 в нижнюю конусную часть фильтра 10. Благоприятные условия для фильтрации создаются за счет барботажа жидкости пузырьками воздуха относительно адсорбента. Отфильтрованная вода, проходя через опорную сетку 14, стекает в конусную часть фильтра 10. Здесь происходит осажде-

ние мелкодисперсной сорбционной загрузки, вымытой потоками воды в процессе фильтрации. Затем вода, проходя через расходомер 32, самотеком поступает в емкость для накопления очищенной воды 4. Имеющиеся датчики у соответствующих приборов измеряют объем очищенной воды, контролируют рН-уровень, регулируют подачу химического реагента и передают информацию в блок программного управления 5, регулирующий начало отдельных процессов.

Лазерно-флуоресцентный анализатор 45 и анализатор мутных сред 46, установленные в емкости для сбора очищенной воды 4, измеряют концентрацию нефтепродуктов и взвешенных частиц в очищенной воде соответственно. При превышении допустимых значений автоматически вода направляется на повторную очистку. Введение в установку для флотационно-фильтрационной очистки воды двух подобных параллельно-соединенных фильтров обеспечивает непрерывность технологического процесса очистки.

Благодаря автоматизации технологического процесса производится управление исполнительными объектами (очистными модулями) в реальном масштабе времени. В качестве датчиков первичной информации, измеряющих концентрацию нефтепродуктов, концентрацию взвешенных частиц, рН-уровень, а также объем очищенной воды, проходящий через адсорбер, используются анализаторы – лазерно-флуоресцентный, анализатор мутных сред, рН-метр, расходомер соответственно. Блок программного управления производит мониторинг выполнения технологического процесса, выводит сообщения об ошибках возникших в процессе выполнения технологических задач. Он позволяет проводить переключение исполнительного оборудования в зависимости от установленного регламента функционирования и при отклонении от него подается соответствующий сигнал, предупреждающий о возникновении аварийной ситуации в технологическом процессе. Функциональная структура автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки сточных вод представлена на рис. 8.

Требуемая степень очистки сточных вод может быть достигнута непрерывной работой одной линии адсорберов, в которой размещены три последовательно установленных адсорбера, из которых один – резервный находится в режиме перегрузки. Каждый адсорбер при этом работает в течение 53 дней.

Использование керамзита различной фракции с размером зерен не более 10 мм с направлением уменьшения крупности зерна сверху вниз и диатомита, фракцией 1–2 мм, модифицированного 0,3–0,5% раствором сульфата алюминия в соотношении Т:Ж=1:10, осажденного аммиаком до установления рН=7, с последующей термообработкой при температуре 200°C в течение 2 ч, позволяет достигать степени очистки стоков, загрязненных нефтепродуктами, до 97%.

