



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

**Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине**

**«Малоотходные
технологии»**

Автор

Вильсон Е.В.

Ростов-на-Дону, 2016

Аннотация

Методические указания предназначены для всех обучающихся, изучающих дисциплину «Малоотходные технологии систем ВВ» для выполнения курсовой работы.

Автор



К.Т.Н, доцент кафедры
«Водоснабжение и водоотведе-
ние» Вильсон Е.В.



Оглавление

Введение	4
1 Состав и объем курсовой работы. Форма защиты курсовой работы	5
2 Определение степени очистки производственных сточных вод .	7
3 Методика ранжирования с применением	9
эквивалентного процентирования	9
4 Краткое описание технологического процесса производства с указанием мест образования сточных вод	11
5 Определение возможных технологических решений очистки производственных сточных вод	14
6 Укрупненный расчет основных узлов по технологическим схемам с целью определения конструктивных параметров сооружений	16
7 Определение оптимального технологического решения на основе методики ранжирования по эквивалентному процентированию	26
Список рекомендуемой литературы	29

ВВЕДЕНИЕ

Малоотходные технологии в системах водоснабжения и водоотведения – это технологии водоподготовки и водоочистки сточных вод, при которых учитываются все производственные нужды в водных ресурсах и возможность повторного использования воды с целью минимизации использования природных вод на технологические нужды промпредприятия, а также определение оптимальной технологической схемы очистки вод при реализации которой оптимизируются затраты. Такой подход позволяет не только предотвратить загрязнение окружающей среды, снизить дополнительные затраты на ее защиту и восстановление, но и повышают экономическую эффективность производственного процесса в целом.

Очистка производственных сточных вод предполагает высокую вариабельность технологических решений. Главная задача технолога заключается в поиске оптимального решения, в основе которого лежат принципы целесообразности, технологической и экономической эффективности, надежности. При выполнении данной курсовой работы технологическая схема определяется с учетом методики ранжирования с применением эквивалентного процентирования.

Целью практических занятий - выполнения курсовой работы, является приобретение знаний по методикам оптимизации технологических схем очистки сточных вод и разработка с помощью этих методик технологических схем и расчет локальных очистных сооружений канализации (ЛОС) промышленных предприятий.

В результате выполнения работы студенты должны:

- знать и понимать: - основные понятия и термины по водоотведению промышленных предприятий и охране водных объектов от загрязнения производственными сточными водами; - типы промышленных сточных вод, их характеристики и методологию выбора технологических схем ЛОС; - основы расчета сооружений;
- уметь: - разрабатывать малоотходные схемы локальных очистных сооружений промышленных предприятий; - работать с нормативной документацией и специальной литературой.

1 СОСТАВ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ. ФОРМА ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки, в которую включены помимо текстовой части схемы и рисунки, поясняющие принятие технологического решения.

Пояснительная записка состоит из 30 – 45 стр. и включает в себя следующие разделы:

- Задание к курсовому проекту (1-2 стр.), в котором определены тип промышленного предприятия и вид производственных сточных вод, количество сточных вод или производительность промпредприятия по основному продукту (данные выдает преподаватель или студент выбирает вид предприятия по желанию, при этом исходные данные согласовывает с преподавателем), бланк задания приобретается на кафедре; - Введение (1-2 стр.); - Краткое описание технологического процесса производства с указанием мест образования сточных вод; - Определение степени очистки ПСВ (2 стр.); - Определение возможных технологических решений очистки производственных сточных вод (минимальное количество технологических схем, принятых к рассмотрению (2-3 стр.); - Укрупненный расчет основных узлов по технологическим схемам с целью определения конструктивных параметров сооружений (2-3 стр); - Определение оптимальной технологической схемы очистки сточных вод с помощью методики ранжирования с применением эквивалентного процентирования (5-8 стр.); - Расчет сооружений очистки сточных вод по оптимальной схеме (8-12 стр.); - Выбор метода обработки осадков и расчет сооружений обработки осадка (3-5 стр.); - Составление балансовых схем как по отдельным сооружениям так и по технологической схеме в целом (5-10 стр.); - Заключение (1 стр.); - Список используемой литературы (1 стр.).

Заключительным этапом выполнения курсовой работы является его оформление и защита. Оформляют расчетную часть работы в виде пояснительной записки форматом А4, в соответствии с ГОСТ 7.32 – 2001. На титульном листе завершённой работы основной руководитель делает отметку о допуске к защите обучающегося. Получив допуск к защите, в библиотеку РГСУ (ауд. 1205а) передаётся электронная копия работы в PDF. Электронная копия работы размещается в электронно-библиотечной системе РГСУ. К защите курсовой работы допускается лицо, завершившие в полном объеме освоение материала, в рамках текущей курсовой работы с учетом размещения электронной версии работы в элек-

Водоснабжение и водоотведение

тронно-библиотечной системе РГСУ (распоряжение №129р от 17 мая 2013 мая Проректора по УР)

Защиту проекта допускается проводить в виде презентации (в программе Microsoft Office PowerPoint), где отображаются исходные данные, характерные пояснения, расчеты и таблицы, а также схема локальных очистных сооружений (без масштаба), и балансовые схемы.

Продолжительность доклада 7-10 минут, с последующими ответами на вопросы.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Для предприятий, размещенных в черте населенного пункта, рассчитывают допустимые концентрации (ДК) загрязняющих веществ, поступающих с производственными сточными водами в систему коммунальной канализации, а для предприятий, расположенных за чертой населенного пункта, определяют концентрации предельно допустимого сброса сточных вод в водные объекты (Спдс). Таким образом, в зависимости от выбранного места расположения предприятия должен быть рассчитан один из нормативов на сброс сточных вод: Спдс или ДК_{min}.

Расчет концентрации предельно-допустимого сброса сточных вод в водный объект.

