|  |  |
| --- | --- |
|  | Министерство образования и науки Российской ФедерацииФедеральное государственное бюджетное образовательноеучреждение высшего профессионального образования«Уфимский государственный нефтяной технический университет» |

Кафедра «Промышленная безопасность и охрана труда»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**к выполнению практической работы на тему**

**«Моделирование в области экологической безопасности нефтегазового предприятия» по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование»**

Уфа 2016

Учебно-методическое пособие содержит сведения об организации практических занятий, исходные данные к ним и методические указания по выполнению заданий. В приложениях приведены необходимые справочные материалы. Данные учебно-методические указания могут быть использованы при проведении практических занятий по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование».

Составители: В.Б. Барахнина, канд. техн. наук, доцент кафедры ПБиОТ

 А.В.Федосов, канд. техн. наук, доцент кафедры ПБиОТ

 Рецензент: И.Р. Киреев, канд. хим. наук, доцент кафедры ПБиОТ

© Федосов, Барахнина, 2015

© Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016

1 Практическая работа №1: Моделирование выбросов загрязняющих веществ

Нефтегазовое предприятие не может существовать, не оказывая воздействия на биосферу, поэтому одной из главных задач комплекса работ по охране окружающей природной среды является определение нормативов, т. е. установление пределов, в которых признается допустимым то или иное воздействие.

Нормирование выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу производится путем установления значений предельно допустимых выбросов (ПДВ) этих веществ для всех источников выбросов.

ПДВ – это масса выбросов вредных веществ в единицу времени от данного источника или совокупности источников загрязнения атмосферы производственного объекта (промплощадки, предприятия, населенного пункта, города и т. д.) с учетом перспективы развития всех предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере, создающая приземные концентрации, не превышающие их предельно допустимые концентрации (ПДК) для населения, растительного и животного мира, если нет других, более жестких экологических требований или ограничений (с осреднением в любой 20-минутный период времени).

Нормативы ПДВ являются основой для проведения экологической экспертизы и планирования мероприятий по снижению загрязнения атмосферы.

Наиболее полный перечень веществ, загрязняющих атмосферный воздух, с рекомендуемыми для них кодами приведен в подготовленном НИИ «Атмосфера» Госкомэкологии России издании. Российский реестр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России в 1998 г. выпустил гигиенические нормативы, содержащие перечни ПДК (ГН 2.1.6695-98) и ОБУВ (ГН 2.1.6. 696-98), заменившие существовавшие ранее списки Минздрава СССР.

Первым этапом любого нормирования загрязнения атмосферы является инвентаризация источников выделения и выбросов ЗВ, которая на практике выполняется:

- методом инструментального измерения;

- расчетным методом.

Расчетный метод основывается:

- на материальном балансе технологического процесса;

- на использовании удельных показателей выделений ЗВ за единицу времени либо отнесенных к единице оборудования, массе продукции, сырья или расходных материалов.

В действующей природоохранной нормативно-технической документации в области защиты атмосферы от загрязнения приняты следующие понятия.

*Источник выделения ЗВ* – объект, в котором происходит образование ЗВ (установка, аппарат, устройство, емкость для хранения, двигатель, свалка отходов и т. п.).

*Источник загрязнения атмосферы (источник выброса)* – объект, от которого загрязняющее вещество поступает в атмосферу (труба, вентиляционная шахта, аэрационный фонарь, открытая стоянка транспорта и т. п.).

Возможны следующие сочетания источников загрязнения атмосферы (выброса) и источников выделения ЗВ:

- один источник выделения - один источник загрязнения (выброса) (например, котельная имеет оду топочную камеру и одну дымовую трубу);

- один источник выделения – несколько источников загрязнения (выброса) (например, в помещении производится полная окраска автобуса, а для вентиляции используются три крышных вентилятора);

- несколько источников выделения – один источник загрязнения (выброса) (например, гараж имеет один вентилятор, удаляющий из всех помещений через единую вытяжную систему выхлопные газы пятидесяти автомобилей);

- несколько источников выделения – ряд источников загрязнения (выброса).

Например, в общем, помещении цеха работают 3 заточных и 17 металлорежущих станков, 2 поста электросварки и 1 газорезка, а для вентиляции используется одна общеобменная приточно-вытяжная вентиляционная система и 4 местных вытяжных системы.

Все источники загрязнения атмосферы (источники выброса) подразделяются в соответствии с классификацией, приведенной на рисунке 1.1, при этом используются термины, имеющие следующие определения.

ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

ПЛОСКОСТНОЙ

(бассейн, открытая

стоянка транспорта)

СТАЦИОНАРНЫЙ

(труба, открытое окно и т.п.)

ОРГАНИЗОВАННЫЙ

(труба, газоход,

вентшахта)

НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ

(пылящий отвал, открытая стоянка транспорта, площадка молярных работ

ТОЧЕЧНЫЙ

(труба,

вентшахта)

ЛИНЕЙНЫЙ

(ряд открытых оконных фрамуг, аэрационный

фонарь)

ПЕРЕДВИЖНОЙ

(автомобиль, самолет и т. п.)

Рисунок 1.1 - Классификация источников загрязнения атмосферы

*Стационарный источник –* источник, имеющий постоянное место в пространстве относительно заводской системы координат (труба котельной, открытые фрамуги цеха и т. п.).

*Передвижной источник –* источник, не занимающий постоянное место на территории предприятия (транспортные средства, передвижные компрессоры и дизель - генераторы электросварки и т. п.).

*Организованный источник –* источник, осуществляющий выброс через специально сооруженные устройства (трубы, газоходы, вентиляционные шахты).

*Неорганизованный источник –* источник загрязнения, осуществляющегося в виде не направленных потоков газа, как результат, например, нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неэффективной работы систем по отсосу газов, (пыли) в местах загрузки (выгрузки) или хранения продукта (топлива), а также пылящие отвалы, открытые емкости, стоянки, площадки малярных работ и т. п.

*Точечный источник* – источник в виде трубы или вентиляционной шахты с размерами сечения, близкими друг к другу (трубы круглого, квадратного, прямоугольного сечения и т. п.).

*Линейный источник –* источник в виде канала (щели) для прохода загрязненного газа (воздуха) с поперечным сечением, имеющим значительную протяженность (длину): в несколько раз большую, чем ширина (высота), например, ряд открытых, близко расположенных в одну линию оконных фрамуг, либо аэрационные фонари и т. п.

*Плоскостной источник* – источник, имеющий значительные геометрические размеры площадки, по которой относительно равномерно происходит выделение загрязнений, и, в том числе, как результат рассредоточения на площадке большого числа источников (бассейн, открытая стоянка автотранспорта и т. п.).

Отнесение источника загрязнения (выброса) к точечному, линейному или плоскостному типу производится с целью определения математического аппарата, который используется впоследствии при расчете рассеивания загрязнения в атмосфере в соответствии с ОНД-86.

В данном пособии приведены методики и примеры определения значений максимально разовых выделений (выбросов) ЗВ (г/с) и валовых выделений (выбросов) (м/год).

Нормативы валовых выбросов используются, прежде всего, при экономическом стимулировании природоохранной деятельности, а нормативы максимально разовых выбросов – при контроле соблюдения ПДВ.

**1.1 Расчет выбросов загрязняющих веществ от организованных**

**источников (вентиляционных систем, перекачивающих и компрессорных станций)**

1. Валовый выброс данного i-го загрязняющего вещества (mi) из помещений перекачивающих станций магистральных нефтепроводов или компрессорных станций магистральных газопроводов рассчитывают по формуле:

mi= К∙(Сiрз - Сiпр)·n·V·τ·10-6кг/час, (1.1)

где К- поправочный коэффициент, который равняется:

К= 1,5 - для центробежных насосов,

К= 3,0 - для поршневых насосов,

К= 2,0 - для компрессов;

Сiрз - концентрация загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м3,

Сiпр - концентрация загрязняющего вещества в приточном воздухе, мг/м3

n- число механических вентиляционных установок,

V- производительность одной вентиляционной установки, м3/час,

τ - продолжительность работы станции, час, 10 -6 – коэффициент перевода мг в кг.

2. Содержание задачи 1. Рассчитать валовый выброс углеводородов (mСН) и сероводорода (mHS) из помещения компрессорной станции по из­вестным исходным данным.