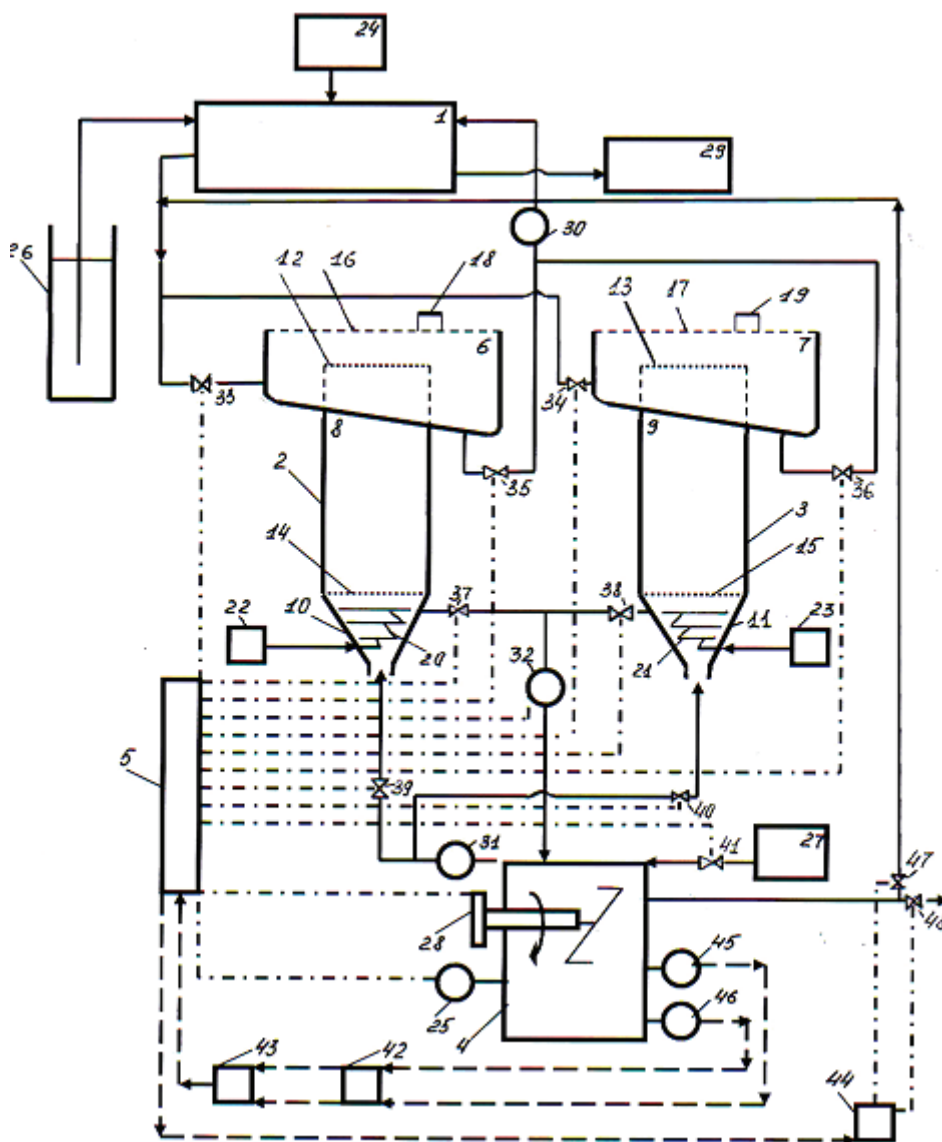


Рис. 7. Принципиальная схема разработанной установки для очистки воды от нефтепродуктов: 1 – флотатор; 2, 3 – фильтр; 4 – емкости для сбора очищенной воды, 5 – блок программного управления. Каждый фильтр выполнен из трех частей: 6, 7 – верхняя часть фильтра; 8, 9 – средняя цилиндрическая часть фильтра; 10, 11 – нижняя конусная часть фильтра; 12, 13, 14, 15 – сетка металлическая; 16, 17 – крышка фильтра; 18, 19 – воздушный клапан фильтра; 20, 21 – вытянутый, перфорированный, спиралеобразный змеевик конусной части фильтра; 22, 23 – компрессор; 24 – емкость химического реагента для флотатора; 25 – рН-метр; 26 – отстойник; 27 – емкость химического реагента для очищенной воды; 28 – электромешалка; 29 – емкость для сбора пенного продукта; 30, 31 – первый и второй насосы соответственно; 32 – расходомер; 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 47, 48 – электроуправляемые клапаны; 42 – блок анализа; 43 – блок сравнения; 44 – блок принятия решения; 45 – лазерно-флуоресцентный анализатор; 46 – анализатор мутных сред

Проведенные исследования показали, что сточные воды после очистки на разработанной флотационно-фильтрационной установке, не оказывают негативно-го влияния на темп роста биомассы высшего водного растения – элодею канадскую, что свидетельствует об отсутствии токсичности водной среды.



Рис. 8. Блок-схема АСУ технологическим процессом очистки СВ

Способ флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамзито-диамитового сорбента внедрен на локомотивном депо станции “Самара”, предотвращенный экологический ущерб составил около 70 тыс. руб. в год.

