

12. Гайдин А.М. Влияние техногенной деятельности на соляной карст. Екологія і природокористування. Вип. 11, Львів, 2008.
УДК 628.3

Субботкин Л.Д., профессор, Вербицкая Н.Ю., магистр.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства.

Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ методом электрофлотокоагуляции

*Очистка сточных вод от СПАВ методом электрофлотокоагуляции в лабораторных условиях с использованием искусственной сточной воды,
сточные воды, СПАВ, электрофлотокоагуляция.*

Наиболее распространенным видом загрязнений, обладающих биорезистентными свойствами, являются синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Широкое использование этих веществ, как основы моющих, стабилизирующих и пенообразующих препаратов, обуславливает их присутствие в большинстве видов производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Исследования многих авторов показывают существенное влияние СПАВ на все живые организмы, растения и человека. Наличие СПАВ даже в незначительном количестве в животном организме изменяет проницаемость мембран, оказывает влияние на кумуляцию различных веществ, в том числе вредных, повышая их токсичность.

Известно отрицательное влияние СПАВ и на неорганическую среду – это эрозия почв, повышение коррозии металлов, ускорение процессов старения железобетонных конструкций. При взаимодействии с другими загрязнениями СПАВ способствуют эмульгированию и стабилизации жидких и твердых дисперсных видов загрязнений. Поэтому сточные воды, содержащие СПАВ, характеризуются сложным химическим и фазово-дисперсным составом, позволяющим рассматривать их как особый вид сточных вод [1, 2].

Классификация сточных вод, содержащих СПАВ, по концентрации и составу сопутствующих загрязнений приведена в табл. 1.

Таблица 1.

Классификация сточных вод, содержащих СПАВ, по концентрации и составу
сопутствующих загрязнений

Типы сточных вод	Сточные воды с высокой концентрацией СПАВ	Сточные воды со средней концентрацией СПАВ	Сточные воды с низкой концентрацией СПАВ
Концентрация СПАВ, мг/л	100 – 10000	10 – 100	до 10
Источники образования	Моющие растворы высокой начальной концентрации характерны для большинства водоемких производств легкой промышленности, предприятия коммунально-бытового обслуживания	Производственные процессы с использованием СПАВ в качестве смачивателей, эмульгаторов, стабилизаторов, переходящих в сточные воды в концентрациях сопоставимых с другими загрязнениями.	Хозяйственно- бытовые сточные воды, содержание СПАВ в которых обусловлено широким использованием населением препаратов бытового назначения и

			стиральных порошков.
--	--	--	----------------------

Концентрированные растворы СПАВ образуются, главным образом, в процессах стирки и «влажной» чистки изделий, прачечных, красильно-отделочных производств, предприятий мойки автотранспорта и пр.

Сочные воды указанных производств имеют в своем составе анионоактивные вещества (АПАВ) и неионогенные вещества (НПАВ), трудно поддающиеся биохимическому разложению.

В настоящее время, для очистки сточных вод от СПАВ приходится применять целую цепочку технологических приемов, включающих различные физико-химические методы очистки, каждый из которых имеет ряд недостатков и ограничений. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от СПАВ приведен в табл. 2.

Анализ существующих методов очистки показывает, что наиболее перспективными методами являются электрокоагуляция и электрофлотокоагуляция.

Таблица 2.

Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от СПАВ

Методы очистки сточных вод	Концентрация СПАВ	Степень удаления СПАВ, %	Достоинства	Недостатки
Биоокисление Биосорбция	Низкое содержание СПАВ	до 90	Компактность и малогабаритность установок. Невысокие эксплуатационные затраты	Необходимость круглосуточной подачи воздуха для обеспечения жизнедеятельности бактерий. Необходимость предварительного удаления токсичных веществ.
Адсорбция		до 95	Высокая эффективность очистки сточных вод. Рекуперация извлекаемых веществ.	Необходимость периодической замены рабочих элементов. Проблема регенерации дорогостоящих сорбентов.
Обратный осмос		59	Высокая степень концентрирования, очистки и фракционирования многокомпонентных растворов.	Необходимость замены рабочих элементов. Процессы концентрационной поляризации и повышенное требование к уплотняющим устройствам аппаратов.
Озонирование		90	Нет ввода реагентов, вызывающих образование вторичных отходов и увеличение объема осадков.	Высокая энергоемкость, большой расход электроэнергии, использование сложной аппаратуры и высококвалифицированного персонала
Коагуляция Флокуляция	Высокое содержание	До 90	Низкая стоимость, использование широко распространенного оборудования и доступных реагентов.	Значительные капитальные и эксплуатационные затраты. Высокие дозы коагулянтов. Большой объем образующегося осадка, с высокой влажностью (до 99%)

