

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников
по политехническим, естественным, математическим дисциплинам для
учащихся 9-11 классов

Направление: химия

Очистка сточных вод нефтепереработки

Макашова Анастасия Дмитриевна
202 класс, МБОУ Лицей №1
г.Пермь

Бахирева Ольга Ивановна
Преподаватель химии, доцент ПНИПУ

Пермь. 2018.

Abstract

This research is devoted to the problem of the pollution of the waste water of the petroleum refining and the petrochemistry.

The main subject of it is to study the methods of the wastewater treatment after the oil refining.

The aim of the research is:

- to study the problem of the occurrence of the waste water contamination with the oil products
- to analyze the methods of the wastewater treatment
- to choose the most affordable ones
- to make the calculations and to make a chemical experiment for the evaluation of cleaning

To achieve the aim it was necessary to accomplish the following:

- to study the types and the main sources of the oil and oil pollution
- to study the methods of the wastewater treatment, to choose the most effective and affordable
- to make up an experiment showing more efficient and safe methods
- to analyze the results and to make the conclusions

During the research was found out that the flameless of the oil burning, water filtration by the filter paper, sand, charcoal are the most available.

It has become obvious that the charcoal cleans water with oil pollution better and flameless burning allows to save the forest.

In conclusion it should be noted that the objectives set in the beginning of the research have been accomplished.

Оглавление	
Актуальность	3
Введение	4
1. Литературный обзор	5
1.1. Виды и основные источники нефтяных и нефтепродуктовых загрязнений	5
1.2. Методы очистки производственных сточных вод	7
1.3. Способы очистки нефтепродуктовых загрязнений	10
1.4. Задачи исследования:	12
2. Экспериментальная часть	13
2.1. Методика проведения эксперимента беспламенного горения нефти. 13	
2.2. Методика проведения очистки воды методом фильтрования	16
Вывод	17
Заключение	18
Список литературы	19

Актуальность

Проблема сохранения водных ресурсов нашей планеты с каждым годом становится все более острой. Дефицит пресной воды усугубляется тем, что ее запасы на Земле распределены неравномерно.

Уже сейчас многие промышленно развитые страны испытывают ее острый недостаток. В ряде промышленных районов к настоящему времени создано такое положение, что почти весь сток пресных вод забирается на нужды производства.

Развитие промышленности, интенсификация процессов производства и сельского хозяйства влечет за собой увеличение водопотребления. Рост водопотребления приводит к увеличению количества сточных вод. Вода, используемая на нужды промышленности, не только сама загрязняется, но, попадая в открытые водоемы, может привести к нарушению его гидрохимического и гидробиологического режимов.

Охрана и рациональное использование такого ценнейшего природного ресурса, каким является вода, с полным основанием может быть отнесена к разряду крупнейших экономических проблем.

Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность в настоящее время играет огромную роль в экономике нашего государства. К сожалению, процессы добычи, переработки, транспортировки и хранения нефти всегда сопровождаются выбросом в окружающую среду углеводородов, отравляющих ее. Вследствие высокой токсичности, по данным ЮНЕСКО, нефтепродуктовые загрязнения принадлежат к числу десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. [10]

Введение

Пермский край является одним из основных индустриальных центров России. Экономика области индустриального типа, включает в себя более 500 крупных и средних предприятий различных отраслей. Ведущими отраслями Пермского края являются машиностроение, химия и нефтехимия, топливная промышленность, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность.

Сточные воды предприятий нефтепереработки и нефтехимии высокотоксичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую опасность. Очистка этих стоков до параметров, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными требованиями, традиционными способами практически невозможна. Кроме того, в некоторых случаях высокая загрязненность воды, используемой в технологических процессах, приводит к значительным экономическим потерям, часто необратимым [9].

1. Литературный обзор

1.1. Виды и основные источники нефтяных и нефтепродуктовых загрязнений

Один из наиболее распространенных техногенных видов загрязнений воды, вследствие которого её нельзя не только пить, но и зачастую применять для промышленных нужд – это примеси различных нефтепродуктов.