В приложении 1 приведена интервальная оценка генерального совокупного коэффициента корреляции. **В приложении 2** представлены результаты исследований по изучению сорбционных свойств керамзита, модифицированного диатомита, значения параметров в уравнениях Фрейндлиха и Ленгмюра для керамзита и модифицированного диатомита, расчет критериев приемлемости уравнения Ленгмюра к изученным системам. **В приложении 3** представлены акты внедрения результатов диссертационной работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен сравнительный анализ сорбционных свойств фильтрующих материалов керамзита и модифицированного диатомита показавший, что они обладают достаточными сорбционными свойствами при очистке сточных вод от нефтепродуктов (91–97%), при их невысокой себестоимости. Выбраны оптимальный размер частиц керамзита 5–10мм и экономически рациональное соотношение массы керамзита и диатомита – 2:1.

2. Выявлена функциональная зависимость степени очистки сточных вод от нефтепродуктов в зависимости от скорости движения водного потока и массы сорбентов, позволяющая определять параметры процесса фильтрации для обеспечения необходимой степени очистки сточных вод. Минимальная стоимость очистки сточных вод предлагаемой установкой соответствует линейной скорости воды 7,0–8,5 м/с.

3. Разработан способ флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов, позволяющий обеспечить 95% степень очистки за счет применения двухслойного адсорбента с последовательно уменьшаемым размером частиц, состоящего из слоя измельченного керамзита и последующего слоя модифицированного диатомита фракцией 0,5–1 мм. Способ флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамзито-диамитового сорбента внедрен на локомотивном депо станции “Самара”, предотвращенный экологический ущерб составил около 70 тыс. руб. в год.

4. Разработан способ регенерации керамзито-диатомитного сорбента после полного насыщения нефтепродуктами, позволивший трехкратно использовать сорбент при очистке нефтезагрязненных сточных вод в цикле “накопление нефтепродуктов – регенерация”. Предложена технология последующей утилизации использованного сорбента.

5. Разработана принципиальная схема автоматизированной системы флотационно-фильтрационной очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием керамзито-диамитового сорбента, позволяющая осуществлять контроль процесса путем автоматизированного процесса принятия решения направления недостаточно очищенной воды на повторную очистку. Новизна технического решения автоматизированной системы флотационно-фильтрационной очистки сточных вод подтверждена двумя патентами РФ.

6. Разработана компьютерная программа “Анализ и обоснование технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения и канализации”, защищенная свидетельством об официальной регистрации программы для ЭВМ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Список публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК

1. Топорков, А.В. Водоснабжение замкнутых систем на предприятиях железнодорожного транспорта [Текст] / А.В. Топорков, Н.С. Лапин, П.П. Пурыгин // Известия ТулГУ. Серия “Экология и рациональное природопользование”. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – С. 84–92.

2. Топорков, А.В. Методика очистки сточных вод предприятий локомотивного хозяйства от нефтепродуктов [Текст] / А.В. Топорков, П.П. Пурыгин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. выпуск. III Всероссийская научно-практическая конференция “Процессы, технологии, оборудование и опыт переработки отходов и вторичного сырья”. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2008. – С. 75–79.

3. Топорков, А.В. Повышение экологической безопасности сточных вод с использованием флотационно-фильтрационной установки [Текст] / А.В. Топорков, А.М. Топоркова, П.П. Пурыгин // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во Спутник+, 2008. – С. 304–307.

4. Топорков А.В. Локальная флотационно-фильтрационная очистка сточных вод с повышенным содержанием нефтепродуктов [Текст] // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2011. – № 26. – С. 55–66.

Прочие публикации по теме диссертации

5. Программа анализа и обоснования технико-экономических и экологических показателей при проектировании систем водоснабжения. Свидетельство об официальной регистрации

программы для ЭВМ № 2007612092 / А.В. Топорков. Заявл. 11.04.2007. Зарегистрировано 23.05.2007.

6. Патент № 70510 Российская Федерация, МПК C02F1/24. Установка для флотационно-фильтрационной очистки воды / А.В. Топорков, А.М.Топоркова; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО “Самарский государственный университет путей сообщения”. – № 2007134702/22; заявл. 17.09.2007; опубл. 27.01.2008.