3. Исходные данные к задаче 1 даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № ва­рианта | ССНрз ,мг/м3 | Сснпр, мг/м3 | СНSрз ,мг/м3 | СНSпр ,мг/м3 | n,штук | V·103, м3/час |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 21,0 | 1,0 | 2,1 | 0,1 | 5 | 5 |
| 2 | 20,5 | 8,0 | 1,3 | 0,1 | 4 | 10 |
| 3 | 12,1 | 1,0 | 1,2 | 0,1 | 3 | 15 |
| 4 | 21,5 | 9,0 | 1,3 | 0,1 | 2 | 20 |
| 5 | 25,0 | 5,0 | 2,1 | 0,1 | 1 | 25 |
| 6 | 20,0 | 4,0 | 1,6 | 0,0 | 5 | 5 |
| 7 | 16,0 | 6,0 | 1,1 | 0,1 | 4 | 10 |
| 8 | 19,0 | 10,1 | 0,9 | 0,0 | 3 | 15 |
| 9 | 15,0 | 5,0 | 1,1 | 0,1 | 2 | 20 |
| 10 | 18,0 | 3,0 | 1,6 | 0,0 | 1 | 25 |
| 11 | 20,0 | 6,7 | 1,4 | 0,1 | 5 | 5 |
| 12 | 15,0 | 6,7 | 0,8 | 0,0 | 4 | 10 |
| 13 | 14,0 | 6,6 | 0,8 | 0,1 | 3 | 15 |
| 14 | 15,0 | 6,7 | 0,8 | 0,0 | 2 | 20 |
| 15 | 20,0 | 6,7 | 1,4 | 0,1 | 1 | 25 |
| 16 | 25,0 | 14,0 | 1,2 | 0,1 | 1 | 30 |

4. Решение задачи 1(вариант 16):

Валовый выброс углеводородов в атмосферу:

mсн= 2,0·(25,0-14,0)·1·30000·1·10-6 =0,66 кг/час =15,9 кг/сутки=

=5780 кг/год

Валовый выброс сероводорода в атмосферу:

mнs= 2,0· (1,2-0,1)·1·30000·10-6 = 0,066 кг/час=0,159 кг/сутки=

=578 кг/год.

**1.2 Моделирование выбросов загрязняющих веществ от неорганизованных**

**источников**

Неорганизованные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу могут происходить через неподвижные и подвижные уплотнения аппаратов, обору­дования, трубопроводов и т.д., а также при отборе проб продукта для анализа, при проверке исправности предохранительных клапанов, при дренировании накалившейся в аппаратах и емкостях воды и во многих других случаях.

К неподвижным уплотнениям относятся:

1. неподвижные уплотнения фланцевого типа (фланцы трубопроводов, уплотнения крышек люков и лазов), создаваемые путем сжатия уплотнительного кольца или прокладки;
2. неподвижные уплотнения запорно-регулирующей аппаратуры, к которым
относятся; задвижки, клапаны, краны, вентили, обратные и предохранительные клапаны, затворы.

К подвижным уплотнениям относятся уплотнения подвижных соединений в насосных и компрессорных агрегатах, в мешалках, реакторах и подобных аппаратах. Эти аппараты служат для предотвращения или сокращения утечек перекачиваемого продукта между вращающимся валом и корпусом агрегата.

При отборе проб газа или сжиженного газа из аппарата предварительно продувается пробоотборная линия, а после присоединения к линии пробоотборника продувается сам пробоотборник для вытеснения находившегося в нем воздуха или продукта от предыдущего пробоотбора.

Выбросы (утечки) загрязняющего i-го вещества в технологическом узле рассчитывают раздельно для каждого вида уплотнений.

1.Утечки через неподвижные уплотнения фланцевого типа рассчитывают по формуле:

Уну i= Днуфп · nфп ·Хнуфп  · (ci/100), кг/час; (1.2)

2.Утечки через неподвижные уплотнения запорно-регулирующей арматуры рассчитывают по формуле:

Уну, iзра= Днузра·nзра·Хнузра  (сi/100), кг/час; (1.3)

3.Утечки через подвижные уплотнения рассчитывают по формуле:

Упу, i= Дпу·nпу·Хпу·(ci/100), кг/час; (1.4)

где n - число уплотнений данного вида в технологическом узле;

(q)д - величина утечки i-гo вещества через одно уплотнение данного вида (Приложение 1);

х- доля уплотнений данного вида, потерявших герметичность (Приложение 1);

ci- массовая концентрация i-гo загрязняющего вещества в потоке, %.

4. Утечки i-гo загрязняющего вещества при отборе проб рассчитывают по формуле:

Упр, i= Vпp·ρ·к·nпр·(сi/100):τ **,** кг/сутки; (1.5)

где Vпр - объем пробоотборника, м3;

р- плотность продукта в потоке, кг/м3;

сi - массовая концентрация загрязняющего вещества, %;

nпр- число отбора проб за время τ (час, сутки, месяц, год);

к- кратность продувки (к=30 при отборе газообразных продуктов в пробоотборнике с Vпp=(0,5-0,1)· 10-3 м3; к=3 - при отборе проб сжиженных газов и жидких нефтепродуктов; к=8 - при отборе проб газа в баллоны с Vпp =0,04 м3).

1. Содержание задачи 2. Рассчитать выбросы загрязняющих веществ (углеводородов и сероводорода) от неорганизованных источников технологического узла по известным исходным данным.
2. Исходные данные к задаче 2 даны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Исходные данные к задаче 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | nфл | nзра | nкомпр | nмас | Ссн,% мас. | СHS,% мас. |
| 1 | 6 | 6 | 1 | 1 | 99,0 | 0,6 |
| 2 | 8 | 8 | 1 | 1 | 99,0 | 0,6 |
| 3 | 10 | 10 | 1 | 1 | 99,0 | 0,6 |
| 4 | 12 | 12 | 1 | 1 | 99,0 | 0,6 |
| 5 | 14 | 14 | 1 | 1 | 99,0 | 0,6 |
| 6 | 16 | 16 | 2 | 2 | 98,0 | 0,8 |
| 7 | 18 | 18 | 2 | 2 | 98,0 | 0,8 |
| 8 | 10 | 20 | 2 | 2 | 98,0 | 0,8 |
| 9 | 22 | 22 | 2 | 2 | 98,0 | 0,8 |
| 10 | 24 | 24 | 2 | 2 | 98,0 | 0,8 |
| 11 | 26 | 26 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |
| 12 | 28 | 28 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |
| 13 | 30 | 30 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |
| 14 | 32 | 32 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |
| 15 | 34 | 34 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |
| 16 | 36 | 36 | 3 | 3 | 97,0 | 1,0 |

Примечания:

1. центробежные компрессоры используют для перекачки газовых потоков;
2. насосы с торцовыми уплотнениями используют для перекачки жидких потоков;
3. отбор проб продукта производится два раза в сутки в пробоотборники объемом 0,001 м3 и 0,01 м3 соответственно для жидких и газовых потоков;
4. плотности жидких и газовых потоков принять равными соответственно 750 кг/м3 и 1,25 кг/м3.

7. Решение задачи 2 (вариант 16).

Задачу решим в предположении, что перекачивается газовый поток.

а) Утечки загрязняющих веществ при отборе проб определим по формуле (1.5):

1. Упр, сн= 0,01·1,25·8·2·(97,0/100):24 =0,0081 кг/час =70,81 кг/год;

Упр,нs= 0,01·1,25·8·2·(1,0/100):24 =0,000083кг/час =0,73 кг/год.

б) Утечки загрязняющих веществ через уплотнения определим по формулам 1.2-1.4.

Уснфп= 0,00073·(36·0,030)·(97/100)=0,00076кг/час·24·365 =6,70 кг/год;

Уснзра= 0,021·(36·0,293)·(97/100)=0,215 кг/час=1882 кг/год;

усн компр= 0,120·(3·0,765)·(97/100)=0,270 кг/час=2365 кг/год;

Унsфп= 0,00073·(36·0,030)·(1/100)=7,9·10-6кг/час=0,069 кг/год;

Унsзра = 0,021(36·0,293)·(1/100)=0,0022 кг/час=19,40 кг/год;

Унsкомпр= 0,120·(3·0,765)·(1/100)=0,0028 кг/час=24,12 кг/год.

в) Валовые утечки загрязняющих веществ определим суммированием утечек при отборе проб и через уплотнения различного вида:

Усн= 72,7+6,70+2286+2340 = 4705,4 кг/год= 0,537 кг/час;

Унs= 0,73+0,069+19,40+20,02= 40,22 кг/год= 0,0046 кг/час.

**1.3 Моделирование выбросов загрязняющих веществ при сжигании**

**топлива в котлоагрегатах котельной**

Котлоагрегаты котельной работают на различных видах топлива. Выбросы загрязняющих веществ зависят от количества и вида топлива, а также от типа котлоагрегата. Загрязняющими веществами, выделяющимися при сжигании топлива, являются твердые частицы, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, оксид ванадия (V).

1. Валовый выброс твердых частиц определяется по формуле:

*,* т/год, (1.6)

где m - количество израсходованного топлива, т/год;

ξт - зольность топлива, % масс, (среднее значение зольностей составляют для: углей -10-30%, мазута - 0,1 %, природного газа - 0,0%);

ηт - эффективность золоуловителей, % (средние значения которого составляют 80-90%);

χ-безразмерный коэффициент, зависящий от типа топки и вида топлива (средние значения **χ**составляют для газа - 0,0; для мазута - 0,01; для углей - 0,02).