Общие условия выпуска сточных вод любой категории в поверхностные водоемы (реки, озера, водохранилища, моря) определяются порядком разработки нормативов ПДС сброса вредных веществ, по методическим указаниям утвержденным министерством природных ресурсов (04.10.99 №НМ-61/4694), согласно которых нормативы ПДС устанавливаются для каждого выпуска сточных вод проектируемых (реконструируемых) и действующих предприятий-водопользователей, исходя из условий недопустимости превышения ПДК вредных веществ в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе – исходя из условия сохранения (не ухудшения) состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов. Расчет ведется с учетом лимитирующего показателя вредности, по формуле:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C}{ПДК} \leq 1$$

Расчет допустимой концентрации сброса сточных вод предприятия в систему коммунальной канализации.

Расчет ведется в соответствии с требованиями нормативной документации "Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов». Для определения величины допустимого сброса ингредиентов в городской коллектор можно воспользоваться следующим уравнением:

Водоснабжение и водоотведение

$$S_i = \frac{Q_{\text{зоп}}}{Q_{\text{нр}}} (S_{\text{см}} - S_{\text{быт}}) + S_{\text{быт}}, \text{ кг/сут.}$$

При этом необходимую степень очистки по данному ингредиенту определяют по формуле:

$$n = \frac{S_i - ПДС}{S_i}.$$

3 МЕТОДИКА РАНЖИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПРОЦЕНТИРОВАНИЯ

Методика ранжирования с применением эквивалентного процентирования осуществляется следующим образом:

1. Выбирают объекты, между которыми в дальнейшем будут проводить сравнение и ранжирование по эквивалентному процентированию;

2. Выбирают значимые в данном случае критерии оценки эффективности исследуемого процесса;

3. В каждом из критериев оценки эффективности выбирают объект с максимальным значением, которому присваивают 100%. Все остальные показатели исчисляются в процентах от максимальных 100 % (табл. 1);

4. Определяют суммы процентов по отдельным критериям. Из сумм процентов максимальной сумме также присваивается значение 100 %. Каждой сумме присваивается процентная доля от данных 100 % (табл. 2);

5. На основании полученных процентных показателей выстраивают новый ранжированный ряд, в котором первое место занимает вариант сравнения, соответствующий 100 % и далее по убывающей.

X – объекты исследования;

Y – критерии оценки эффективности.

Таблица 1

Выбор критериев оценки эффективности

Объект исследования	Критерии оценки эффективности			
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
X ₁	34,44 /100	4,36/98.4	5,67/69.1	10,64/69.2
X ₂	32,06/93.1	4,36/98.4	5,67/69.1	10,64/69.2
X ₃	15,41/44.7	2,08/46.9	1,31/16.0	2,45/15.9
X ₄	22,02/63.9	4,36/98.4	8,21/100	15,38/100
X ₅	22,62/65.7	4,43/100	4,7/57.2	8,81/57.3
X ₆	16,93/49.2	3,24/73.1	4,61/56.2	8,65/56.2

Таким образом, на базе параметрических показателей исследуемые объекты располагаются по предпочтительности в ряд:

- 1 - X_4 ;
- 2 - X_1 ;
- 3 - X_2 ;
- 4 - X_5 ;
- 5 - X_6 ;
- 6 - X_3 .

Таблица 2

Определение ранга объекта исследования

Объект исследования	Сумма процентов	Эквивалентный процент	Ранг объекта исследования
X_1	336.7	92.9	2
X_2	329.8	91.0	3
X_3	123.5	34.1	6
X_4	362.3	100	1
X_5	280.3	77.4	4
X_6	234.7	64.8	5

4 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА С УКАЗАНИЕМ МЕСТ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

(на примере образования сточных вод табачной промышленности)

В данном разделе приводится технологическая схема производственного процесса с указанием на ней мест и агрегатного состояния промышленных отходов. Далее предоставляется подробное описание этапов технологического процесса производства продукции и вида отхода на каждом этапе.

Табачное производство — это совокупность технологических процессов, необходимых для выработки табачных изделий, основной продукцией которых являются сигареты и папиросы. Процесс изготовления сигарет и папирос подразделяется на три непрерывных потока (рис.1). Сначала из различных сортов листового табака составляют партии — мешки (смеси) в соответствии с рецептурой изделия. Табак, имеющий пониженную влажность, увлажняют и затем вместе с остальным табаком данной партии подают порциями на транспортёр линии расщипки, смешивания и доувлажнения. После смешивания смесь по воздуховоду направляется к питателям табакорезательных машин. Нарезанный табак для превращения его в пушистую массу подаётся в пневморазрыхляющие установки, где он разделяется на волокна, отделяется минеральная и табачная пыль. Далее смесь подсушивается, что улучшает технологические свойства табачного волокна, а также его аромат и вкус. При этом табак доводится до необходимой для изготовления сигарет (около 14%) и папирос (около 15,5%) влажности. Затем табачное волокно быстро охлаждается в пневматических транспортирующих установках, подающих его к питающим станциям линий производства папирос и сигарет. Табачная фабрика, как и любое другое промышленное предприятие, является потребителем воды. Вода используется на хозяйственно-бытовые и производственные нужды, в том числе на охлаждение оборудования. В производственных целях вода используется для приготовления соусов, ароматизаторов, умягчителей, клеев, а также на приготовление пара и водяного тумана для увлажнения табака. В процессе подготовки листового табака к резанию и производства сигарет образуется значительное количество табачной пыли. Удаление воздуха, насыщенного та-

бачной пылью, производится с помощью местных отсосов непосредственно от оборудования, где выделяется пыль, но часть пыли все же выбивается и оседает в помещении. Для локализации осевшей пыли предусматривается три раза в сутки мытье помещений, что приводит к образованию вод, имеющих специфический состав. Количество моечных вод составляет 51,3% от общего сброса производственно загрязненных сточных вод фабрики. На табачной фабрике образуются сточные воды двух видов, отводимые по соответствующим канализационным сетям: - производственные сточные воды, в которых наблюдается содержание взвешенных веществ, органических веществ, оцениваемых количественно по ХПК, БПК, Fe, СПАВ_{АН}; - бытовые сточные воды. Для производственных сточных вод характерно повышенное содержание ХПК, что можно объяснить, проанализировав химический состав табачной пыли, которая является основным загрязнителем производственных сточных вод. Содержание ХПК в сточной воде табачной фабрики составляет 826 мг О₂/л, а БПК_п – 400 мг О₂/л. Разность между величинами ХПК и БПК_п достаточно высока. ХПК сточных вод превышает БПК_п в 2,1 раза, что показывает на содержание трудно окисляемых органических веществ.