В неё входят:

1. мазутные примеси;
2. керосиновые загрязнения;
3. бензиновые загрязнения;
4. примеси различных нефтяных масел.

Все перечисленные выше соединения высокотоксичны, из-за чего крайне опасны для экологического состояния окружающей среды. Эти нефтяные примеси заносятся в почву вместе со стоками, а уже из неё распространяются по природным и искусственным водоемам, на которых и установлены водозаборы, снабжающие гражданские и промышленные объекты.

Нефтяные и нефтепродуктовые примеси делятся на следующие категории:

- легко отделимые;
- трудноудаляемые;
- растворимые.

Трудноудаляемые виды примесей, как правило, находятся в капельном (грубодисперсном) состоянии. В зависимости от их количества, они могут образовывать на водной поверхности либо плавающую пленку, либо цельный поверхностный слой. Такие примеси составляют большую часть нефтяных загрязнений.

Легко отделимые примеси составляют гораздо меньшую часть. В основном при соединении их с водой образуется эмульсия. Если вовремя не принять мер по её удалению, то она, вследствие своей высокой устойчивости, может сохраняться в воде длительное время. Однако, соответствующая обработка загрязненной эмульсией воды переводит этот вид примесей в такое состояние, которое с легкостью можно удалить.

Растворимых соединений – еще меньше, поскольку органические компоненты, составляющие структуру нефти и нефтепродуктов, плохо растворяются в воде. Однако, концентрация нефтепродуктов, точнее – их водорастворимых соединений, при длительном контакте загрязнений с водой постепенно увеличивается.

К основным источникам такого рода водных загрязнений относятся:

1. нефтехранилища;
2. нефтеперерабатывающие предприятия (НПЗ);
3. предприятия, обеспечивающие транспортировку нефти и нефтепродуктов;
4. нефтеперевалочные базы (раздача топлива);
5. иные предприятия, входящие в топливно-энергетической комплекс.

Технологические процессы большинства перечисленных выше предприятий допускают разливы нефтепродуктов и сырой нефти, а также предусматривают такие процессы, как: мытье оборудования и резервуаров с помощью воды или водных растворов; слив конденсата, который образует высокая концентрация паров нефтепродуктов и воды, загрязненной нефтепродуктами; попадание в промышленные стоки оборотной воды, загрязненной нефтяными примесями через подшипники и сальники применяемого оборудования. Помимо этого, загрязненные нефтепродуктами сточные воды образуются в случаях нарушения герметичности емкостей для хранения таких продуктов, и в результате процесса конденсации влаги из воздуха.

Нельзя не сказать и еще об одном факторе, провоцирующем загрязнение. В некоторых разновидностях нефтепродуктов (например, в топливе различных марок) могут содержаться до двух процентов разных добавок, которые в случае длительного хранения способны выпадать в осадок. В таких случаях промывка оборудования приводит к попаданию этих добавок в промышленные стоки. Хотя доля загрязнений этого типа и небольшая, но зачастую такие вещества обладают повышенной токсичностью, весьма опасной для человеческого организма.

Чтобы свести к минимуму вероятность загрязнения водоемов отходами нефти и нефтепродуктов, поступающих с промышленными стоками с предприятий топливно-энергетического комплекса, необходимо уделить особое внимание тому, чтобы очистка сточных вод от нефтепродуктов была максимально эффективной, и максимальному ужесточению контроля содержания нефтяных примесей в используемой воде [2].

1.2. Методы очистки производственных сточных вод

Характер и состав вод, сбрасываемых предприятиями химической и нефтеперерабатывающей промышленности весьма разнообразны, разнообразны поэтому и методы очистки их от загрязнений. Выбор метода очистки зависит от многих факторов и прежде всего от физического состояния содержащихся в стоках загрязнений.

Также выбор метода находится в зависимости от того, в каком состоянии находится растворенное вещество – в молекулярно-растворенном или в диссоциированном на ионы. В первом случае могут быть использованы сорбенты, обработка вод очистителем и др., во втором случае используют главным образом методы, направленные на образование нерастворимых соединений с последующим их удалением из стоков механическим способом.