Экстракция		98-99	Высокая эффективность очистки сточных вод. Рекуперация извлекаемых веществ.	Трудности в подборе экстрагента.
Ионный обмен		80-90	Обеспечивает высокую эффективность очистки и возвращение СПАВ в производство.	Необходимость замены рабочих элементов. Сравнительно короткий рабочий цикл.
Флотация		90	Высокая скорость разделения фаз.	Высокая энергоемкость, трудность утилизации или уничтожения пены.
Электрофлотация		50-55	Возможность регулирования степени очистки жидкости.	Высокая энергоемкость. С повышением содержания СПАВ выше 100 мг/л эффект очистки значительно снижается и увеличивается объем флотошлама.
Электрокоагуляция		98-99	Компактность установок, простота управления, отсутствие потребности в реагентах.	Необходимость замены рабочих элементов, Высокая энергоемкость. Пассивация электродов.
Гальванокоагуляция		98-99	Отсутствие реагентов и прямых энергозатрат.	Необходимость замены рабочих элементов. Трудность обслуживания.

При электрокоагуляции и электрофлотокоагуляции в обрабатываемой воде протекает сразу несколько процессов: электролиз, коагуляция, сорбция и флотация. Сочетание в себе сразу несколько технологических приемов обеспечивают высокую степень извлечения СПАВ из сточных вод.

Основываясь на анализе литературных данных, было принято решение о проведении лабораторных исследований по очистке сточных вод от СПАВ электрофлотокоагуляцией. Для этой цели была создана лабораторная установка, схема которой приведена на рис.1.

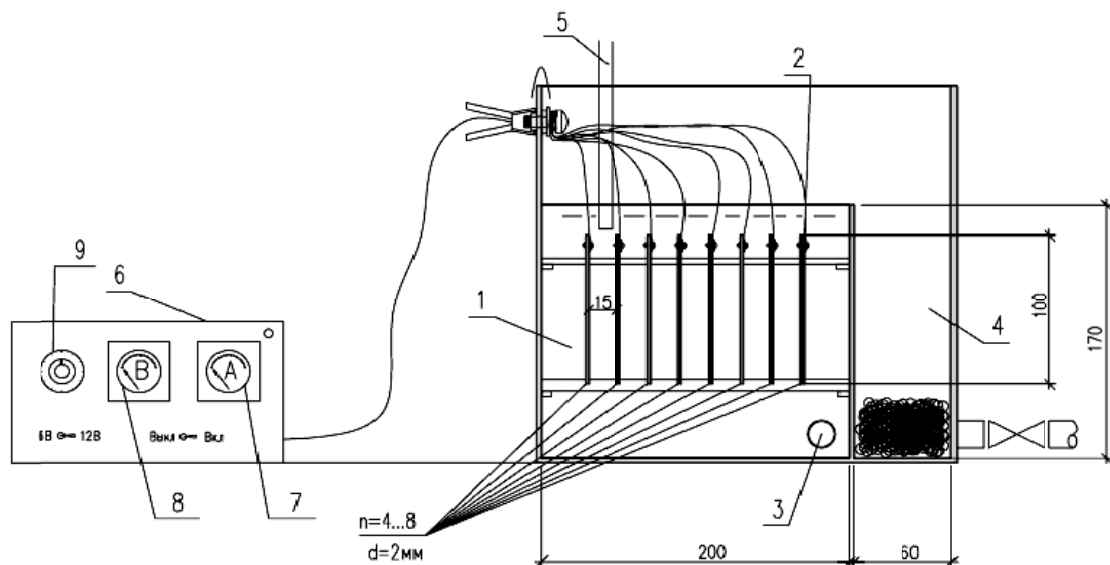


Рис. 1. Схема лабораторной установки.