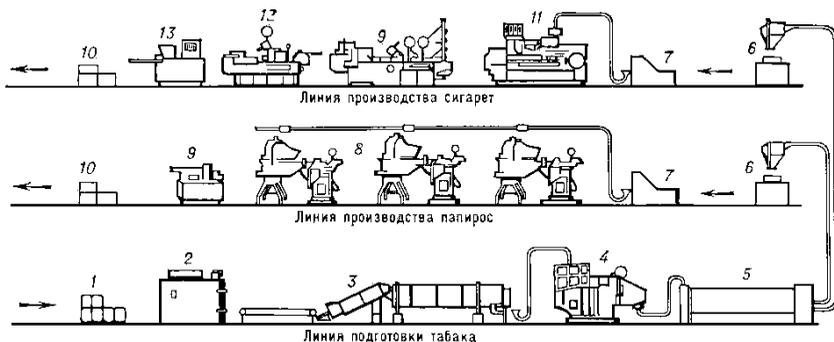


Рис. 1. Технологическая схема табачного производства: 1 - составление пар-тий мешек; 2 - увлажнение; 3 - расщипка, смешивание и доувлажнение; 4 - резание; 5 - подсушка; 6 — взвешивание; 7 - питающие станции; 8 - папирос-ные агрегаты; 9 - упаковка; 10 - готовая продукция; 11 - сигаретный агрегат; 12 - целлофанирование; 13 - пакетирование.

В табл. 3 представлен состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Таблица 3

Характеристика сточных вод табачной промышленности

№ п/п	Наименование ингредиентов	Единицы измерения	Содержание ингредиентов
1	Водородный показатель	-	8,4
2	Взвешенные вещества	мг/л	315
3	Сухой остаток	мг/л	1715
4	Жиры	мг/л	1,9
5	Нефтепродукты	мг/л	2,3
6	Цветность	мг/л	600
7	ХПК	мгО ₂ /л	826
8	БПК _п	мгО ₂ /л	400
9	СПАВ _{ан}	мг/л	0,67
10	Аммоний (NH ₄ ⁺)	мг/л	8,1
12	Железо (Fe ³⁺)	мг/л	1,76
13	Алюминий (Al ³⁺)	мг/л	0,18
14	фосфор	мг/л	0,8

За расчетный расход принят среднесуточный расход сточных вод – 900 м³/сут, режим работы предприятия – 2 смены.

$$q_w = \frac{Q_{сут}}{16} \cdot K_n, \text{ м}^3/\text{ч};$$

где q_w – часовой расход сточных вод, м³/час; t – период нахождения сточных вод в биореакторе, ч; $Q_{сут}$ – суточный расход сточных вод; K_n – коэффициент неравномерности, равный

$$24:16=1,5; \quad q_w = \frac{900}{16} \cdot 1,5 = 84,37 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Следует реализовать технологическую схему очистки сточных вод с целью повторного использования воды (85 %, 15% - сбрасывают в водоем рыбохозяйственного назначения).

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

(на примере очистки сточных вод табачной промышленности)

Выбор метода очистки сточных вод и состава очистных сооружений зависит от множества параметров, в частности: необходимой степени очистки; характера загрязнений; производительности очистных сооружений; метода использования осадка; технико-экономических показателей.

При относительно небольших значениях БПК, очистка сточных вод табачной промышленности является достаточно сложной, т.к. в состав сточных вод входят трудноокисляемые органические соединения, придающие специфическую окраску и запах сточным водам. В этом случае наряду с реагентным методом очистки предлагается еще, и двухступенчатая биологическая очистка в аэротенках, необходима доочистка сточных вод в адсорберах для удаления остаточных трудноокисляемых органических соединений. Рассмотрим целесообразность использования нескольких схем очистки сточных вод табачной фабрики по.

Первая схема очистки включает: - механическую очистку - биологическую очистку в анаэробных условиях включая стадию метанового брожения - доочистку в адсорберах. Вторая схема включает: - механическую очистку - биологическую двухступенчатую очистку (в качестве первой ступени - анаэробный метод включающий ацидогенную фазу, в качестве второй ступени - аэробный метод, включающий аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации) - доочистку в адсорберах. Третья схема включает: - механическую очистку - двухступенчатую биологическую очистку (в качестве первой ступени - аэротенк-смеситель, в качестве второй ступени - аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации) - доочистку в адсорберах. Четвертая схема включает: механическую очистку – физико-химическую с использованием реагентов - биологическую очистку (аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации) - доочистку в адсорберах.

Для выбора наиболее рациональной, экономически выгодной технологической схемы очистки сточных вод необходимо оценить эффективность и надежность работы сооружений, а также произвести расчеты по определению наименьших объемов этих сооружений всех четырех схем.