Применяются пять основных методов очистки:

- 1) Механическая;
- 2) Физико-химическая;
- 3) Химическая;
- 4) Биохимическая;
- 5) Термическая;

Методы механической очистки стоков

В качестве самостоятельного способа механическая очистка сточных вод применяется в тех случаях, когда очищенная таким методом вода пригодна либо для использования для нужд технологического производственного процесса, либо может быть спущена в естественный водоем без нанесения какого-либо вреда его экологическому состоянию. Во всех прочих случаях этот метод служит для первичной очистки воды от примесей нефтепродуктов. Механический метод очистки дает возможность удалить от 60-ти до 65-ти процентов взвешенных частиц различных веществ.

Наиболее часто используемыми методами механической очистки стоков от нефтяных и нефтепродуктовых загрязнений являются:

- отстаивание;
- центробежное удаление загрязняющих воду примесей;
- фильтрация.

Во время отстаивания те примеси, плотность которых выше, чем плотность воды, оседают на дно, а те примеси, чья плотность, наоборот, ниже водяной, всплывают на поверхность. Сооружения для такого способа механической очистки называются отстойники. Они представляют собой резервуары, находящаяся в которых сточная вода очищается, находясь в состоянии покоя.

На предприятиях нефтедобычи, нефтепереработки и нефтетранспорта, как правило, используются так называемые статические виды отстойников. Выдержка в них стоков в течение от шести часов до суток позволяет удалить от 90 до 95 процентов легко отделимых видов загрязнений и некоторую (правда, весьма незначительную) часть примесей трудноудаляемого типа.

Методы физико-химической очистки стоков весьма разнообразны и в большинстве случаев требуют применения реагентов. Многие из них основаны на изменении физического состояния загрязнений, которое облегчает их удаление из стоков. Сюда относятся, например, *коагуляция*, увеличивающая размер загрязняющих частиц и облегчающая их осаждение, *флотация*, при которой примесям придают большую плавучесть и они всплывают на поверхность воды.

Загрязнения поглощаются твердыми или жидкими *сорбентами* и удаляются с ними, при применении метода *эвапорации* – отгоняются из раствора при нагревании как более летучие, чем вода. За последнее время широко применяют ионный обмен, т.е. извлечение из водных растворов различных катионов и анионов при помощи твердых веществ ионитов, с последующей регенерацией и использованием загрязнителя.

Химическую очистку применяют в тех случаях, когда выделение загрязнителей возможно только в результате химической реакции между загрязнителями и вводимыми реагентами с образованием новых веществ, которые легко удалить из сточных вод. При химической очистке протекают реакции конденсации, окисления, нейтрализации, в результате которых получают нетоксичные или менее токсичные вещества, растворимые в воде соединения превращаются в нерастворимые и легко отделяются, кислые и щелочные стоки – нейтрализуются.

Биохимическая очистка основана на способности некоторых микроорганизмов разрушать органические и некоторые неорганические соединения (например, сульфиды и соли аммония), превращая их в безвредные продукты окисления: воду, двуокись углерода, нитрат- и сульфат-ионы и др. Считается, что все органические вещества за исключением искусственно синтезированных (для некоторых в природе нет микроорганизмов, способных их разрушать), могут в той или иной степени разрушаться микроорганизмами. Микроорганизмы могут окислять органические вещества при небольшой их концентрации, что является важным достоинством способа биохимической очистки.

Очищенные биохимическим способом производственные сточные воды отвечают санитарно-гигиеническим требованиям и рыбохозяйственным нормативам, и их можно спускать в водоемы, а также использовать в оборотном водоснабжении. Целесообразна биохимическая очистка производственных сточных вод совместно с хозяйственно-бытовыми водами,

так как последние приносят азотистые вещества, необходимые для питания и размножения микроорганизмов. Недостатком биохимической очистки является малая скорость окислительных процессов, вследствие чего для них необходимы очистные сооружения больших объемов.