2. Валовый выброс угарного газа определяется по формуле:**, т/год; (1.7)

где Д1 - потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, % (среднее значение Д**1**составляют для газа и мазута 0,5%; для угля - 4,5%);

Ссо - выход монооксида углерода при сжигании топлива, кг/т, значение которого определяется по формуле:

Cco=qг·R·Qтн, кг/т;(1.8)

где qг- потери тепла вследствие химической неполноты сгорания, %, (средние значения qг составляют для газа и мазута 0,5%, для угля-0,75%);

R - коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива (средние значения R составляют для газа 0,5%, для мазута - 0,65, для угля -1,0%);

Qтн - низшая теплота сгорания топлива (средние значения Qтнсоставляют для газа и мазута 35 МДж/кг, для угля 15 МДж/кг).

3. Валовый выброс оксидов азота определяется по формуле:

*= m ·Qth··(1 - β)·10-3,* т/год*;* (1.9)

где β- коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов NOx в результате применения технических решений (для котлов производительностью до 30 т пара/час, значение β = 0);

- параметр, характеризующий количество NOx в кг, образующихся на один ГДж тепла (с ростом паропроизводительности котлоагрегата от 0,5 до 30 т/час значения ** возрастает для газа и мазута - от 0,08 до 0,12, для угля от 0,10 до 0,25 кг/ГДж).

4. Валовый выброс оксидов серы определяется по формуле:

= 0,02·m·Sτ(1 –)·(1–), т/год, (1.10)

где Sτ - содержание серы в топливе, % масс. (средние значения Sт составляют для природного газа 0,0%; для мазута малосернистого - 0,5%; мазута сернистого - 1,9%; мазута высокосернистого - 4,1%; для угля - 0,5-1,5%);

- доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива (средние

значения составляют для газа 0,0%; для мазута - 0,02%;, для угля -

0,1 - 0,2%);

- доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителях (для сухихзолоуловителей принимается равной нулю).

5. Валовый выброс ванадия определяется по формуле (оксид ванадия образуется только при сжигании мазута):

, кг/год; (1.11)

где В **-** количество израсходованного мазута, т/год;

- содержание оксидов ванадия в мазуте (г/т), которое определяется путем лабораторного анализа или рассчитывается по формуле;

= 95,4· Sт - 31,6 г/т; (1.12)

ηос- коэффициент оседания ванадия на поверхности нагрева котлов (значение составляют: 0,07- для котлов с промежуточным паронагревателем, очистка которых производится при остановке агрегата; 0,05 - для котлов без промежуточного паронагревателя при тех же условиях очистки; 0,0 - для остальных случаев);

ηт - доля твердых частиц в продуктах сгорания мазута, улавливаемых в устройствах для очистки газов, % (средние значения ηт составляют 80-90%).

6. Максимально разовый выброс загрязняющего вещества для самого
холодного месяца года определяется по формуле:

**, кг/час;(1.13)

где Mi**-** валовый выброс i-го загрязняющего вещества, кг/час;

m **-** общее количество израсходованного топлива, т/год;

mх - расход топлива за самый холодный месяц года, т;

nх - количество дней в самом холодном месяце года.

7. Содержание задачи 3. Рассчитать валовые и максимально разовые
выбросы загрязняющих веществ (твердых частиц, оксида углерода, оксидов азота, оксидов серы и оксидов ванадия), образующихся при сжигании данного вида топлива в котлоагрегатах котельной по известным исходным данным.

8. Исходные данные к задаче 3 даны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 -Исходные данные к задаче 3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Q пара, т/час | Вид топлива | m·103,т/год | mх,т | nx, дней | КПДкотлоагрегата |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 10 | газ | 7,2 | 720 | 20 | 0,65 |
| 2 | 15 | газ | 10,2 | 1020 | 20 | 0,70 |
| 3 | 20 | газ | 12,8 | 1280 | 20 | 0,75 |
| 4 | 25 | газ | 15,0 | 1500 | 20 | 0,80 |
| 5 | 30 | газ | 16,3 | 1680 | 20 | 0,85 |
| 6 | 10 | мазут | 8,8 | 880 | 20 | 0,60 |
| 7 | 15 | мазут | 12,0 | 1200 | 20 | 0,65 |
| 8 | 20 | мазут | 15,2 | 1520 | 20 | 0,70 |
| 9 | 25 | мазут | 18,0 | 1800 | 20 | 0,75 |
| 10 | 30 | мазут | 20,4 | 2040 | 20 | 0,80 |
| 11 | 10 | уголь | 12,0 | 1200 | 20 | 0,50 |
| 12 | 15 | уголь | 16,8 | 1680 | 20 | 0,55 |
| 13 | 20 | уголь | 20,8 | 2080 | 20 | 0,60 |
| 14 | 25 | уголь | 24,0 | 2400 | 20 | 0,65 |
| 15 | 30 | уголь | 26,4 | 2640 | 20 | 0,70 |
| 16 | 35 | уголь | 28,0 | 2800 | 20 | 0,75 |

9. Решение задачи 3 (вариант 16).

а) по формулам 1.9-1.12 определяем валовые выбросы загрязняющих веществ:

 МЧ = 28000·20·(1- 85/100)·0,02 =1680 т/год;

 МСО =28000·20·(1- 0,045)·10-3 =535 т/год;

**=28000·15·0,25·(1-0,05)·10-3=99,8 т/год;

=0,02·28000·1,9·(1-0,15)·(1-0)=904,4 т/год.

б) Максимально разовые выбросы загрязняющих веществ определяем по формуле 1.13:

**=1680/28000·2800/20·1/24 = 0,35 кг/час;

**=605/28000·2800/20· 1/24 = 0,12 кг/час;

**=99,8/28000·2800/20·1/24 = 0,021 кг/час;

**=476/28000·2800/20· 1/24 = 0,099 кг/час.

**2 Практическая работа №2: Моделирование и прогнозирование условий сброса сточных вод в водоемы**

Существование биосферы и человека в ней всегда связано с использованием воды. Вода играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни. Огромное значение вода имеет в промышленном и сельском производстве. Общеизвестна необходимость ее для бытовых потребностей человека, всех растений и животных. Для многих живых существ она служит средой обитания. Рост городов, бурное развитие промышленности интенсификация сельского хозяйства, значительное расширение площадей орошаемых земель, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше усложняют проблемы обеспечения водой. Поэтому становится актуальной проблема рационального водоиспользования и снижение загрязнения водоемов.

Под загрязнением водных ресурсов понимают любые изменения физических, химических и биологических свойств воды в водоемах, при которых наблюдается уклонение от нормы в сторону увеличения содержания тех или иных нормируемых компонентов в связи со сбрасыванием жидких, твердых и газообразных веществ, которые делают воду водоемов не пригодной для использования, нанося ущерб народному хозяйству, здоровью и безопасности населения.

Загрязнение поверхностных и подземных вод можно распределить на следующие типы:

1) механическое - повышение содержания механических примесей;

2) химическое - наличие в воде органических и неорганических веществ токсического и нетоксического действия;

3) бактериальное и биологическое - наличие в воде разнообразных патогенных микроорганизмов, грибов и мелких водорослей;

4) радиоактивное - присутствие радиоактивных веществ в поверхностных или подземных водах;

5) тепловое - выпуск в водоемы подогретых вод с тепловых и атомных электростанций.

Основными источниками загрязнения водоемов являются недостаточно очищенные сточные воды промышленных и коммунальных предприятий, крупных животноводческих комплексов, отходы производства при разработке полезных ископаемых, сбросы водного и железнодорожного транспорта. Загрязняющие вещества, попадая в водоемы, приводят к качественным изменениям свойств воды, которые в основном проявляются:

1) в изменении физических свойств (в частности, появление неприятных запахов, привкусов и т.д.);

2) в изменении химического состава (в частности, появление в воде вредных веществ, наличие плавающих веществ на поверхности воды и откладывание их на дне водоемов).

Выделяют следующие группы сточных вод:

1) производственные (ПСВ);

2) бытовые, включая хозяйственно-фекальные (БСВ);

3) атмосферные или ливневые (АСВ)

Количественный и качественный состав сточных вод разнообразен и зависит от отрасли промышленности, ее технологических процессов. Один из вариантов классификации производственных сточных вод приведен на
рисунке 2.1.

Производственные сточные воды в зависимости от наличия загрязняющих веществ делятся на две группы:

1) содержащие загрязняющие вещества;

2) условно чистые.

Кроме того, по загрязняющим веществам сточные воды промышленных предприятий делят на две группы:

1. Содержащие неорганические примеси. К этой группе относятся сточные воды, в которых содержатся кислоты, щелочи, ионы тяжелых металлов и др. Сточные воды этой группы в основном изменяют физические свойства воды.

СТОЧНЫЕ

ВОДЫ

По источникам образования

По типам производств

По фазово-дисперсной характеристике

По загрязняющим веществам

 - Бытовые - Нефтепереработка - Iгруппа – растворимые - Нефть и

 примеси размером нефтепродукты

 10-5-10-4

 - Атмосферные - Нефтехимия -II группа – коллоидные - Кислоты и щелочи

 растворы (системы)

 - Соли, в т.ч. тяжелых

 - Производственные - Нефтегазодобыча -III группа – растворен- металлов

 ные газы и растворен-

 ные органические - Масла

 вещества

 -Другие производства - IVгруппа – вещества, - Смолы

 диссоциирующие на

 ионы - Фенолы

 - ПАВ и др.