1 - реакционная камера, 2 - пакет электродов, 3 - патрубок для слива очищенной воды, 4 – карман для сбора пены, 5 – ввод сточных вод, 6 – источник постоянного тока, 7 – амперметр, 8 – вольтметр, 9 – регулятор силы тока.

Лабораторная установка по очистке сточных вод от СПАВ представляет собой реакционную камеру, в которую помещается пакет железных электродов.

Расстояние между электродами, согласно рекомендациям [3], во всех экспериментах составляло 15 мм. Рабочая площадь пакета электродов – 0,091 м². Рабочий объем лабораторной установки составлял 3,4 л.

Лабораторная установка работает следующим образом. В реакционную камеру 1 через патрубок 6 подается исходная сточная вода. Пакет электродов 2 подключается к источнику постоянного тока, с помощью которого регулируются активность тока, пропускаемого через раствор. На поверхности электродов происходит генерация ионов металла с образованием гидроокисей. Одновременно с этим происходит гидролиз воды с выделением на катоде водорода, а на аноде – кислорода. Одновременное образование хлопьев коагулянта и пузырьков газа в стесненных условиях межэлектродного пространства создает предпосылки для надежного закрепления газовых пузырьков на хлопьях и интенсивной коагуляции загрязнений, что обеспечивает эффективность флотационного процесса. Образующийся в процессе очистки пенный продукт отводится в карман для сбора пены 5, а очищенный сток сливается через патрубок 4 и направляется на отстаивание.

Экспериментальные исследования проводились на искусственной сточной воде постоянного состава, для приготовления которой использовались следующие компоненты:

- водопроводная вода,
- стиральный порошок Persil (загрязнение по ПАВ, $C_{\text{пав}} = 200$ мг/л),
- белая глина (загрязнение по взвешенным веществам, $C_{\text{вв}} = 200$ мг/л),
- сахар (загрязнение по БПК, $L = 100$ мг/л).

Стиральный порошок Persil имел следующий состав: 5% - 15% анионные ПАВ, < 5% неионогенные ПАВ, фосфонаты, поликарбоксилаты, энзимы, отдушка.

Этапу экспериментальных исследований по очистке сточных вод от СПАВ предшествовал этап планирования эксперимента [4].

В качестве основных факторов варьирования во всех экспериментах были приняты:

- 1) i_3 – плотность тока, А/м²;
- 2) $t_{\text{обр}}$ – продолжительность обработки, мин;

На основании предварительных опытов были выбраны основные значения и интервалы варьирования факторов (табл. 3).

Таблица 3.

Значение основных факторов и интервалов варьирования

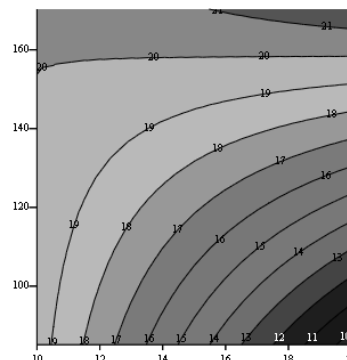
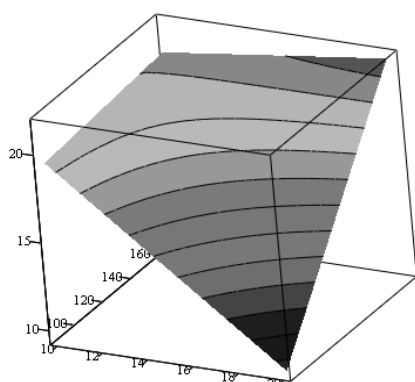
Фактор	Основной уровень	Интервал варьирования	Минимальное значение	Максимальное значение
i_3 , А/м ²	128	43	85	171
$t_{\text{обр}}$, мин	15	5	10	20

В ходе работы был составлен и выполнен двухфакторный эксперимент, в результате которого были получены математические модели очистки сточных вод прачечных комбинатов. Были найдены уравнения и построены функции отклика для изменения: остаточного содержания ПАВ (рис. 2), количества выпавшего осадка (рис. 3), остаточного содержания взвешенных веществ (рис. 4).