Биохимическая очистка является обычно завершающей стадией очистки сточных вод химических нефтеперерабатывающих предприятий.

Способы термической очистки сточных вод заключаются в полном окислении при высокой температуре (при сгорании) загрязняющих веществ с получением нетоксичных продуктов сгорания и твердого остатка. Возможны различные варианты применения термического способа, начиная от полного уничтожения стоков с небольшим количеством твердого остатка и до значительного уменьшения (упаривания) их, после чего концентрированные растворы можно либо захоронять в отвалах, либо использовать для получения ценных продуктов. Но в любом варианте термическая очистка исключает загрязнение стоками водоемов, это является ее большим достоинством.

При термической очистке приходится испарять огромные количества воды, что связано с большим расходом тепла и требует аппаратов большого объема. Этот способ экономически нецелесообразен при больших объемах сточных вод и при малых концентрациях загрязнителей [1].

1.3. Способы очистки нефтепродуктовых загрязнений

1. Беспламенное горение нефти.

Беспламенное горение заключается в том, что топливо сжигается на поверхности некоторых огнеупорных материалов (керамика, карборунд), катализирующих процесс горения, в результате чего видимого пламени не образуется, а поверхность огнеупорного материала сильно раскаляется.

Беспламенное горение характеризуется тем, что горение готовой горючей смеси происходит в непосредственной близости с раскаленными керамическими поверхностями. Поэтому этот вид горения получил также название поверхностного.

Принцип беспламенного горения с радирующей насадкой-слоем состоит в том, что смесь горючих газов и воздуха пропускают через пористую насадку, выполненную из монолитного куска огнеупора (шамота и динаса) со скоростью, превышающей скорость воспламенения газозооушной смеси. Выходящий из насадки газ поджигается; при этом горение вначале протекает в обычных условиях, затем пламя постепенно уменьшается и при разогреве насадки до яркого накала горение концентрируется на внешней [4].

2. Жидкофазное окисление («мокрое» сжигание)

Сущность метода заключается в окислении органических компонентов сточных вод кислородом воздуха при относительно невысокой температуре (до 35 0С). В зависимости от условий реакции примеси окисляются полностью или частично.

Преимуществом жидкофазного окисления является экономия энергоресурсов, необходимых для нагревания жидкости [3].

3. Крекинг нефтепродуктов

Крекинг – это сложный химический процесс, так как сырьем является смесь различных углеводородов (УВ). Наименее устойчивыми к нагреванию являются парафины, наиболее устойчивыми – нафтенy и ароматические УВ.

При температуре 450-550С идет распад молекулы парафина с разрывом связи по середине цепи с образованием предельного УВ и непредельного:



У низших парафинов наблюдается дегидрирование: $C_4H_{10} \rightarrow C_4H_8 + H_2$

4. Перегонка нефти

Перегонка нефти – процесс разделения ее на фракции по температурам кипения (отсюда термин «фракционирование») – лежит в основе переработки нефти и получения при этом моторного топлива, смазочных масел и различных других ценных химических продуктов.

Основные фракции нефти, температурный диапазон кипения, их химический состав и области применения.

Газовая фракция-температура кипения до 40 градусов; содержит алканы $C_{H4}-C_{4H_{10}}$

○ Бензиновая фракция-температура кипения 40-200 градусов; Содержит углеводороды $C_{5H_{12}}-C_{11H_{24}}$

○ Лигроиновая фракция-температура кипения 150-200 градусов; содержит углеводороды состава $C_{8H_{18}}-C_{14H_{30}}$

○ Керосиновая фракция- температура кипения 180-300 градусов; включает углеводороды состава $C_{12H_{26}}-C_{18H_{38}}$

○ Гайзоль - температура кипения 270-350 градусов, подвергается крекингу. [5]

5. Очистка воды методом фильтрования (с помощью древесного угля).

Фильтрование проводят в фильтрах с загрузкой из кварцевого песка с размером частиц 0,5 – 2 мм. Высота слоя загрузки песка в фильтрах — до 2 метров. На очистку в фильтрах должна поступать сточная вода, в которой содержание нефтепродуктов не превышает 50 мг/л. Чем выше содержание нефтепродукте в сточной воде, тем ниже будет эффективность очистки.