Рисунок 2.1 - Классификация сточных вод

2. Содержащие ядовитые вредные вещества. В сточных водах этой группы содержатся различные нефтепродукты, аммиак, альдегиды, смолы, фенолы и другиё вредные вещества. Вредное действие сточных вод этой группы заключается главным образом в окислительных процессах, вследствие которых уменьшается содержание в воде кислорода, увеличивается биохимическая потребность в нем, ухудшаются органолептические показатели воды.

Нефть и нефтепродукты на современном этапе являются основными загрязнителями внутренних водоемов, морей, Мирового океана. Попадая в водоемы, они создают разные формы загрязнения: плавающую на воде нефтяную пленку, растворенные или эмулированные в воде нефтепродукты и др. При этом изменяется запах, вкус, окраска, поверхностное натяжение, вязкость воды, уменьшается количество кислорода, вода приобретает токсические свойства и представляет угрозу не только для человека, но и для рыбных запасов. Следует отметить, что 12 г нефти делают не пригодной для употребления 1 тонну воды. Довольно вредным загрязнителем промышленных сточных вод является фенол. Он содержится в сточных водах многих нефтехимических предприятий. Присутствие фенола резко снижает биологические процессы самоочищения водоемов.

В соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (СанПиН 4630-88) устанавливают две категории водоемов (рисунок 2.2):

I - водоемы питьевого и культурно-бытового назначения;

II - водоемы рыбохозяйственного назначения.

Водоемы

Водоемы питьевого и культурно-бытового

назначения (Iтип)

ого и культурно-бытового назначения (1тип)

Водоемы рыбохозяйственного назначения (IIтип)

хозяйственно-питьевого

назначения

для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб с высокой чувствительностью к содержанию кислорода

места нереста, массового нагула, зимовальные ямы; охранные зоны хозяйств для воспроизводства водообитающих организмов

культурно-бытового назначения (купание,спорт,

отдых)

Рисунок 2.2 - Классификация водоемов

Нормирование качества воды водоемов (рек, озер, водохранилищ) проводят в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (СанПиН 4630-88). Состав и свойства воды водных объектов I типа (питьевого и культурно-бытового назначения) должны соответствовать нормам (т.е. не превышать значений ПДК и других нормируемых параметров качества воды) (таблицу 2.1) в створах (створ II-II), расположенных в водостоках на расстоянии одного километра выше ближайшего по течению (рисунок 2.3), а в непроточных водоемах - в радиусе одного километра от пункта водопользования (рисунок 2.4).

 Расчетный (контрольный) створ

I II 1 км III

 РЕКА Ci≤ПДКi

I II III

 Пункт водопользования

 Створ сброса сточных вод

Рисунок 2.3 - Расчетный створ для проточного водоема I типа (питьевого и культурно-бытового назначения)

Состав и свойства воды в рыбохозяйственных водоемах (II типа) должны соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (наличие течений), а при отсутствии рассеивающего выпуска - не далее чем в 500 м от места выпуска (створ II-II, рисунок 2.3).

 Пункт водопользования



Рисунок 2.4 - Расчетный (контрольный) створ для непроточного водоема I типа (питьевого и культурно-бытового назначения)

Расчетный (контрольный) створ

 0,5 км

 I II

 Ci≤ПДКi

 I

 II

 Сброс сточных вод без рассеивающего выпуска

Рисунок 2.5 - Расчетный створ для проточного водоема II типа

(рыбохозяйственного назначения)

В соответствии с правилами (СанПиН 4630-88) устанавливают нормирующие значения для следующих параметров воды водоемов (таблица 2.1):

1) Содержание плавающих примесей и взвешенных веществ. Этот параметр влияет на общесанитарный режим водного объекта.

2) Запах, привкус, влияющие на органолептические свойства воды, а также окраска и температура воды, значение рН.

3) Состав и концентрация минеральных примесей и растворенного в воде кислорода (О2).

4) Биологическое потребление кислорода (БПК) показывает количество кислорода в мг, необходимое для окисления органических веществ, находящихся в 1 л сточной воды, в результате биохимических процессов. Определяют полное биохимическое потребление кислорода (БПКполн), когда процесс идет в течение 20 суток, или пятисуточное биологическое потребление кислорода (БПК5).

Таблица 2.1 - Некоторые общие требования к составу и свойствам воды

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели состава и свойств воды в водном объекте | Категория водопользования |
| для хозяйст-венно-питьевоговодоснабже-ния | для купания,спорта, отдыха в черте населенных мест | для воспроизводства ценных и требовательных к кислороду видов рыб | для прочихрыбохозяй-ственных целей |
| Взвешенные вещества: увеличение содержания по сравнению с природным уровнем, не более, мг/л | 0,25 | 0,75 | 0,25 | 0,75 |
| Плавающие примеси | На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел, жиров и других примесей |
| Запахи, привкусы | Не более 2 баллов, обнаруживаемых:  | Вода не должна сообщать посторонних привкусов мясу рыб |
| непосредственно или прихлорировании | непосредственно |
| Окраска | Не должна обнаруживаться в столбике: | Вода не должна иметь окраски |
| 20см | 10см |
| Температура | Летом не должна повышаться более, чем на 3°С по сравнению со средней для самого жаркого месяца | Не допускается повышение (в сравнении с естественной) более, чем на 5°С, с общим повышением более 20°С и 5°С зимой |
| Реакция (рН) | В пределах 6,5-8,5 |
| БПКПолн при 20°С, не более, мг/л | 3,0 | 6,0 | 3,0 | 3,0 |
| Ядовитые вещества | Концентрация не более ПДК | В концентрациях, не оказывающих прямого или косвенного воздействия на рыб и их кормовые объекты |
| Растворенный кислород | В любой период года не менее 4 мг/л в пробе, взятой до 12ч | В зимний (последний) период не ниже: |
| 6,0 мг/л  | 4,0 мг/л |

5) Химическое потребление кислорода (ХПК), измеряемое в мг О2 на 1 литр, дает более полно оценку загрязнения, т.к. показывает общее содержание в воде неорганичёских и органических веществ, реагирующих с сильными окислителями.

6) Состав и предельно допустимая концентрация (ПДК) ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий, влияющие на здоровье населения и на ихтиофауну водоемов.

Вредные вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют также по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. При нормировании качества воды в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида ЛПВ:

1) санитарно-токсикологический;

2) общесанитарный;

3) органолетический.

Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными выше ЛПВ дополнительно используют еще два вида ЛПВ:

4) токсикологический;

5) рыбохозяйственный.

При сбросе сточных вод санитарное состояние водоема должно отвечать требованиям норм при выполнении соотношения для каждого вида ЛПВ:

≤1 (1.1)

где *Сiп.вод -* концентрация 1-го вещества одного вида ЛПВ в расчетном створе водоема;

ПДК I- предельно допустимая концентрация 1-го вещества;

n - количество веществ одного вида ЛПВ в расчетном створе водоема.

Для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения проверяют выполнение трех, а для водоемов рыбохозяйственного назначения - пяти неравенств. При этом каждое вещество можно учитывать только в одном неравенстве.

Основным нормативным требованием к качеству воды в водном объекте является соблюдение установленных предельно допустимых концентраций (ПДК), оценивающих качество воды с точки зрения ее опасности для здоровья.

Предельно допустимая концентрация примеси в воде водного объекта (реке, озере, море, подземных водах) - это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и возможность ограничения или нарушения нормальных условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и других видов водопользования.

Иными словами, ПДК вредных веществ в водном объекте (измеряется в г/л или мг/л) - это такая концентрация, при повышении которой вода становится не пригодной для одного или нескольких видов водопользования (ГОСТ 17403-72). Состав и свойства воды в водных объектах II типа должны соответствовать нормативам в расчетном (контрольном) створе (II - II) проточных водоемов (рисунки 2.3 и 2.5) ближайшего по течению пункта водопользования, а на непроточных водоемах - в радиусе 1 км от пункта водопользования (рисунок 2.4).

Санитарными нормами установлены ПДК более 1717 вредных веществ в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения, а также 952 вредных вещества в водоемах рыбохозяйственного назначения. В таблице 2.2 представлены значения ПДК для водоемов I и II типа.

ПДК вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения, как правило, меньше, чем в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения.

Необходимо указать, что некоторые вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм людей только при попадании внутрь, другие опасны, кроме того, и при контактном воздействии.

В настоящее время существуют следующие меры борьбы с загрязнением водоемов:

а) Установление прибрежных защитных полос и водоохранных зон в соответствии с Водным кодексом РФ. В прибрежных защитных полосах (шириной 10-50 м от уреза реки) запрещаются любые работы - от распашки земли до выпаса скота, размещение предприятий и ферм.