При сравнении технологических схем принято два допущения: - 1. Сравнение вариантов производим только по основному этапу очистки сточных вод, так как на стадиях механической очистки и доочистки сточных вод технологические схемы принципиально не отличаются друг от друга; - 2. Объемы сооружений определяем по среднесуточным расходам производственных сточных вод, так как для того чтобы работа очистных сооружений осуществлялась в оптимальном режиме, предусмотрен усреднитель сточных вод. Усреднение производим по концентрациям и по расходам сточных вод.

6 УКРУПНЕННЫЙ РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СХЕМАМ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СООРУЖЕНИЙ

Схема № 1

В настоящее время в практике водоочистки сложных органических соединений применяют анаэробные биореакторы, в которых осуществляется две фазы анаэробной биодegradации: - кислое брожение органических веществ, с образованием низкомолекулярных жирных кислот, спиртов, альдегидов, аммиака, сероводорода и воды. Эта фаза длится около 5-7 часов; - щелочное брожение субстратами микроорганизмов, осуществляющих эту фазу, являются продукты метаболизма кислой среды. Сбраживание происходит до NH_4 , CH_4 , CO_2 , H_2S и воды. Продолжительность этой фазы значительно дольше, в результате этого общая продолжительность обработки сточных вод в анаэробном реакторе составит 56 часов (Продолжительность обработки принята по аналогии с продолжительностью обработки сточных вод целлюлозно-бумажного производства). Согласно исследованиям, произведенным по деструкции сточных вод в анаэробных условиях, сложные углеводороды разлагаются на 70% по ХПК и БПК_п.

Расчет анаэробного биореактора

$W_p = q_w \cdot t$, м^3 , где q_w – среднечасовой часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{час}$; t – период нахождения сточных вод в биореакторе, ч;

$$q_w = \frac{900}{24} = 37,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$W_p = 37,5 \cdot 57 = 2137,5 \text{ м}^3;$$

Определим необходимость биогенных добавок.

В соответствии с требованием к анаэробной очистки содержание биогенных элементов в сточных водах при биологической очистке зависит от БПК, т.е. должно выполняться соотношение БПК: N:P=100:2:1. В сточных водах табачной фабрики азот представляется в форме аммония (NH_4), а фосфор в форме фосфатов (PO_4). Согласно литературным данным по исследованию сточных вод табачных фабрик, установлено, что содержание белка в сточных водах составит в среднем 15% по БПК_п, известно также, что содержание азота в белке 14%, следовательно, при значении БПК_п в исходных сточных водах 400 $\text{мгO}_2/\text{л}$, концентрация азота

органических соединений составит: $N_{орг}=400 \cdot 0,15 \cdot 0,14=8,4$ мг/л. Концентрация общего азота, поступающего на биологическую очистку составит: $N_{общ} = 8,01 + 8,4 = 16,41$ мг/л. Концентрация фосфора - 0,8 мг/л.

Проверяем соотношение:

$$\text{БПК: N:P} = 100:2:0,2$$

$$400:16,41:0,8 = 100:4,1:0,2$$

Из полученного соотношения наблюдается достаточное содержание азота и фосфора. Реагентное хозяйство не требуется.

Схема №2

Согласно принципиальной технологической схеме №2 в качестве первой ступени выбран анаэробный метод (кислая фаза брожения). Расчет выполнен по литературным данным источников анаэробной обработки сточных вод.

Расчет анаэробного биореактора, работающего в фазе ацидогенного брожения

Анаэробный биореактор работает в пределах $pH = 5,7-6,5$. Так как на первой фазе анаэробного брожения – ацидогенной фазе происходит снижение pH , то необходимо предусматривать устройства для поддержания pH (в диапазоне значений, приемлемых для аэробной очистки). Продолжительность пребывания сточных вод, равна 6 часам. За этот промежуток времени выделяется 70-75% суточного объема газа, что допустимо считать на 70-75% снижения органических веществ по ХПК – 206,5 мгО₂/л и 60% по БПК (120 мгО₂/л).

Параметры анаэробного реактора определяются, исходя из среднесуточного расхода и продолжительности ферментации (6 часов):

$$W_p = 37,5 \cdot 6 = 225 \text{ м}^3$$

Вторая ступень очистки представлена аэротенком с продленной аэрацией. Определяем объем этого сооружения:

$$t_a = \frac{L_{en} - L_{ex}}{f(1-s)p}, \text{ ч; где } L_{en} - \text{БПК поступающей в аэротенк}$$

сточной воды с учетом снижения концентрации после первой ступени, равная 120 мгО₂/л; L_{ex} – БПК очищенной воды, равная 15 мгО₂/л; a_i – доза ила в аэротенке, принимаем 2 г/л; s – зольность 30%; ρ - удельная скорость окисления, равна 6 мг/г·ч.

$$t = \frac{120 - 15}{2(1 - 0,3)6} = 12,5 \text{ ч.}$$

Объем аэротенка:

$$W_a = q_w \cdot t, \text{ м}^3; W_a = 37,5 \cdot 12,5 = 468,75 \text{ м}^3.$$

Объем отстойной зоны:

$$W_{от} = q_w \cdot t_{от}; W_{от} = 37,5 \cdot 1,5 = 56,25 \text{ м}^3;$$

Общий объем сооружения:

$$W_{общ} = W_a + W_{отс}; W_{общ} = 468,75 + 56,25 = 525 \text{ м}^3.$$

Проверяем соотношение для аэробной очистки

$$\text{БПК: } N:P=100:5:1$$

После первой ступени биологической очистки в анаэробных условиях (БПК: N:P=100:2:0,2)

наблюдается снижение азота до 10,8 (16,4-5,6) , фосфора – до 0,3

$$105:10,8:0,3=100: 10,2:0,3$$

Азот добавлять не требуется

Количество P, которое необходимо добавить, чтобы довести до концентрации 1 мг на каждые 100 БПК, потребность в фосфоре составит, 7 мг/л, следовательно, потребность в фосфоре составит 1,2 кг/сут.