Другие загрузки, используемые в качестве фильтров при очистке от нефтепродуктов: торф, древесные опилки, гидрофобный вспученный перлит, полиуретан, пенополиуретан, гидрофобный кремнезем, сульфоуголь (предварительно обработанный в натрий-катионных фильтрах). Перечисленные материалы отличаются значением поглотительной способности, измеряемой в кг/кг: [7]

Таблица 1. Значение поглотительной способности материала (кг)

Кварцевый песок	0,11
Антрацит	0,2
Сульфоуголь	0,22
Нефтяной кокс	0,23
Горелая порода	0,26
Котельный шлак	0,21
Керамзит	0,33
Сырой дробленый диатомит	0,83
Активированный уголь (марка БАУ)	0,89

1.4. Задачи исследования:

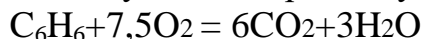
- Изучить виды и основные источники нефтяных и нефтепродуктовых загрязнений и их вред.
- Изучить методы очистки производственных сточных вод.
- Термодинамическими расчетами показать возможность проводимых реакций.
- Показать возможность опыта беспламенного горения нефти в лабораторных условиях.
- Оценить возможность поглощения нефти из воды с помощью угля, фильтровальной бумаги, песка. Понять, какой способ наиболее действенный.

2. Экспериментальная часть

2.1. Методика проведения эксперимента беспламенного горения нефти.

А) Опыт и реакция:

На керамическую плитку нанести несколько капель нефти. На поверхность насыпать оксид хрома (III), полученный при разложении бихромата аммония. Тлеющей лучинкой прикоснуться к катализатору (оксиду хрома(III)).



Б) Термодинамические расчеты:

Направление протекания реакции, а также её возможность определяем по изменению энергии Гиббса:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$\Delta G < 0$ – реакция протекает самопроизвольно;

$\Delta G = 0$ – реакция находится в состоянии равновесия;

$\Delta G > 0$ – несамопроизвольная реакция (самопроизвольна обратная реакция).

Знак ΔG , а значит, и самопроизвольность реакции зависит от величины соотношения ΔH и $T\Delta S$.

- При высоких температурах, т.е. при T стремящимся к бесконечности, величиной ΔH в уравнении можно пренебречь, значит $\Delta G \approx -T\Delta S$.

- При температурах, стремящихся к нулю, $-T\Delta S$ также стремится к нулю, следовательно, $\Delta G \approx \Delta H$.

Из этого следует, что у нас есть 4 случая [8]:

1) $\Delta H > 0, \Delta S > 0$.

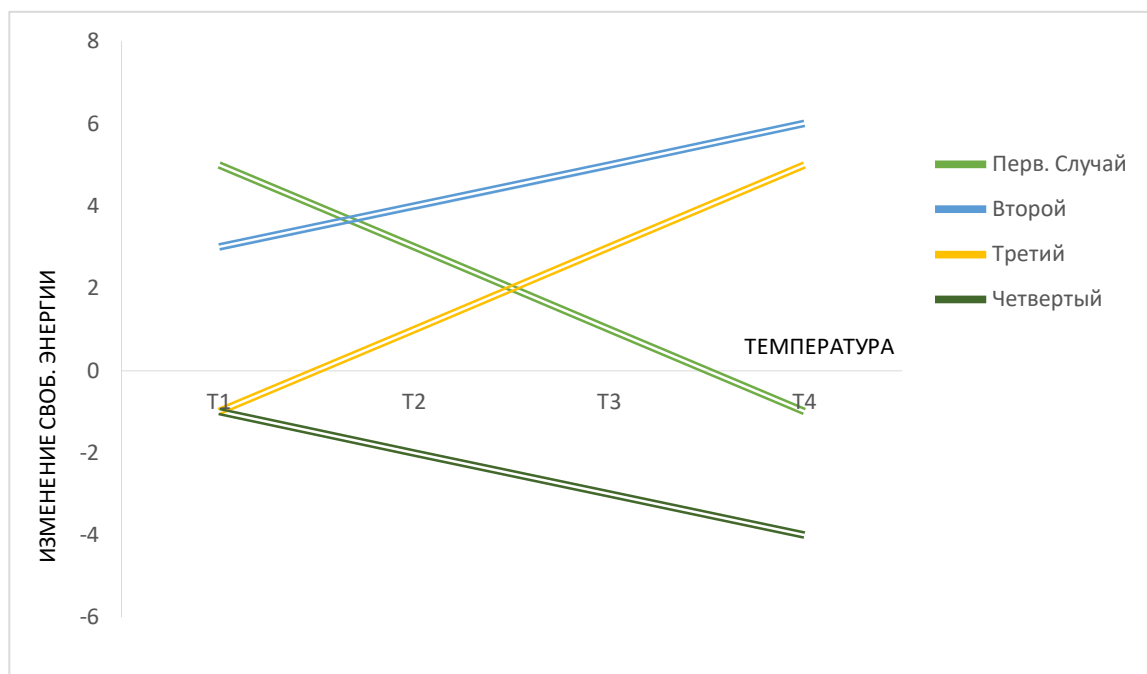
2) $\Delta H > 0, \Delta S < 0$.