Таблица 2.2 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ

и лимитирующие признаки их вредности.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вещество | Водоемы I категории (питьевого и культурно-бытового назначения) | Водоемы II категории (рыбохозяйственного назначения) |
| ЛПВ | ПДК, мг/л | ЛПВ | ПДК, мг/л |
| 1 Нефть малосернистая | Органолептический | 0,30 | Рыбохозяйственный | 0,05 |
| 2 Нефть многосернистая | Органолептический | 0,10 | Рыбохозяйственный | 0,05 |
| 3 Бензин, керо-син | Органолеп-тический | 0,1 | Рыбохозяй-ственный | 0,05 |
| 4 Бензол | Санитарно-токсиколо-гический | 0,5 | Токсиколо-гаческий | 0,5 |
| 5 Фенол | Органолептический | 0,001 | Рыбохозяйственный | 0,001 |
| 6 Кадмий Cd2+ | Санитарно-токсиколо-гический | 0,01 | Токсикологический | 0,005 |
| 7 Медь Cu2+ | Органолеп-тический | 1,0 | Токсикологический | 0,01 |
| 8 Цинк Zn2+ | Общесанитарный | 1,0 | Токсикологический | 0,01 |
| 9 Хром Cr3+ | Органолеп-тический | 0,5 |  Токсикологический | 0,01 |
| 10 Хром Cr6+ | Органолеп-тический | 0,1 | Токсикологический  | 0,0001 |
| 11 Свинец Pb 2+ | Санитарно-токсиколо-гический | 0,10 | Токсиколо-гический | 0,10 |
| 12 Ртуть Hg2+ | Санитарно-токсиологический | 0,005 | Токсиколо-гический  | 0,0001 |
| 13 Железо Fe3+ | Органолептический | 0,5 | Токсиколо-гический | 0,05 |
| 14 ПАВ (алкил-сульфат) | Органолептический | 0,5 | Санитарно-токсикологический | 0,20 |
| 15 Аммиак | Общесанитарный | 2,0 | Токсикологический | 0,05 |

б) Уменьшение сбросов промышленных предприятий за счет снижения водопотребления производства и применения оборотных (замкнутых, полузамкнутых) систем водоснабжения.

в) Разделение промышленных и хозяйственно-бытовых стоков.

г) Контроль качества сбрасываемых сточных вод.

Расчет условий сброса сточных вод в водоемы производится с целью уменьшения загрязнения водоемов и устранения вредного влияния поступающих в водоем сточных вод на условия водопользования и здоровье населения.

**2.1 Определение условий спуска сточных вод в водоемы**

Расчетная формула при сбросе сточных вод в водоем проточного типа имеет следующий вид (схематически процесс смешения сточных вод в водоеме приведен на рисунке 2.6).

 **Расчетный створ ( Сin.вод; (Qp+q)**

 III

 III

II

 **Зона смешения**

II

**Сброс сточных вод (q;Ciсm) Пункт водопользования**

Lф

 I

 I

**Река (Qp; Cip)**

Рисунок 2.6 - Схематическое изображение процесса смешения сточных вод в проточном водоеме

 (2.2)

Q и q - соответственно расчетные расходы воды в реке и сточных вод;

Ciсmи Cip - концентрация загрязняющего вещества одинакового вида в сточных водах и в реке до места спуска сточных вод (Cip – фоновая концентрация в реке).

Cin.вод – концентрация загрязняющего вещества данного вида перед расчетным пунктом водопользования;

γ – коэффициент смешения. Для проточных водоемов γ определяется по методу Фролова-Родзиллера:

** (2.3)

где , (2.4)

Здесь Lф – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользованияводоема данного типа.

 α - коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, который в очередь, определяется по формуле:

, (2.5)

В которой ξ - коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем (при выпуске у берега он равен 1 , при выпуске в фарватер реки - 1 ,5);

 φ - коэффициент извилистости реки, который равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования (Lф) к расстоянию до этого же пункта по прямой (Lпр), т. е.:

, (2.6)

Е - коэффициент турбулентной диффузии, который для равнинных рек определяется по формуле:

, (2.7)

Расчетная формула (2.2) позволяет решать следующие задачи:

1. Определить, до какой степени следует очищать (обезвреживать) сточные воды перед их сбросом в водоем.

В этом случае расчетная формула (2.2) путем преобразований приобретает следующий вид:

, (2.8)

Ciпр.доп – максимальная (предельная)концентрацияi-го вещества,которая может быть допущена в сточных водах (или тот уровень очистных сточных вод, при котором после их смешения с водой водоема у расчетного створа водопользования степень загрязнения не должна превзойти установленного предела

Ciпр.доп = ПДКi).

2. Прогнозировать санитарное состояние водоема послё сброса сточных вод.

В данном случае расчетная формула после преобразований приобретает следующий вид:

 (2.9)

где *Сin.вод.-* концентрация i-го загрязняющего вещества у расчетного створа водопользования данного типа водоема.

По приведенной выше формуле (2.9) определяются значения концентраций для всех загрязняющих веществ, содержащихся в сточной воде, т. е. находятся значения *С1п.вод*, С2n.вод и так далее до *Сnn.вод.*

Для каждого i-го загрязняющего вещества должно соблюдаться условие:

, (2.10)

Если в сбросе сточных вод находятся несколько веществ одного лимитирующего признака, то составляется уравнение (2.11), связанное из-за комбинированного действия нескольких веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности:

, (2.11)

Если сумма отношений концентраций всех веществ в водоеме у расчетного створа одного лимитирующего признака к своим ПДК, оказалась меньше единицы, то следует, что поступающие в водоем сточные воды не влияют на условия водопользования и здоровье населения, т. е. на предприятии достигается требуемая степень очистки сточных вод.

В противном случае (при невыполнении условия (2.11)) следует рассмотреть возможные способы уменьшения концентрации i-го вещества, по которому не обеспечивается соблюдение условий спуска сточных вод.

Поэтому при сбросе в водоем сточных вод, в которых содержатся вещества разных групп по лимитирующему признаку вредности, расчет ведется в следующей последовательности:

1) вначале группируются вредные вещества по их лимитирующему признаку вредности (допустим, по санитарно-токсикологическому, органолептическому и т.д.

2) для каждой из этих групп осуществляются расчеты по формуле (12.9) по определению концентрации i-го вредного вещества в расчетном створе водопользования данного типа водоема. Если выполняются условия (2.10) и (2.11), то сброс сточных вод предприятия возможен;

3) в случае несоблюдения условий (2.10) и (2.11) определяется Ciпр.доп для *i-го* загрязняющего вещества в сбрасываемой сточной воде по формуле (2.9).

В случае, если Cicm>Ciпр.доп предприятии должны быть разработаны технические мероприятия по снижению содержания данного загрязняющего вещества в сбрасываемой сточной воде;

1. результаты расчетов по формуле (2.9) приводятся в виде таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов условий выброса сточных вод

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип водоема | Вещество | ЛПВ | ПДКi , мг/л | Ci cm, мг/л | Cin.вод, мг/л (формула (2.8)) |
|  | 1, 2, 3 |  |  |  |  |

1. сделать выводы по выполнению условий сброса сточных вод в водоем.

**2.2 Расчетная часть: прогнозирование санитарного состояния водоемов**

Выполнить расчет условий сброса сточных вод в водоем (номер и вариант задачи указывается преподавателем) и прогнозирование его санитарного со-

стояния.

**Задача 1.** Произвести расчет возможности сброса сточных вод предприятия в проточный водоем, используемый для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Выпуск сточных вод в водоем производится с берега. Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.4 (вариант задачи для заочной формы обучения выбирается по последней цифре зачетной книжки).