Была найдена оптимальная точка проведения процесса электрокоагуляции – время электрокоагуляции равное 20 минутам и плотность тока равная 85 А/м².

На основании результатов экспериментальных исследований, нами была разработана технологическая схема очистки сточных вод крупной механизированной прачечной производительностью 4140 кг белья в сутки (рис. 5).

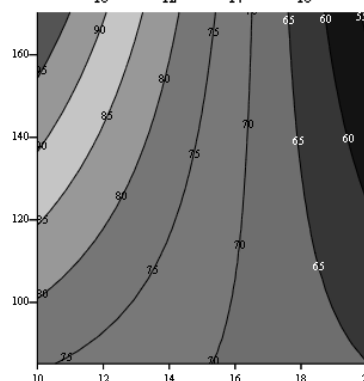
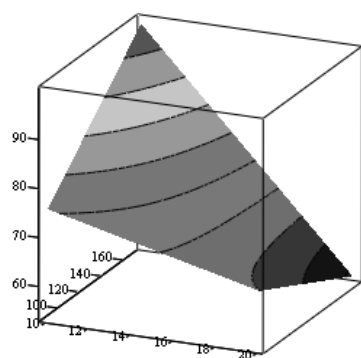
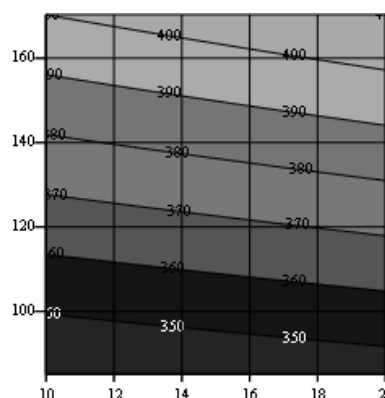
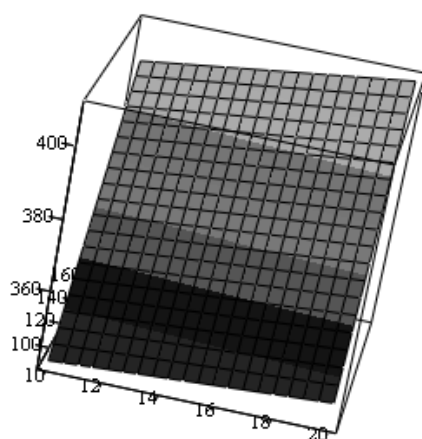
Производственные сточные воды на прачечных комбинатах образуются в стиральном цехе. Сточные воды стиральных машин после каждой операции: стирки, первичного полоскания, вторичного полоскания, отжима, отводятся из машин в виде залповых сбросов. При этом сточные воды после каждой операции имеют разную степень загрязнений, в том числе и ПАВ (наибольшая концентрация ПАВ наблюдается после стирки, и уменьшается с каждым полосканием), в связи с этим перед подачей сточных вод на локальные очистные сооружения необходимо усреднение сточных вод по расходу и концентрации. Из усреднителя сточная вода насосом перекачивается в



электрофлотокоагулятор (ЭФК).

Рис. 2. Изменение остаточной концентрации ПАВ в зависимости от времени электрокоагуляции в ультразвуковом поле и плотности тока.

Рис. 3. Изменение количества осадка в зависимости от времени электрокоагуляции и



плотности тока.

Рис. 4. Изменение остаточной концентрации взвешенных веществ в зависимости от времени электрокоагуляции и плотности тока.