3) $\Delta H < 0, \Delta S < 0$.

4) $\Delta H < 0, \Delta S > 0$.

Покажем их на графике, приведя приблизительные температуры и изменения энергии Гиббса.

Рисунок 1. Изменение свободной энергии Гиббса



Из графика видно, что:

- В первом случае видно, что процесс идет при высоких температурах.
- Во втором случае процесс не идет.
- В третьем случае идет при низких температурах.
- В четвертом случае идет при любых температурах.

Для расчетов стандартные теплоты образования и энтропии веществ, участвующих в химической реакции, берем из справочника:

Таблица 2. Стандартные теплоты образования и энтропии веществ

Вещество	C ₆ H ₆	O ₂	CO ₂	H ₂ O
Стандартная энтальпия образования ΔH^0_{298} , кДж/моль	49,0	0	-	-
S^0_{298} , Дж/моль·К	173,	205,0	213,	188,7
	2	3	6	4

Согласно первому следствию из закона Гесса тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования реагирующих веществ с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\Delta H^0_{298} = \sum n \Delta H^0_{298}(\text{прод}) - \sum m \Delta H^0_{298}(\text{исх})$$

$$\Delta H^0_{298} = 6\Delta H^0_{298}(\text{CO}_2) + 3\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H^0_{298}(\text{C}_6\text{H}_6) - 7,5\Delta H^0_{298}(\text{O}_2) = 6(-393,51) + 3(-241,81) - 49,04 - 7,5*0 = -3135,53 \text{ кДж.}$$

Изменение энтропии в химической реакции (S^0_{298}) определяет степень беспорядка в системе. В нашем примере ΔS возрастает, так как образуется большее число газообразных молекул ($\Delta S > 0$).

Изменение энтропии в химической реакции определяем по формуле:

$$\Delta S^0_{298} = \sum n S^0_{298}(\text{прод}) - \sum m S^0_{298}(\text{исх}).$$

$$\Delta S^0_{298} = 6S^0_{298}(\text{CO}_2) + 3S^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - S^0_{298}(\text{C}_6\text{H}_6) - 7,5S^0_{298}(\text{O}_2) = 6(213,6) + 3(188,74) - 173,2 - 7,5(205,03) = 136,895 \text{ Дж/К.}$$

Изменение энергии Гиббса в химической реакции при стандартных условиях ($T=298\text{K}$):

$$\Delta G^0_{298} = \Delta H^0_{298} - T\Delta S^0_{298}.$$

$$\Delta G^0_{298} = -3135,53*10^3 - 298*136,895 = -3175,79 \text{ кДж}$$

Изменение свободной энергии Гиббса действительно меньше нуля, из чего можно сделать вывод, что *реакция возможна*

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_p.$$

Вычислим $\ln K_p$:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta G}{RT};$$

При $T=298\text{K}$

$$\ln K_p = -\frac{-3175794}{8,31*298} = 1282,43$$

Равновесная смесь богаче продуктами при такой температуре, когда значение K_p выше. Для нашего примера это соответствует e^{1282} .