Так как азота больше, чем требуется на биологическую очистку, то необходим процесс нитрификации. Проверяем возможность реализации нитрификации по нагрузке на ил, при дозе ила 2 г/л по сухой части.

$N = 105 \times 400 / (1000 \cdot 2(1-0,3) 468,75) = 0,06$. Нитрификация возможна. Объем сооружения увеличивать не следует. Денитрификация не нужна.

Схема №3

Используется двухступенчатая схема очистки сточных вод в аэротенках первой и второй стадий. В качестве первой ступени применяем аэротенк-смеситель, в качестве второй аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации. В этой схеме часть аэротенка-смесителя выделяют под регенераторы активного ила, которые обеспечивают более устойчивую работу. В них поддерживают более высокую концентрацию активного ила, чем в самом аэротенке, что позволяет увеличить скорость потребления кислорода и уменьшить период аэрации. Во второй ступени регенераторы не предусматриваются, т.к. концентрация БПК_п после первой ступени – 100 мгО₂/л. Эффект после двухступенчатой очистки составляет по взвешенным веществам на 94,7% (10 мг/л), по БПК на 95,6% (15 мгО₂/л).

Расчет аэротенка-смесителя

При проектировании аэротенка с регенератором продолжительность окисления органических загрязняющих веществ надлежит определить по формуле:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1 - S) p}, \text{ ч} \quad \text{где } L_{en} = 400 \text{ мгО}_2/\text{л}; L_{ex} = 100 \text{ мгО}_2/\text{л};$$

$$S = 0,16;$$

R_i – степень рециркуляции активного ила в аэротенке следует рассчитывать по формуле:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \text{ где } a_i - \text{ доза ила в аэротенке, } 2 \text{ г/л}; J_i -$$

иловый индекс, $220 \text{ см}^3/\text{г}$;

$$R_i = \frac{2}{\frac{1000}{220} - 2} = 0,78$$

a_r – доза ила в регенераторе, г/л, определяется по формуле:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right), \text{ г/л}; \quad a_r = 2 \left(\frac{1}{2 \cdot 0,78} + 1 \right) = 3,3 \text{ г/л};$$

ρ – удельная скорость окисления для аэротенка, определяемая по формуле при дозе ила a_r :

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_o}{L_{ex} C_o + K_l C_o + K_o L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi_{ar}}, \text{ мг/г}\cdot\text{ч};$$

где $\rho_{\max} = 650 \text{ мг/г}\cdot\text{ч}$; $C_o = 1,4 \text{ мг/л}$; $K_l = 100 \text{ мг БПКн/л}$; $K_o = 1,5 \text{ мгО}_2/\text{л}$; $\varphi = 2 \text{ л/г}$;

$$\rho = 650 \frac{100 \cdot 1,4}{100 \cdot 1,4 + 100 \cdot 1,4 + 1,5 \cdot 100} \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot 3,3} = 27,8$$

мг/г·ч;

$$t_0 = \frac{400 - 100}{0,78 \cdot 3,3(1 - 0,16) \cdot 27,8} = 5 \text{ ч.}$$

Продолжительность обработки воды в аэротенке необходимо определить по формуле:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \text{ ч}; \quad t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \lg \frac{340}{100} = 0,95 \text{ ч};$$

Продолжительность регенерации надлежит определять по формуле:

$$t_r = t_0 - t_{at}, \text{ ч}; \quad t_r = 5 - 0,95 = 4,05 \text{ ч};$$

Вместимость аэротенка следует определять по формуле:

$$W_{at} = t_{at}(1+Ri)q_w, \text{ м}^3;$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, равный 14,4 м³/ч;

$$W_{at} = 0,95(1+0,78) \cdot 37,5 = 63,41 \text{ м}^3;$$

Вместимость регенератора следует определять по формуле:

$$W_r = t_r \cdot Ri q_w, \text{ м}^3; W_r = 4,05 \cdot 0,78 \cdot 37,5 = 118,5 \text{ м}^3.$$

Объем отстойной зоны ориентировочно составит $W_{от} = 37,5 \cdot 1,5 = 56,25 \text{ м}^3$.

Расчет аэротенк, работающего в режиме продленной аэрации

Продолжительность аэрации в аэротенках на полное окисление следует определить по формуле:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-S)\rho}, \text{ ч}; \quad t = \frac{100 - 15}{2(1 - 0,3) \cdot 6} = 10,1 \text{ ч}.$$

при $\rho = 6 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$; $a = 2 \text{ г/л}$; $S = 0,3$;

Вместимость аэротенка следует определить по формуле:

$$W = t \cdot q_w, \text{ м}^3; W = 10,1 \cdot 37,5 = 378,75 \text{ м}^3.$$

Продолжительность пребывания суточных вод в зоне отстаивания составляет 1,5 часа.

Вместимость зоны отстаивания:

$$W_{от} = 37,5 \cdot 1,5 = 56,25 \text{ м}^3.$$

Определение необходимости биогенных добавок:

Концентрация общего азота, поступающего на биологическую очистку составит:

$$N_{общ} = 16,41 \text{ мг/л} \cdot \text{мг/л}; P = 0,8 \text{ мг/л}$$

Далее проверяем соотношение:

$$\text{БПК:N:P} = 100:5:1$$

$$(400-15):16,41:0,8 = 100:4,3:0,2$$

Из полученного соотношения наблюдается недостаточное содержание фосфора и практически достаточное содержание азота, повышенное азота, поэтому необходимо определить количество P, которое необходимо добавить для нормальной работы блока биологической очистки: Необходимая концентрация фосфора составляет 3,65 мг/л. В качестве биогенной подпитки следует принять суперфосфат двойной гранулированный, марки «А» с содержанием P₂O₅ - 42%. Потребность в реагенте составит: 3,65 · 400 = 1460 мг/л по P и 3343,9 по P₂O₅. Товарного продукта потребуется – 7966 г/сут, т. е. 8,0 кг/сут

Схема №4

В схеме №4 применяются физико-химический и биологический методы. Физико-химический метод носит вспомогательный

характер и используется в качестве первого этапа до направления вод на биологическую очистку. В результате применения метода коагуляции возможно интенсифицировать процесс осаждения грубодисперсных примесей, что повлечет за собой уменьшение цветности.