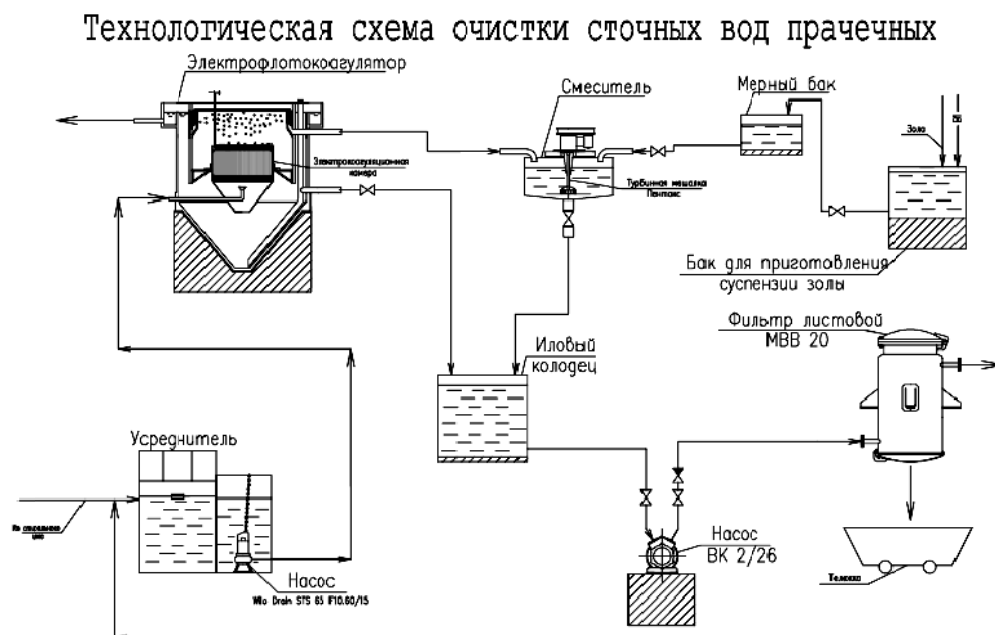


Рис. 5. Одноступенчатая схема очистки сточных вод прачечных, с дальнейшей биологической очисткой на городских КОС.

Сточные воды первоначально поступают в электрокоагуляционную камеру ЭФК. Под действием электрического тока в воду с электродов (анодов) переходит нерастворимый гидроксид железа. Сточная вода, протекая между электродами, взаимодействует с гидроксидом железа, в результате чего происходит укрупнение дисперсных частиц. Далее вода перетекает в отстойник, где хлопья коагулянта с адсорбированными загрязнениями выпадают в осадок.

Одновременно в камере происходит гидролиз воды с выделением мельчайших пузырьков кислорода и водорода, что приводит к процессу флотации.

Очищенная вода из отстойника отводится в городскую канализационную сеть, а затем на городские канализационные очистные сооружения, где проходит биологическую очистку.

Образовавшийся в результате электрофлотации пенный продукт собирается в лоток для сбора пены и отводится в мешалку. Туда же подается приготовленная суспензия глины, происходит перемешивание в течение 10 минут с последующим отстаиванием. Далее полученная суспензия поступает в иловый колодец, где перемешивается с осадком из отстойников. Из илового колодца осадок для обезвоживания насосом подается на листовой вертикальный фильтр, работающий под давлением. Фильтрат возвращают обратно в усреднитель, а полученный шлам отправляют на утилизацию.

Нами разработаны две конструкции электрофлотокоагуляторов: на базе горизонтального отстойника (ЭФКГ) и на базе вертикального отстойника (ЭФКВ).

В электрофлотокоагулятор горизонтального типа (рис. 6) сточная вода поступает в камеру электрокоагуляции сверху через распределительный карман, проходит через электроды сверху вниз и перетекает в распределительный карман горизонтального отстойника. Дойдя до конца отстойника, осветленная вода изливается через водослив в водосборный карман и отводится из отстойника.

Пена из камеры электрокоагуляции переливается через перегородку и поступает в зону отстаивания, где скребковым механизмом собирается в кармане для сбора пены.

К установке принимаем два ЭФКГ. Объем одной камеры электрокоагуляции проектируется из условия размещения электродной системы, обеспечивающей необходимый расход тока с целью получения требуемой дозы электрогенерируемого вещества.

Пена собирается в пеносборный карман и самотеком отводится из ЭФКГ в мешалку, где смешивается с глиной.

Для накопления осадка в начале каждого отделения отстойной зоны проектируется бункер в виде усеченной пирамиды, верхнее основание которого имеет размер $2 \times 0,8$ м, а нижнее $0,55 \times 1,5$ м. Высота пирамиды $0,43$ м.