Таблица 2.4 – Исходные данные к задаче №1 (водоем I типа–питьевого

и культурно-бытового назначения)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номерварианта | Параметры водоема | Расход сточной воды q,м3/с | Загрязняющее вещество | Содержание загрязняющего вещества, мг/л |
| расход воды Q м3/с | глубина реки Нср, м/с | скорость течения Vср, м/с | длина,км |
| Lпр | Lф | в реке (Ср) | в сточной воде (Сст) |
| 1 | 187 | 2,75 | 0,2 | 25 | 30 | 0,40 | Нефть малосернистая | 0,01 | 0,38 |
| Фенол | 0,0002 | 0,02 |
| Аммиак | 0,03 | 0,40 |
| 2 | 180 | 2,5 | 0,18 | 15 | 18 | 0,30 | Нефть многосернистая | 0,02  | 0,20 |
| Бензол | 0,001 | 0,60 |
| Кадмий | 0,005 | 0,50 |
| 3 | 175 | 2,4 | 0,16 | 22 | 26 | 0,35 | Бензин | 0,04 | 0,50 |
| Хром Cr6+ | 0,02 | 0,60 |
| Свинец | 0,004 | 0,20 |
| 4 | 170 | 2,2 | 0,14 | 6 | 12 | 0,20 | Бензол | 0,004 | 2,00 |
| Медь | 0,02 | 0,80 |
| Ртуть | 0,00001 | 0,02 |
| 5 | 150 | 2,0 | 0,12 | 15 | 21 | 0,25 | Бензин | 0,01 | 0,30 |
| Цинк | 0,002 | 0,25 |
| Железо | 0,02 | 0,30 |
| 6 | 140 | 2,3 | 0,10 | 10 | 15 | 0,18 | ПАВ | 0,01 | 0,20 |
| Фенол | 0,0001 | 0,40 |
| Бензин | 0,01 | 0,50 |
| 7 | 120 | 2,0 | 1,5 | 20 | 26 | 0,12 | Нефть многосернистая | 0,01 | 0,15 |
| ПАВ | 0,015 | 0,30 |
| Свинец | 0,0005 | 0,20 |
| 8 | 200 | 4,0 | 0,75 | 16 | 20 | 0,20 | Нефть малосернистая | 0,015 | 0,50 |
| Бензол | 0,01 | 0,30 |
| Железо | 0,005 | 0,20 |
| 9 | 160 | 3,5 | 0,60 | 12 | 15 | 0,15 | Бензин | 0,001 | 0,35 |
| Свинец | 0,0001 | 0,004 |
| Ртуть | 0,00001 | 0,006 |
| 10 | 150 | 3,5 | 0,80 | 14 | 17 | 0,14 | Бензол | 0,00001 | 0,10 |
| Фенол | 0,0002 | 0,06 |
| Бензин | 0,0004 | 0,40 |

**Задача 2.** Произвести расчет сброса сточных вод предприятия в проточные водоемы, используемые для рыбохозяйственных целей. Выпуск сточных вод в водоем производится в фарватер реки. Исходные данные приведены в таблице 2.5 (вариант задачи для заочной формы обучения выбирается по последней цифре зачетной книжки).

Таблица 2.5 – Исходные данные к задаче №2 (водоем II типа–рыбохозяйственного назначения)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номерварианта | Параметры водоема | Расход сточной воды q,м3/с | Загрязняющее вещество | Содержание загрязняющего вещества, мг/л |
| расход воды Q, м3/с | глубина реки Нср, м/с | скорость течения Vср, м/с | длина, км |
| Lпр | Lф | в реке (Ср) | в сточной воде (Сст) |
| 1 | 300 | 3,5 | 0,60 | 5 | 7 | 0,75 | Нефть многосернистая | 0,01 | 0,20 |
| ПАВ | 0,04 | 1,20 |
| Свинец | 0,001 | 0,50 |
| 2 | 260 | 3,2 | 0,55 | 10 | 14 | 0,60 | Нефть многосернистая | 0,02  | 0,30 |
| Кадмий | 0,004 | 0,20 |
| Ртуть | 0,00002 | 0,04 |
| 3 | 240 | 3,0 | 0,35 | 12 | 15 | 0,50 | Бензин | 0,01 | 0,25 |
| Хром Cr6+ | 0,005 | 0,40 |
| Цинк | 0,001 | 0,10 |
| 4 | 220 | 2,8 | 0,24 | 17 | 20 | 0,30 | Бензол  | 0,001 | 0,80 |
| Фенол | 0,0004 | 0,50 |
| Аммиак  | 0,001 | 0,90 |
| 5 | 200 | 2,6 | 0,22 | 22 | 30 | 0,40 | Медь | 0,002 | 1,0 |
| Бензол | 0,004 | 0,20 |
| Железо | 0,01 | 0,60 |
| 6 |  180 | 2,5 | 0,20 | 21 | 27 | 0,35 | ПАВ | 0,01 | 1,0 |
| Аммиак  | 0,002 | 1,0 |
| Бензин | 0,005 | 0,50 |
| 7 | 160 | 2,4 | 0,18 | 14 | 18 | 0,20 | Нефть многосернистая | 0,03 | 0,40 |
| Медь | 0,005 | 0,60 |
| Ртуть  | 0,00001 | 0,10 |
| 8 | 150 | 4,0 | 0,50 | 8 | 10 | 0,45 | Медь | 0,0004 | 0,004 |
| Ртуть | 0,0001 | 0,0001 |
| Железо  | 0,2 | 0,20 |
| 9 | 120 | 3,8 | 0,40 | 6 | 9 | 0,25 | Свинец | 0,0001 | 0,05 |
| Цинк | 0,0005 | 0,04 |
| Бензин  | 0,05 | 0,10 |
| 10 | 100 | 2,5 | 0,20 | 15 | 17 | 0,30 | Нефть многосернистая | 0,05 | 0,50 |
| Бензин  | 0,001 | 0,20 |
| Бензол | 0,002 | 0,80 |

Требования к содержанию отчета

1. Изложить теоретическую часть, а именно:

- общие сведения о загрязнении водоемов и сточных водах;

- классификацию водоемов;

- нормирование качества воды в водоемах с приведением рисунков 13, 14 и 15;

- понятие о предельно допустимой концентрации вредного вещества в водоеме в зависимости от типа водоема

2. Составить уравнение материального баланса смешения сточных вод с водой водоема по формуле (12.2) и привести схему смешения сточных вод (рисунок 14).

3. Определить концентрацию i-го вредного загрязняющего вещества в водоеме и проверить выполнение условий (12.10) и (12.11).

4. В случае невыполнения условий (12.10) и (12.11) выполнить расчет по формуле (12.8).

5. На основании исходных данных и расчетов составить таблицу 2.3.

6. Сделать выводы.

**3 Практическая работа №3: Определение категории опасности предприятия**

Для включения предприятий в систему государственного учета выбросов вредных веществ в атмосферу, ускорения и упрощения работ на стадии разработки ведомственных проектов по установлению величины предельно допустимых выбросов, для разработки проектов планов по охране атмосферного воздуха, а так же при инспекционных проверках предприятий необходимо четкое их деление на категории опасности.

Категория опасности присваивается предприятию в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ по коэффициенту КОП, определяемому по формуле:

,

где Мi – масса выбрасываемого вещества, т/год

αI– коэффициент, зависящий от класса опасности данного вещества (таблица 3.1);

ПДКСС – среднесуточная предельно допустимая концентрация данного вещества, мг/м3.При отсутствии ПДКСС в расчетах используется ПДКмр или ОБУВ (таблица 3.7).

Среднесуточная концентрация (ПДКсс) – средняя из числа концентраций, выявленных в течение суток, или отбираемая непрерывно в течение 24 ч. Она установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вещества на организм человека.

Максимальная кратковременная (разовая) концентрация (ПДКмр) – наиболее высокая из числа 30-минутных концентраций, зарегистрированных в данной точке за определенный период наблюдения. ПДКмр – основная характеристика опасности вредного вещества. Она устанавливается для предупреждения отклонений рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, световая чувствительность, биоэлектрическая активность головного мозга и др.) при кратковременном воздействии атмосферных примесей.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества (ОБУВ) – временный гигиенический норматив для загрязняющего атмосферу вещества, установленный расчетным методом для целей проектирования промышленных объектов.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76.ССБТ вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются на четыре класса опасности: 1-й чрезвычайно опасные; 2-й высоко опасные; 3-й умерено опасные; 4-й малоопасные.

Класс опасности конкретному веществу устанавливается в зависимости от его токсичности, летучести, а так же от отдельных последствий в виде мутагенного (изменение наследственной информации) и канцерогенного (раковых заболеваний) действий.

Таблица 3.1 – Значение коэффициента **αi**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс опасности веществ По ГОСТ 12.1.007-76 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| коэффициент αi | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |

По значению коэффициента КОП определяется категория опасности предприятия (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Категория опасности предприятия

|  |  |
| --- | --- |
| Значение коэффициента КОП | Категория опасности предприятия |
| КОП≥106 | 1 |
| 106>КОП≥104 | 2 |
| 104>КОП≥103 | 3 |
| КОП<103 | 4 |

Пример определения категории опасности предприятия (Завод железобетонных изделий) с исходными данными и результатами расчета величины коэффициента КОП приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Данные по заводу железобетонных изделий

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Видовой состав выбросов | Мi, т/год | ПДКссi,мг/м3 | Класс опасности веществ | αi | МiПДКcci | MПДКссi |
| Пыль неорганическая | 737,10 | 0,050 | 3 | 1,0 | 14742,0 | 14742,0 |
| Оксид азота | 41,87 | 0,060 | 3 | 1,0 | 698,0 | 698,0 |
| Оксид марганца | 0,001 | 0,001 | 2 | 1,3 | 1,0 | 1,0 |
| Оксид хрома | 0,001 | 0,0015 | 1 | 1,7 | 0,7 | 0,5 |



Полученное значение коэффициента КОП дает основание присвоить заводу железобетонных изделий 2-ю категорию опасности.