7. Патент № 85893 Российская Федерация, МПК C02F1/24. Установка для флотационно-фильтрационной очистки воды / А.В. Топорков, А.М. Топоркова; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО “Самарский государственный университет путей сообщения”. – № 2009111892.22; заявл. 31.03.2009; опубл. 20.08.2009.

8. Топорков, А.В. Разработка установки очистки промышленных стоков от нефтепродуктов и оценка её экономической эффективности [Текст] / А.В. Топорков, П.П. Пурыгин // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование: Сборник трудов I Международной научно-практической конференции. Т. 3 – СПб: Изд-во политехнического университета, 2005. – С. 223–224.

9. Топорков, А.В. Оценка сорбционных свойств наполнителей керамической природы, используемых в колоннах, оснащённых барбатирующей установкой [Текст] / А.В. Топорков, Н.С. Лапин // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта: Материалы II Международной научно-практической конференции. – Самара, СамГАПС, 2005. – С. 301–302.

10. Топорков, А.В. Разработка установки очистки сточных вод замкнутыми системами [Текст] / А.В. Топорков, Н.С. Лапин // Актуальные проблемы современной науки. Естественные науки. Ч. 13. Экология: Материалы I Международного форума (6-й Международной конференции). – Самара, СамГТУ, 2005. – С. 147–150.

11. Топорков, А.В. К вопросу оптимизации замкнутых систем водоснабжения [Текст] / А.В. Топорков // Достижения ученых XXI века: Сборник материалов 2-й международной научно-практической конференции. – Тамбов: изд-во ТГТУ, 2006. – С. 59–60.

12. Топорков, А.В. К вопросу эффективности замкнутых систем водоснабжения и канализации [Текст] / А.В. Топорков // Экологические проблемы современности: Сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2006. – С. 139–142.

13. Топорков, А.В. Критерии оптимальности при проектировании и выборе промышленного оборудования очистки сточных вод от нефтепродуктов [Текст] / А.В. Топорков // Информационные системы и модели в научных исследованиях промышленности и экологии: Доклады IV Всероссийской научно-технической конференции. – Тула. Изд-во ТулГУ, 2008 – С. 113–115.

14. Топорков, А.В. Экологические аспекты очистки сточных вод на предприятии [Текст] / А.В.Топорков, П.П. Пурыгин // Дни студенческой науки: Сборник материалов XXXII научной конференции студентов и аспирантов. Вып. 6. – Самара: Изд-во СамГАПС, 2005. – С. 176–177.

15. Топорков, А.В. Оценка свойств фильтрующих наполнителей, используемых в барбатирующей установке очистки сточных вод [Текст] / А.В.Топорков, Н.С. Лапин, П.П. Пурыгин // Дни студенческой науки: Сборник материалов XXXIII научной конференции студентов и аспирантов. Вып. 7. – Самара: Изд-во СамГАПС, 2006. – С. 216–217.

16. Топорков, А.В. К вопросу обоснования и расчёта технико-экономической части проектов систем водоснабжения [Текст] / А.В. Топорков, П.П. Пурыгин // Дни студенческой науки: Сборник материалов XXXIV научной конференции студентов и аспирантов. Вып. 8. – Самара: Изд-во СамГАПС, 2007. – С. 109.

17. Топорков, А.В. Автоматизация систем очистки сточных вод [Текст] / А.В.Топорков, А.М. Топоркова, П.П. Пурыгин // Дни студенческой науки: Сборник материалов XXXV научной конференции студентов и аспирантов. Вып. 10. – Самара: Изд-во СамГУПС, 2009. – С. 55.

ТОПОРКОВ Антон Владимирович

**ФЛОТАЦИОННО-ФИЛЬТРАЦИОННАЯ ОЧИСТКА
СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КЕРАМЗИТО-ДИАТОМИТОВОГО СОРБЕНТА**

Автореферат

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 21.11.2011. Формат 60x84^{1/16}
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Суг.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,17. Заказ № 2093. Тираж 100.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.