В основании отстойной зоны предусматривается зона для накопления осадка. Высота зоны накопления осадка в конце сооружения равна $0,15$ м.

Осадочные части ЭФКГ необходимо опорожнять от осадка 20 раз в сутки по $0,51 \text{ м}^3$ с одного агрегата. Учитывая большую неравномерность распределения осадка по площади отстойной зоны, выгружать его рекомендуется 1 раз в час. Для перекачки осадка из ЭФКГ необходимо установить насосы, так как из-за небольшой высоты отстойной зоны невозможно выкачивать осадок под гидростатическим давлением.

Электрофлотокоагулятор вертикального типа (рис. 7) работает следующим образом. Сточная вода поступает через подводящую трубу в нижнюю часть электрокоагуляционной камеры. Пеносборный лоток расположен на внутренней стороне полупогружной цилиндрической перегородки, которая делит площадь ЭФКВ на две равные части. Глубина погружения перегородки равна $2/3$ рабочей высота ЭФКВ. По мере продвижения от перегородки к центру вода опускается вниз, распределяясь по всему сечению внутренней цилиндрической части ЭФКВ.

Интенсивное разделение жидкой и твердой фаз происходит на повороте потока в нижней части ЭФКВ. Далее сточная вода движется в вертикальном направлении в пространстве между перегородкой и наружной стенкой, где также происходит осаждение взвешенных веществ. Дойдя до верха ЭФКВ, осветленная вода изливается через водослив в водосборный кольцевой лоток и отводится в городскую канализационную сеть.

Осадок из ЭФКВ удаляют под действием гидростатического давления через иловую трубу диаметром 100 мм, выпуск которой расположен на $1,5$ — 2 м ниже уровня воды в аппарате.

В ЭФКВ обеспечивается значительное снижение скорости нисходящего потока, что способствует эффективному осаждению взвеси. Уменьшение циркуляции ведет к увеличению коэффициента использования объема ЭФКВ до $0,65$.

Методика расчета разработана на основании экспериментально установленных математических зависимостей.

К установке принимаем два ЭФКВ. Объем одной камеры проектируется из условия размещения электродной системы, обеспечивающей необходимый расход тока с целью получения требуемой дозы электрогенерируемого вещества.

Пена собирается в пеносборный кольцевой лоток и самотеком отводится из ЭФКВ в мешалку.

Высота конической части ЭФКВ равна $1,31$ м, угол наклона 50° . Объем конической части составит $2,4 \text{ м}^3$.

Удаление осадка осуществляется под гидростатическим давлением по иловой трубе в иловой колодец. Откачку осадка следует производить 5 раз в сутки по 2 м^3 из каждого ЭФКВ.

Технико-экономические расчеты показали, что более практичным и компактным будет электрофлотокоагулятор вертикального типа с нисходяще-восходящим движением воды, в котором есть возможность удалять осадок под гидростатическим давлением (в электрофлотокоагуляторе горизонтального типа потребуется установка насосов для перекачки осадка).

Кроме этого, электрофлотокоагулятор вертикального типа является более компактным и вытянутым по высоте, что позволит самотеком отводить пену и подавать смесь пены и

глины в иловый колодец самотеком. С учетом всего перечисленного к установке принимаем два вертикальных электрофлоккоагулятора с нисходяще-восходящим движением воды.