Очистка сточных вод методом коагуляции включает процессы приготовления водных растворов коагулянтов, их дозирование в обрабатываемую сточную воду, смешение со всем объемом воды, хлопьеобразование, выделение хлопьев из воды. В качестве коагулянта применяем хлорид железа FeCl_3 . При введении в сточную воду FeCl_3 в результате реакции гидролиза образуется малорастворимый в воде гидроксид железа, который сорбируется на развитой хлопьевидной поверхности. Взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$.

Осветление сточной воды производится в вертикальном отстойнике, который совмещен с камерой хлопьеобразования. При этом эффективность снижения концентрации по БПК и ХПК достигается 70% по взвешенным веществам до 80%, окраска снижается до 70%. При исходной концентрации ХПК = 826 мгО/л концентрация на выходе после камеры хлопьеобразования – 247,8 мгО/л, по БПК – 120 мгО₂/л, концентрация взвешенных веществ – 63 мг/л. Далее сточные воды подаются на биологическую очистку.

Реагентное хозяйство

Определяем дозу коагулянта по Fe при цветности сточных вод 600 мг/л:

$$D_k \text{ (по } \text{FeCl}_3\text{)} = 4\sqrt{c}, \text{ мг/л}; \quad D_k = 4\sqrt{600} = 100 \text{ мг/л.}$$

Для приготовления раствора коагулянта применяют специальные установки, в состав которых входят растворные и расходные баки, концентрация раствора в которых соответственно 20% и 2,5%, воздухоподушки для перемешивания раствора реагентов, дозаторы.

Месячная потребность коагулянта в расчете на товарный продукт:

$$Q_{\text{коаг.}} = \frac{Q_{\text{сут.}} \cdot D_k \cdot T}{1000000 \cdot P_c}, \text{ т}; \quad Q_{\text{коаг.}} = \frac{400 \cdot 100 \cdot 30}{1000000 \cdot 0,40} = 2,72 \text{ т.}$$

где $Q_{\text{сут.}}$ – суточный расход сточных вод, равный 400 м³/сут;

D_k – доза коагулянта, равная 100 мг/л; T – продол-

жизнеспособность хранения коагулянта на складе, равный 30 сут; P_c – содержание безводного продукта в коагулянте – 40%; σ_k – объемный вес коагулянта, равный 1,1 т/м³.

Объем баков мокрого хранения коагулянта следует принимать из расчета 2,2 м³ на 1 т товарного неочищенного коагулянта. Объем баков для растворения коагулянта определяем из расчета разовой поставки 1 т/мес. на срок 6 месяцев:

$$W_{\text{раст.бак}} = 6 \cdot 5,9 = 35,9 \text{ м}^3; W_{\text{раст.бак}} = \frac{35,9}{6} = 6,0 \text{ м}^3$$

Количество растворных баков в соответствии] принимается 6 шт. Из конструктивных соображений и возможности загрузки баков принимаем размеры баков 2,0x2,0 в осях, тогда глубина слоя раствора:

$$H_{\text{сл.}} = \frac{W_{\text{бак}}}{F_{\text{бака}}}, \text{ м}; H_{\text{сл.}} = \frac{6,0}{1,5 \cdot 1,5} = 2,6 \text{ м.}$$

Так как месячная потребность в коагулянте меньше объема разовой поставки, то весь раствор следует хранить в растворных баках, используя их в качестве баков-хранилищ.

Объем баков-хранилищ определяется из расчета 1,5 м³ на 1т товарного продукта, тогда $W_{\text{б.х}} = 6 \cdot 2,72 = 16,3 \text{ м}^3$.

С учетом того, что по количество баков-хранилищ не менее 3 шт., объем одного бака: $W_{\text{б.х}} = \frac{16,3}{6} = 3 \text{ м}^3$.

Объем расходных баков:

$$W_{\text{расх}} = \frac{q \cdot D_k \cdot n}{10000 \cdot B_p \cdot \gamma}, \text{ м};$$

где q – часовой расход воды, 37,5 м³/ч; D_k – максимальная доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, равная 34,78 г/м³; n – время, на которое заготавливают раствор коагулянта в растворных баках, равное 72 часам (3 суток); B_p – концентрация раствора коагулянта в расходных баках – 2,5%; γ – удельный вес раствора коагулянта в расходных баках, равный 1 т/м³;

$$W_{\text{расх}} = \frac{37,5 \cdot 34,78 \cdot 72}{10000 \cdot 2,5 \cdot 1} = 3,8 \text{ м}^3.$$

$$\text{Объем одного расходного бака: } W_{\text{расх}} = \frac{3,8}{3} = 1,3 \text{ м}^3.$$

При высоте слоя раствора коагулянта 1,1м размеры бака в плане 1,5x0,8 м.