**Задача.**Определить категорию опасности предприятия по одному из указанных вариантов (таблица 3.4). Вариант выбирается по последней цифре зачетной книжки. Задание ПДКСС, ПДКмр, ОБУВ и класс опасности вещества приведены в таблице 3.7. Установить перечень необходимой документации, а также периодичность отчетности и сроки контроля деятельности предприятия по загрязнению атмосферного воздуха природоохранными органами (таблицы 3.5 и 3.6).

Таблица 3.4 – Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу различными предприятиями

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № варианта | Наименование выбросов | Количество выбросов за год,т/год |
| 1 | 2 | 3 |
|  | 1Трубопрокатный завод |  |
|  | Сернистый ангидрид | 251,650 |
| Углерода оксид | 3368,490 |
| Азота оксид  | 948,060 |
| Альдегид масляный | 3,490 |
| Водород фтористый  | 40,294 |
| Железа окислы  | 14,890 |
| Кальций фтористый | 5,830 |
| Марганец и его соединения | 4,330 |
| Никель сернокислый | 0,009 |
| Пыль металлическая | 2593,550 |
| Формальдегид  | 0,300 |
| Хром трехвалентный | 0,183 |
| Цинка окись | 47,430 |
| Щелочь едкая | 1,390 |
|  | 2 Завод дорожных машин |  |
|  | Сернистый ангидрид | 5,990 |
| Углерода оксид | 1067,970 |
| Азота оксид  | 33,000 |
| Ацетон | 0,980 |
| Ангидрид хромовый | 0,668 |
| Бутилацетат | 1,155 |
| Водород фтористый | 0,093 |
| Кислота соляная | 0,003 |
| Кислота азотная | 0,032 |
| Ксилол | 0,200 |
| Марганца окислы | 1,009 |
| Сольвент | 172,170 |
| Спирт этиловый | 1,155 |
| Толуол  | 5,773 |
| Спирт бутиловый | 1,732 |
|  | 3 Завод «Теплоприбор» |  |
|  | Сернистый ангидрид | 0,777 |
| Окись углерода | 103,840 |
| Окислы азота | 0,362 |
| Углеводороды без летучих органических соединений | 1,347 |
| Ацетон  | 3,100 |
| Бензин  | 0,788 |
| Бутилацетат  | 3,170 |
| Водород фтористый | 1,675 |
| Ксилол  | 8,550 |
| Свинец  | 0,002 |
| Толуол  | 6,021 |
|  | 4 Завод металлоконструкций |  |
|  | Углерода оксид | 21,800 |
| Азота оксид | 3,249 |
| Водород фтористый | 0,088 |
| Железа окислы | 3,866 |
| Ксилол  | 7,632 |
| Марганца оксид | 0,615 |
| Пыль неорганическая | 13,541 |
| Сольвент  | 88,953 |
| Толуол  | 22,426 |
| Уайт-спирит  | 19,153 |
| Фтористые соединения | 0,123 |
| Хром трехвалентный | 0,008 |
|  | 5 Лакокрасочный завод |  |
|  | Азота оксид  | 61,150 |
| Акролеин  | 4,874 |
| Ацетон  | 88,920 |
| Ангидрид малеиновый  | 0,023 |
| Ангидрид фталиеновый | 5,670 |
| Бензин  | 2,720 |
| Бутилацетат | 11,172 |
| Водород цианистый | 0,187 |
| Водород хлористый | 0,473 |
| Дихлорэтан  | 6,703 |
| Ксилол  | 26,741 |
| Марганец и его соединения | 0,083 |
| Нафталин  | 0,061 |
| Нафтохинон  | 0,282 |
| Пыль неорганическая | 11,336 |
|  | 6 Часовой завод |  |
|  | Сернистый ангидрид | 0,031 |
| Углерода оксид | 1,079 |
| Азота оксид | 0,325 |
| Углеводороды  | 3,625 |
| Аммиак | 2,604 |
| Ацетон | 10,920 |
| Алюминия оксид | 0,007 |
| Бензин | 10,640 |
| Водород | 0,011 |
| Дихлорэтан | 0,067 |
| Кислота соляная | 0,049 |
| Кислота азотная | 0,003 |
| Ксилол  | 7,048 |
| Керосин  | 3,626 |
| Масляный туман | 0,241 |
|  | 7 Автомеханический завод |  |
|  | Углерода оксид | 1,723 |
| Углеводороды | 0,579 |
| Ацетон | 0,091 |
| Ангидрид хромовый | 0,011 |
| Бензин | 1,020 |
| Бутилацетат | 0,058 |
| Водород фтористый | 0,542 |
| Ксилол | 0,354 |
| Керосин | 2,610 |
| Масляный туман | 2,510 |
| Марганец и его соединения  | 0,002 |
| Озон | 0,055 |
| Стирол | 0,010 |
| Толуол | 0,298 |
| Фенолы | 0,122 |
|  | 8 Металлургический комбинат |  |
|  | Сернистый ангидрид | 16217,541 |
| Углерода оксид | 17268,055 |
| Азота оксид | 13802,722 |
| Углеводороды | 1007,515 |
| Бенз(а)пирен | 0,180 |
| Аммиак | 1315,939 |
| Бензол | 285,742 |
| Водород цианистый | 483,660 |
| Железа оксид | 6293,126 |
| Кислота соляная | 2,461 |
| Марганец и его соединения | 815,660 |
| Никель металлический | 4,264 |
| Нафталин | 977,699 |
| Пыль металлическая | 53159,406 |
| Сероводород  | 324,815 |
|  | 9 Тракторный завод |  |
|  | Сернистый ангидрид | 8,372 |
| Углерода оксид | 2865,710 |
| Азота оксид | 446,030 |
| Углеводороды | 122,300 |
| Альдегиды | 0,156 |
| Акролеин  | 0,224 |
| Аэрозоль алюминия | 7,080 |
| Аэрозоль сварочный | 128,200 |
| Бензин | 11,520 |
| Бутанол | 9,860 |
| Масляный туман | 38,830 |
| Марганец и его соединения | 1,480 |
| Никель металлический | 0,006 |
| Пыль металлическая | 1785,910 |
| Свинец  | 0,044 |
|  | 10 Завод «Прибор» |  |
|  | Углерода оксид | 0,359 |
| Азота оксид | 0,002 |
| Аммиак | 0,195 |
| Ацетон | 0,560 |
| Ангидрид хромовый | 0,714 |
| Бензин | 0,470 |
| Бутилацетат | 0,740 |
| Водород цианистый | 0,028 |
| Водород хлористый | 0,005 |
| Ксилол | 0,670 |
| Керосин | 2,350 |
| Масляный туман | 0,450 |
| Стирол | 0,145 |
| Спирт этиловый | 1,048 |
| Толуол  | 0,330 |

Таблица 3.5 - Объем и содержание проектов нормативов ПДВ в зависимости от категории опасности предприятия

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Перечень основных разделов, входящих с состав проекта нормативов ПДВ | Категория опасности предприятия |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Титульный лист | + | + | + | + |
| 2 | Список исполнителей | + | + | + | - |
| 3 | Аннотация | + | + | + | - |
| 4 | Содержание  | + | + | + | - |
| 5 | Введение | + | + | + | - |
| 6 | Общие сведения о предприятии |  |  |  |  |
| 6.1 | Карта-схема предприятия | + | + | + | - |
| 6.2 | Ситуационная карта-схема района размещения предприятия | + | + | + | - |
| 7 | Краткая характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы |  |  |  |  |
| 7.1 | Краткая характеристика технологии производства и технологического оборудования с точки зрения загрязнения атмосферы | + | + | + | - |
| 7.2 | Краткая характеристика установок очистки газов, укрупненный анализ их технического состояния, эффективность работы | + | + | + | - |
| 7.3 | Оценка степени соответствия применяемой технологии, очистки газов, технологического и пылегазоочистного оборудования передовому уровню | + | + | - | - |
| 7.4 | Перспективы развития | + | + | + | - |
| 7.5 | Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу | + | + | + | + |
| 7.6 | Сведения о залповых выбросах | + | + | - | - |
| 7.7 | Параметры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для пересчета на ПДВ | + | + | + | + |
| 7.8 | Основание полноты и достоверности исходных данных (г/с, т/год), принятых для расчетов нормативов ПДВ | + | + | + | + |
| 7.9 | Сведения об ущербе, причиняемом выбросами предприятия: |  |  |  |  |
|  | - здоровью населения | + | - | - | - |
|  | - окружающей среде | + | + | - | - |
| 8 | Проведение расчетов и определение предложение нормативов ПДВ |  |  |  |  |
| 8.1 | Расчеты и анализ уровня загрязнения атмосферы на текущий момент | + | + | - | - |
| 8.2 | Предложения по нормативам ПДВ | + | + | + | + |
| 8.3 | План мероприятий по снижению выбросов загрязняющий веществ в атмосферу с целью достижения нормативов ПДВ | + | + | - | - |
| 8.4 | Уточнение размеров санитарно-защитной зоны с учетом розы ветров | + | + | - | - |
| 9 | Мероприятия по урегулированию выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях | + | + | + | - |
| 10 | Контроль за соблюдением нормативов ПДВ на источники выброса | + | + | - | - |