Следовательно, реакция **возможна и протекает самопроизвольно**.

2.2. Методика проведения очистки воды методом фильтрования.

Описание:

В три стаканчика наливаем воду, капаем в каждый несколько капель нефти. Сворачиваем бумажный фильтр. Помещаем свернутый бумажный фильтр в воронку. Слегка смачиваем фильтр для того, чтобы он прилип к воронке. Закрепляем воронку. Делаем таких две штуки.

А) Описание опыта с углём:

В первый стаканчик засыпаем уголь, а после пропускаем его через фильтровальную бумагу. Следим, чтобы жидкость не протекала между фильтровальной бумагой и воронкой и чтобы уровень жидкости находился ниже верха бумажного фильтра.

Б) Описание опыта с фильтровальной бумагой:

Воду с нефтью из второго стаканчика пропускаем через фильтровальную бумагу. Также следим, чтобы жидкость не протекала между фильтровальной бумагой и воронкой и чтобы уровень жидкости находился ниже верха бумажного фильтра.

В) Описание опыта с песком:

В воронку помещаем ватку, сверху насыпаем песок. Пропускаем воду из третьего стаканчика через песок.

Таблица 3. Опыт очистки воды методом фильтрации

Номер стаканчика	Через что пропускаем или что присутствует в жидкости	Цвет воды после фильтрации
1	Уголь, фильтровальная бумага	Прозрачная
2	Фильтровальная бумага	Чуть мутная (бледно-жёлтый)
3	Песок	Мутная (желтый)

Вывод

В результате учебно-исследовательской работы выяснено, что один из наиболее распространенных техногенных видов загрязнений воды - это примеси различных нефтепродуктов. Они высокотоксичны, из-за чего крайне опасны для экологического состояния окружающей среды. Такие нефтяные примеси заносятся в почву вместе со стоками, а уже из неё распространяются по водоемам, на которых и установлены водозаборы, снабжающие гражданские и промышленные объекты.

В данной работе рассмотрены методы очистки воды, позволяющие очищать сточные воды нефтепереработки с получением пригодной для использования воды. Предложенные методы очистки не являются универсальными, так как не все из них являются эффективными.

С помощью термодинамических расчетов показано, что реакция беспламенного горения нефти возможна. После проведен опыт, доказывающий это.

На примере древесного угля, фильтровальной бумаги и песка показано, что возможна очистка каждым из фильтратов, однако древесный уголь лучше и действеннее очищает нефть из воды.

Заключение

Нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных антропогенных загрязнителей поверхностных водоемов и водотоков, в некоторых регионах и подземных источников питьевого водоснабжения. Предельные и ароматические углеводороды оказывают токсическое и наркотическое воздействие на организм и окружающую среду, поэтому настоящее время очистка сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий является актуальной экологической проблемой.

Список литературы

1. В.П.Кушелев «Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами»
2. <https://neftok.ru/raznoe/ochistka-stochnyh-vod-ot-nefteproduktov.html>
3. <http://ochistivodu.ru/tipy-filtratsionnykh-sistem-dlia-ochistki-stochnykh-vod/termicheskaia-ochistka-stochnykh-vod>
4. <http://www.ngpedia.ru/id646531p1.html>
5. <https://studfiles.net/preview/5566573/>
6. https://studopedia.ru/10_135187_opit--ochistka-vodi-metodom-filtrovaniya-adsorbtsiya-filtrovanie-na-drevesnom-ugle.html
7. <http://www.vo-da.ru/articles/ochistka-nefteproduktov-elektrostantsiy/metod-filtrovaniya>
8. <https://infopedia.su/12x2be.html>
9. <http://www.bestreferat.ru/referat-184322.html>
10. <https://www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=-166118>