Водоснабжение и водоотведение

Растворение коагулянта и перемешивание его раствора в баках осуществляется с помощью воздуха. Расчетный расход воздуха для растворных баков (одновременно работают 3 бака).

$$q^{\text{возд}} = n \cdot F_{\text{раств}} \cdot W_{\text{в}}, \text{ м}^3/\text{мин}; \quad q^{\text{возд}} = 3 \cdot 1,2 \cdot 10 = 36 \text{ л/с} = 2,16 \text{ м}^3/\text{мин};$$

где $W_{\text{в}}$ – интенсивность подачи воздуха, принимаемая для растворных баков в $10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

Принимаем к установке четыре воздухопроводов и ВК-3 производительностью $0,55 \text{ м}^3/\text{мин}$ каждая, избыточное давление 16 м . Для расходных баков (перемешивание осуществляется в одном баке):

$$q^{\text{возд}} = n \cdot F_{\text{раств}} \cdot W_{\text{в}}, \text{ м}^3/\text{мин};$$

где $W_{\text{в}}$ – интенсивность подачи воздуха, принимаемая для растворных баков в $5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ (п. 6.23 [21]); $q^{\text{возд}} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 5 = 6 \text{ л/с}$ или $0,36 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Принимаем к установке две воздуходувки (рабочую и резервную) марки ВК-3 производительностью $0,55 \text{ м}^3/\text{мин}$, избыточное давление 16 м .

Дозировка раствора коагулянта в воду рекомендуется производить насосами-дозаторами. Производительность насоса-дозатора определяем по формуле:

$$q_{\text{н}} = \frac{q_{\text{в}} \cdot D_{\text{н}}}{10000 \cdot \epsilon_{\text{р}} \cdot \gamma \cdot n}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

где n – количество дозаторов принимаем 4 (2 рабочих, 2 резервных); $\epsilon_{\text{р}}$ – концентрация раствора коагулянта в расходных баках, равная $2,5\%$;

$$q_{\text{н}} = \frac{37,5 \cdot 34,78}{10000 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 2} = 0,03 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем к установке один рабочий насос-дозатор типа НД-63/16 и один резервный. Коагулянт подается в камеру хлопьеобразования вертикального отстойника.

Камера хлопьеобразования, совмещенная с вертикальным отстойником.

Вода с коагулянтом попадает в верхнюю часть камеры через сопла, размещенные в центре в виде подвижного сегнерова колеса. Выход воды из сопел со скоростью 3 м/с придает ей вращательное движение и направляется сверху вниз. В нижней части камеры для гашения вращательного движения воды устанавливается крестообразная перегородка высотой $0,8 \text{ м}$ с ячейками $0,5 \times 0,5 \text{ м}$.

Объем камеры хлопьеобразования:

$$V_{\phi} = \frac{q_w \cdot t_{\phi}}{60 \cdot n}, \text{ м}^3; \quad V_{\phi} = \frac{37,5 \cdot 20}{60 \cdot 2} = 6,25 \text{ м}^3.$$

где q_w – расход, равный $37,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, n – число камер хлопьеобразования – 2; t_{ϕ} – время пребывания в камере хлопьеобразования, 20 мин;

Высота камеры хлопьеобразования равна 0,9 от высоты зоны осветления вертикального отстойника, принимаем высоту отстойника 3,5 м, тогда $H = 0,9 \cdot 3,5 = 3,15 \text{ м}$.

Площадь камеры хлопьеобразования:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{H}, \text{ м}^2; \quad F_{\phi} = \frac{6,25}{3,15} = 1,98 \text{ м}^2.$$

Диаметр камеры хлопьеобразования:

$$D_{\text{к.о}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{к.о}}}{\pi}}, \text{ м}; \quad D_{\text{к.о}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,98}{3,14}} = 1,6 \text{ м}.$$

Расчет объема зоны осветления вертикального отстойника.

Общий объем:

$$V_{\text{ос}} = \frac{1000 \cdot H \cdot q_{\text{сек}}}{nK(U_o - W)}, \text{ м}^3;$$

где K – коэффициент использования объема для вертикальных отстойников, равный 0,35; n – число отстойников – 2; W – вертикальную турбулентную составляющую принимаем равной 0; U_o – гидравлическая крупность частиц, 2 мм/с; $q_{\text{сек}}$ – среднесуточный

расход сточных вод, равный $q_{\text{сек}} = \frac{q_{\text{час}}}{3,6}$, л/с;

$$q_{\text{сек}} = \frac{37,5}{3600} = 0,01 \text{ м}^3/\text{с} = 10,42 \text{ л/с};$$

$$V_{\text{ос}} = \frac{1000 \cdot 3,5 \cdot 0,01}{2 \cdot 0,35 \cdot 2} = 25 \text{ м}^3.$$

Объем живого сечения отстойника:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{к.о}} + V_{\text{ос}} = 6,25 + 25 = 31,25 \text{ м}^3.$$

Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{общ}}}{\pi \cdot H}}, \text{ м}; \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot 31,25}{3,14 \cdot 3,5}} = 3,4 \text{ м}.$$

Принимаем типовой проект 902-2-19 с диаметром осветлителя 4 м, производительностью 400 м³/сут., согласно которому: диаметр камеры хлопьеобразования – 2 м; высота цилиндрической части – 4,1 м; высота конической части – 1,8 м; высота камеры хлопьеобразования – 3,7 м.

Расчет аэротенка, работающего в режиме продленной аэрации:

Продолжительность аэрации на частичное окисление:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-S)\rho}, \text{ ч}; \quad t = \frac{120 - 15}{2(1 - 0,3)6} = 12,5 \text{ ч.}$$

Объем аэротенка:

$$V_a = q_w \cdot t, \text{ м}^3; \quad V_a = 37,5 \cdot 12,5 = 468,75 \text{ м}^3.$$

Продолжительность отстаивания 1,5 часа.

$$V_{от} = 37,5 \cdot 1,5 = 56,25 \text{ м}^3.$$

Потребность в биогенных элементах отсутствует.