Таблица 3.6 – Периодичность отчетности и контроля промышленных предприятий в зависимости от категории опасности предприятия

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Мероприятия | Категория опасности |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Инвентаризация источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (1 раз в 5лет) | + | + | + | + |
| 2 | Просмотр норм ПДВ в целом по городу (1 раз в 5 лет) | + | + | + | + |
| 3 | Разработка (или пересмотр) планов по охране атмосферного воздуха по формам статической отчетности (ежегодно) | + | + | + | + |
| 4 | Разработка ведомственных проектов норм ПДВ:а) по полной схемеб) по сокращенной схемев) не составляется | + | + | + | + |
| 5 | Периодичность контроля деятельности предприятия по охране атмосферного воздуха:а) ежегодноб) один раз в 2-3 годав) выборочно (1 раз в 5 лет) | + | + | + | + |

#### Таблица 3.7 – Нормативы загрязняющих вредных веществ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование загрязняющихвредных веществ | Классопасности | ПДКСС, мг/м3 | ПДКмр ,мг/м3 | ОБУВ,мг/м3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Азота оксид | 3 | 0,06 | 0,04 |  |
| Азота диоксид | 2 | 0,04 | 0,085 |  |
| Акролеин | 2 | 0,03 | 0,03 |  |
| Альдегид масляный | 3 | 0,015 | 0,015 |  |
| Альдегид каприловый | 2 |  | 0,02 |  |
| Алюминия оксид (в пересчете на алюминий) | 2 | 0,01 |  |  |
| Аммиак | 4 | 0,04 | 0,02 |  |
| Ангидрид малеиновый | 2 | 0,05 | 0,20 |  |
| Ангидрид сернистый (сернистый газ, двуокись серы) | 3 | 0,05 | 0,50 |  |
| Ангидрид фталиевый | 2 | 0,10 | 0,10 |  |
| Ангидрид хромовый | 1 |  | 0,0015 |  |
| Ацетон | 4 | 0,35 | 0,35 |  |
| Ацетонциангидрин | 2 |  |  | 0,01 |
| Бария хлорид | 2 |  |  | 0,004 |
| Бенз(а)пирен | 1 | 0,01 |  |  |
| Бензин | 4 | 1,5 | 5,0 |  |
| Бензол | 2 | 0,1 | 1,5 |  |
| Бутанол (спирт бутиловый) | 3 | 0,10 | 0,10 |  |
| Бутилацетат | 4 | 0,1 | 0,1 |  |
| Взвешенные вещества | 3 | 0,15 | 0,50 |  |
| Водород мышьяковистый | 2 | 0,002 |  |  |
| Водород фтористый (фтористые соединения) | 2 | 0,005 | 0,02 |  |
| Водород хлористый (кислота соляная) | 2 | 0,2 | 0,2 |  |
| Водород цианистый (кислота синильная) | 2 | 0,01 |  |  |
| Водорода перекись | 3 |  |  | 0,02 |
| Диоксан 1,4 (этилена диоксид) | 3 |  |  | 0,07 |
| Дибутилфтанол | 2 |  |  | 0,1 |
| Диэтиловый эфир | 2 |  |  | 0,1 |
| Дихлорэтан | 2 | 1 | 3 |  |
| Железа оксид (сварочный аэрозоль) | 3 | 0,04 |  |  |
| Железо сернокислое (железа сульфат) | 3 | 0,007 |  |  |
| Изопентан | 4 | 100 |  |  |
| Кадмия оксид | 1 | 0,0003 |  |  |
| Кальция фторид (фтористые соединения) | 2 | 0,03 | 0,2 |  |
| Кислота азотная | 2 | 0,15 | 0,40 |  |
| Кислота борная | 3 | 0,02 |  |  |
| Кислота ортофосфорная | 3 |  |  | 0,02 |
| Кислота серная | 2 | 0,1 | 0,3 |  |
| Кислота уксусная | 3 | 0,06 | 0,2 |  |
| Канифоль | 3 |  |  | 0,1 |
| Керосин | 4 |  |  | 1,2 |
| Ксилол | 3 | 0,2 | 0,2 |  |
| Марганец и его соединения | 2 | 0,001 | 0,01 |  |
| Масло минеральное | 3 | 0,05 | 0,05 |  |
| Метилметакрилат | 3 | 0,01 | 0,1 |  |
| Моноэтаноламин | 2 | 0,02 |  |  |
| Мышьяк | 2 | 0,003 |  |  |
| Натрия карбонат (щелочь едкая) | 2 |  |  | 0,04 |
| Натрия нитрит | 3 |  | 0,005 |  |
| Натрия о-фосфат | 3 |  | 0,1 |  |
| Натрия гидроокись | 2 | 0,01 | 0,01 |  |
| Нафталин | 4 | 0,003 | 0,003 |  |
| Нафтахинон | 1 | 0,005 | 0,005 |  |
| Никельметаллический | 2 | 0,001 |  |  |
| Озон | 1 | 0,03 | 0,16 |  |
| Олова оксид | 3 |  | 0,02 |  |
| Пыль абразивная | 4 |  | 0,04 |  |
| Пыль древесная | 3 |  |  | 0,1 |
| Пыль металлическая | 3 |  | 0,15 |  |
| Пыль неорганическая | 3 | 0,05 | 0,15 |  |
| Пыль органическая | 3 |  |  | 0,10 |
| Пыль стекловолокна | 3 |  | 0,06 |  |
| Ртуть металлическая | 1 | 0,0003 |  |  |
| Сажа | 3 | 0,05 | 0,15 |  |
| Свинец | 1 | 0,0003 | 0,001 |  |
| Сероводород | 2 |  | 0,008 |  |
| Скипидар | 4 | 1 | 2 |  |
| Сольвент (углерод 4-хлористый) | 2 | 0,7 | 4,0 |  |
| Спирт бутиловый | 3 | 0,1 | 0,1 |  |
| Спирт изобутиловый | 4 | 0,4 | 0,1 |  |
| Спирт метиловый | 3 | 0,5 | 1,0 |  |
| Спирт этиловый | 4 | 5 | 5 |  |
| Стирол | 2 | 0,002 | 0,04 |  |
| Сульфат аммония | 3 | 0,1 | 0,2 |  |
| Толуол | 3 | 0,6 | 0,6 |  |
| Триэтаноламин |  |  |  | 0,14 |
| Уайт-спирит | 4 |  |  | 1,0 |
| Углеводороды предельные | 4 |  | 1 |  |
| Углерода оксид | 4 | 3 | 5 |  |
| Фенол | 2 | 0,003 | 0,01 |  |
| Формальдегид | 2 | 0,003 | 0,035 |  |
| Хлор | 2 | 0,03 | 0,1 |  |
| Хром трехвалентный | 3 |  |  | 0,01 |
| Хром шестивалентный | 1 | 0,0015 | 0,0015 |  |
| Циклогексан | 4 | 1,4 | 1,4 |  |
| Цинка дигидрофосфат | 2 | 0,005 |  |  |
| Цинка монофосфат | 2 |  | 0,005 |  |
| Цинка нитрат | 2 | 0,05 | 0,05 |  |
| Цинка оксид | 3 | 0,05 |  |  |
| Этилацетат | 4 | 0,1 | 0,1 |  |
| Этилцеллозольв | 3 |  |  | 0,7 |
| Эпихлоргидрин | 2 | 0,2 | 0,2 |  |

**Приложение 1**

Расчетные величины утечек q через уплотнения неподвижных и подвижных соединений и расчетные доли уплотнении (х), потерявших герметичность.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование оборудования и среды | q, кг/час | х |
| Фланцевые соединения: |  |  |
| - парогазовые потоки | 0,00073 | 0,030 |
| - легкие углеводороды (жидкие) | 0,00033 | 0,050 |
| - тяжелые углеводороды (жидкие) | 0,00028 | 0,020 |
|  Запорно-регулирующая арматура |  |  |
| - газовая среда | 0,0210 | 0,293 |
| - легкие углеводороды | 0,0130 | 0,365 |
| -тяжелые углеводороды | 0,0066 | 0,070 |
| - водород | 0,0088 | 0,300 |
| Предохранительные клапаны: |  |  |
| - парогазовые потоки | 0,136 | 0,460 |
| - легкие углеводороды | 0,084 | 0,250 |
| - тяжелые углеводороды | 0,111 | 0,350 |
| Уплотнения валов (одноуплотнение): |  |  |
| а) центробежные компрессоры |  |  |
| - газовые потоки | 0,120 | 0,765 |
| - водород | 0,050 | 0,810 |
| б) поршневые компрессоры | 0,115 | 0,700 |
| в) насосы |  |  |
| - сальниковые уплотнения | 0,140 |  |
| - торцовые уплотнения | 0,080 |  |
| - двойные торцовые уплотнения | 0,020 |  |
| - сжиженные и легкие углеводороды |  | 0,638 |
| - тяжелые углеводороды |  | 0,220 |