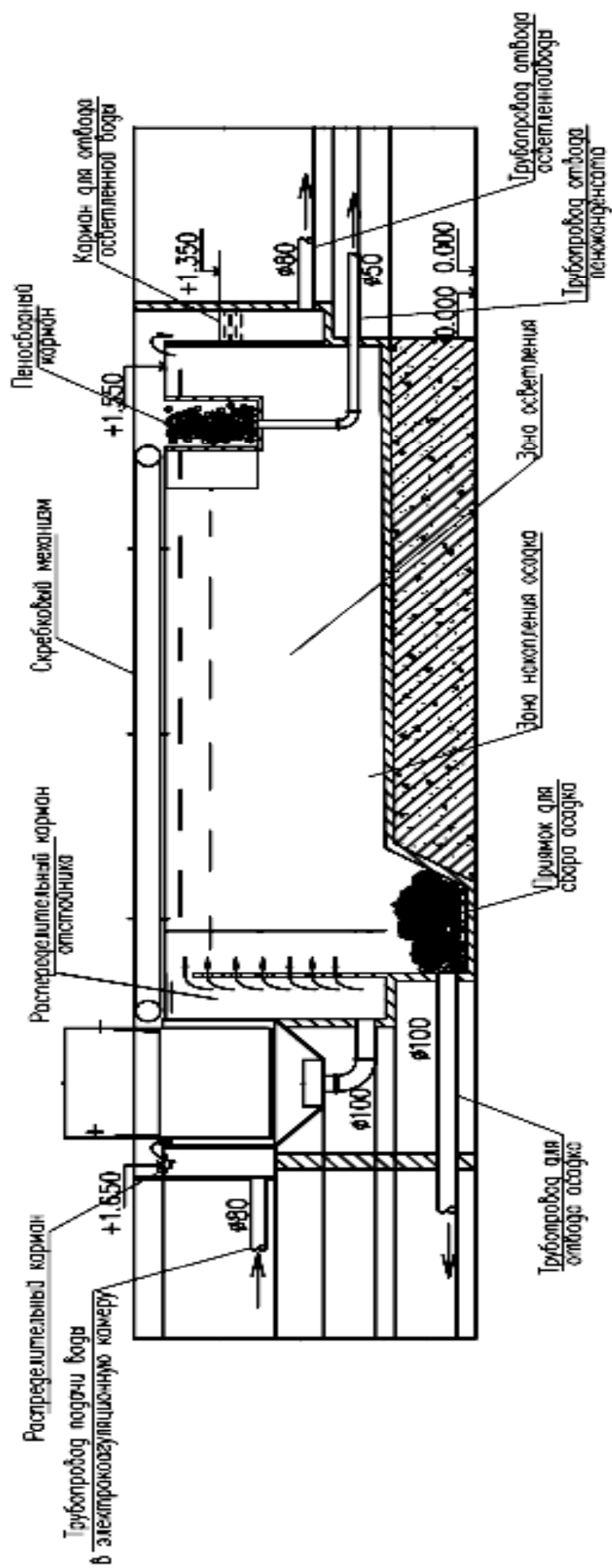


Рис. 6. Электрофлотокоагулятор горизонтального типа

Себестоимость очистки сточных вод в пересчете на 1 кг белья составила:

$$C = \frac{7,51 \cdot 310,5}{2070 \cdot 2} = 0,56 \text{ грн / кг}$$

График выручки и издержек по очистке сточной воды приведен на рис. 8.

Под точкой безубыточности понимается такая выручка и такой объем производства, которые обеспечивают покрытие всех затрат и нулевую прибыль. Как видно из графика на рис. 5 точка безубыточности для данной прачечной будет достигнута после обработки 12000 тонн белья (около 3 лет).

Выводы

1. Из известных методов очистки сточных вод от СПАВ одним из перспективных является метод электрофлотокоагуляции.
2. Для проведения экспериментальных исследований был разработан состав искусственной сточной воды. Постоянство исходного состава сточной воды позволяет сопоставлять результаты экспериментальных исследований по очистке сточных вод от СПАВ при изменяющихся параметрах работы электрофлотокоагулятора.
3. Создана лабораторная экспериментальная установка, позволяющая имитировать процессы электрофлотокоагуляции в производственных условиях.
4. В результате лабораторных исследований установлен оптимальный режим работы электрофлотокоагуляционной установки. Эффект очистки сточных вод составил 95% по СПАВ, 72% по взвешенным веществам, 43% по БПК
5. Разработаны две конструкции электрофлотокоагуляторов горизонтального и вертикального типа.

Список литературы

1. Алексеев Е.В. Эффективность технологических схем флотационных установок для очистки сточных вод от ПАВ // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. - №2. с. 30-33.
2. Систер В.Г., Киршанкова Е.В. Применение ультразвуковых технологий в процессе электрокоагуляционной очистки сточных вод от ПАВ. // Химическое и нефтехимическое машиностроение - №10 - 2005 г. - с. 38-39.
3. Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. с. 312.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. с. 280.