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ПО ЭКВИВАЛЕНТНОМУ ПРОЦЕНТИРОВАНИЮ

Полученные данные с пояснениями по специфике схем очистки помещены в табл. 4

Таблица 4

Сводная таблица с указанием специфики технологических схем очистки

№ схемы	Положительные аспекты	Отрицательные аспекты
№1	-отсутствие первичных отстойников; -одна ступень биологической очистки	-большой объем сооружения; -выделение H_2S и устройство газгольдеров; -требуется производить корректировку pH; -незначительное снижение цветности; -в анаэробных условиях эффективность снижения ХПК на 70%
№2	-отсутствие первичных отстойников; -при биологической очистке в анаэробных и аэробных условиях наблюдается снижение ХПК на 92%.	-устройство газгольдеров; -корректировка pH; -незначительное снижение цветности; -выделение H_2S , токсичного для аэробов при концентрации 1 мг/л, поэтому необходимо предусматривать дополнительные сооружения для перевода HS^- в SO_4^{2-}
№3	-при биологической очистке эффективность снижения ХПК – 92%	-необходимость в первичном отстаивании сточных вод; 2 ступени биологической очистки
№4	-одна ступень биологической очистки; -при биологической очистке эффективность снижения ХПК – 92%	применение реагента;

Выбор технологической схемы для расчета произведем в соответствие с рекомендациями по методике ранжирования по эквивалентному процентированию:

1. Выбираем объекты, подвергаемые сравнению и ранжированию по эквивалентному процентированию, в данном случае «объектами» являются 4 технологические схемы: X_1 – 1 схема - биологическая очистка в анаэробных условиях включая стадию

Водоснабжение и водоотведение

метанового брожения; X_2 – 2 схема - биологическая двухступенчатая очистка (в качестве первой ступени - анаэробный метод включающий ацидогенную фазу, в качестве второй ступени - аэробный метод, включающий аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации); X_3 – 3 схема - двухступенчатая биологическая очистка (в качестве первой ступени - аэротенк-смеситель, в качестве второй ступени - аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации); X_4 – 4 схема – физико-химическая очистка с использованием реагентов и биологическая очистка (аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации);

2. Выбираем значимые в данном случае критерии оценки эффективности исследуемого процесса: - Y_1 - объем сооружений; Y_2 - количество вводимых реагентов; Y_3 - стоимость сооружений.

Данные ранжирования по эквивалентному процентированию внесены в табл. 5-7.

Таблица 5

Данные ранжирования по эквивалентному процентированию

Объект исследования	Критерии оценки эффективности		
	$Y_1, \text{ м}^3$	$Y_2, \text{ руб/сут}$ (руб/кг·кг/сут)	Y_3 , ориентировочная стоимость строительства с учетом стоимости проектных работ, млн. руб
X_1	2137,5 м ³	-	130
X_2	$225+468,75 +56,25 =$ 750	$28 \cdot 1,2=33,6$ (суперфосфат)	66
X_3	$63,41+118,5 +56,25+$ $378,75 + 56,25$ $=673,16$	$28 \cdot 8,0=224$ (суперфосфат)	67
X_4	$35,9+16,3 + 6,25 +$ $25+468,75+$ $56,25=608,45$	$31 \cdot 90,7=$ $2811,7$ (хлорида железа)	42

Таблица 6

Процентирование объектов исследования

Объект исследования	Процентирование, %		
	Y ₁ , м ³	Y ₂ , руб/сут (руб/кг·кг/сут)	Y ₃ , ориентировочная стоимость строительства с учетом стоимости проектных работ, млн руб
X ₁	2137,5 м ³ /100	0/0	130/100
X ₂	750/35	33,6/2	66/51
X ₃	673,16/32	224/8	67/52
X ₄	608,45/29	2811,7/100	42/32

Таблица 7

Ранжирование объектов исследования

Объект исследования	Сумма процентов	Эквивалентный процент	Ранг объекта исследования
X ₁	200	100	4
X ₂	88	44	1
X ₃	92	46	2
X ₄	161	80,5	3

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что наиболее рациональной технологией очистки сточных вод являются схемы 2 и 3. В соответствии с данными сводной таблицы с указанием специфики технологических схем очистки учитываем, что для реализации схемы №2 необходимо предусматривать дополнительные сооружения для перевода HS^- в SO_4^{2-} . Следовательно, для реализации выбираем технологическую схему №3, включающую - механическую очистку - двухступенчатую биологическую очистку (в качестве первой ступени - аэротенк-смеситель, в качестве второй ступени - аэротенк, работающий в режиме продленной аэрации) - доочистку в адсорберах.

После определения рациональной схемы очистки, позволяющей вернуть очищенные сточные воды в технологический процесс, выполняют технологические и балансовые расчеты.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. СП 32.13330.2012. «Канализация. Наружные сети и сооружения».- М.: Стройиздат, 2012. -85 с.
2. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное издание. –М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009-760 с.
3. Биологическая очистка воды (теория и практика) /Н.И. Куликов [и др.]/, Сочи: «Дория», 2013. -289 с.

Дополнительная литература

1. Вильсон Е.В. Методы очистки производственных сточных вод: учебное пособие. - Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2003. - 250 с.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий /Н.И. Лихачев [и др] /. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. - 638 с.
3. Колесников В.П. Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях. - Ростов-на-Дону: Юг,2005. -212 с.
4. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. – М.: Стройиздат,1987. -215 с.
5. Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие для вузов /С.В. Яковлев [и др.]. Под ред. С.В. Яковлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985.
6. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию. Отдел по Датскому сотрудничеству в Области Окружающей Среды в Восточной Европе в сотрудничестве с Министерством Природных Ресурсов РФ и Федеральным Экологическим Фондом РФ, 2001. – 254 с.
7. Справочное пособие к СНиП. «Проектирование сооружений для очистки сточных вод». /ВНИИ ВОДГЕО. -М.:Стройиздат, 1990. – 190 с.
- 8.Справочник базовых цен на проектные работы для строительства (объекты водоснабжения и канализации). – М., 2008.
- 9.Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности /СЭВ. ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооруж. и инж. гидрогеологии. – 2-е изд., пере раб. – М.: Стройиздат, 1982.