Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 15.10.2026 15:01:29
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса и отраслевого управления

Кафедра Техносферной безопасности

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Методические указания по выполнению курсовой работы
по дисциплине Промыщленная экология
для студентов, обучающихся по направлению
20.03.01 Техносферная безопасность
очной формы обучения

Составитель ***А.А. Загорская***

Тюмень
ТИУ
2021

Комплексная очистка пылегазовых выбросов: метод. указ. для выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность/сост. Загорская А.А.; Тюменский индустриальный университет. – 1-е изд. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2021. – 36 с.

Ответственный редактор: О.В. Ударцева, д. т. н., профессор

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры Техносферной безопасности
«30» августа 2021 года, протокол № 1

Аннотация

Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Промышленная экология» предназначены для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность. Данная дисциплина изучается в двух семестрах.

Методические указания состоят из пояснительной записки, включающей в себя указания по выполнению и оформлению курсовой работы, приложения и примеры оформления, а также список рекомендуемой литературы.

Методические указания по выполнению курсовой работы окажут помощь студентам в организации самостоятельной работы, а также могут пригодиться обучающимся при повторении изученного материала и подготовке к экзамену.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ 5

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 7

2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ РАЗДЕЛОВ. 8

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ВЫБРОСА 9

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И РАСЧЕТУ СООРУЖЕНИЙ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ. 10

4.1. Расчет циклонов 10

4.2. Расчет скрубберов Вентури 11

4.3.Определение продолжительности защитного действия адсорбера 12

4.4. Определение рабочих характеристик процесса водной абсорбции 15

4.5. Термообезвреживание газовых выбросов 20

5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ОТ УСТАНОВОК ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ25

6. ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ 25

7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 26

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 30

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 31

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 34

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 36

ВВЕДЕНИЕ

Одним из следствий техногенного влияния на окружающую среду России в настоящее время является заметное ухудшение состояния атмосферного воздуха. Наиболее крупнотоннажные (млн. т. в год) глобальные загрязнения атмосферы образуют CO_2 ($2*10^4$), пыль (250), CO (200), SO_2 (150), углеводороды (> 50), NO_x (50). Номенклатура загрязнений весьма широка и включает, помимо названных, сероводород, сероуглерод, аммиак, галогены и их производные, сажу, оксиды металлов, различные соли и другие соединения.

Основными путями борьбы с пылевыми выбросами в атмосферу должны оставаться совершенствование технологических процессов с доведением до минимума вредных выбросов и создание безотходных, замкнутых технологических циклов. Однако в тех, пока еще многочисленных, случаях, когда эти задачи не могут быть решены, необходимо применять наиболее эффективные и экономичные средства очистки воздуха и газов от пыли перед выбросом их в атмосферу.

Разработка инженерных решений по аспектам защиты атмосферы от вредных выбросов определяется:

- требованиями закона РФ «Об охране окружающей среды» [1];
- необходимостью контроля за соблюдением норм предельно-допустимых выбросов объекта [2];

За прошедшее десятилетие серьезных практических шагов, которые позволили бы заметно изменить защиту атмосферы от производственных выбросов, не сделано. Процессы, происходящие в пылегазоочистных устройствах, как правило, гораздо сложнее технологических процессов, порождающих выбросы. Поэтому предпочтение отдается более простым решениям по снижению антропогенной нагрузки на атмосферу, как-то рассеивание выбросов в атмосфере или создание санитарно-защитных зон. В связи с этим, сфере пылегазоочистки уделяется лишь эпизодическое внимание.

Методические указания развивают и конкретизируют основные положения и требования по разработке решений по защите атмосферного воздуха от загрязнений. Ориентируют студентов на приобретение теоретических и практических навыков по вопросам техники защиты окружающей среды и снижению отрицательных последствий вмешательства человека на этапе проектирования, реконструкции и эксплуатации промышленных объектов.

Целью работы является ознакомление студентов с наиболее часто применяемыми методами очистки газовых выбросов от дисперсных и газообразных загрязнителей, а также освоение навыков конструирования аппаратов пылегозоочистки.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- Количество очищаемого газа - W, $м^3/с$;
- Плотность газа при рабочих условиях - ρ_t, $кг/м^3$;
- Вязкость газа - μ , $Н·с/м^2$;
- Плотность частиц пыли - ρ_p ,$кг/м^3$;
- Медианный диаметр – D_m,мкм;
- Дисперсность пыли - $lg\sigma_n$;
- Исходная концентрация пыли (зольность) – C_a, $г/м^3$.
- Смачиваемость и слипаемость загрязнителя – B; n
- Степень очистки газа η_{tot};
- Скорость газа в горловине $w_г$, м/с;
- Массовый расход газа M_g, кг/с;
- Массовый расход орошающей жидкости M_L , кг/с;
- Объемный расход орошающей жидкости - W_L, $м^3/с$;
- Удельный расход жидкости i_{ir}, $л/м^3$;
- Давление в системе p, кПа;
- Плотность жидкости ρ_L, $кг/м^3$;
- Начальная концентрация газообразного загрязнителя - C_o, $г/м^3$;
- Температура в адсорбере - t_p, ^oC;
- Коэффициент кинематической вязкости газовой смеси - ν, $м^2/с$;
- Диаметр гранул поглотителя – d, мм;
- Длина гранул – l, мм;
- Насыпная плотность - $\rho_н$, $кг/м^3$;
- Кажущаяся плотность - $\rho_к$, $кг/м^3$;
- Скорость движения газового выброса – w, м/с
- Объемные доли компонентов - r_i.
- Объем воздуха для сжигания топлива – Vt, $м^3/м^3$.
- Объем воздуха для сжигания горючих компонентов – Vtf, $м^3/м^3$.
- Объем воздуха необходимый для сжигания загрязнителя – Vti, $м^3/м^3$.
- Коэффициенты избытка воздуха в отбросных газах по отношению к топливу - α, β, γ
- Суммарный или действительный коэффициент избытка воздуха учитывающий количество окислителя в газовых выбросах по отношению к топливу - A
- Расход газового выброса – Wa, $м^3/с$.
- Расход топлива - Wf, $м^3/с$.
- Число загрязнителей - N
- Доля горючих загрязнителей - Ri, %.
- Доля топлива в общем объеме - Rf, %.

- Нормативные объемы продуктов горения - $V_{CO2,}$ $V_{H2O,}$ $V_{N2,}$ V_{O2} $м^3/м^3$.
- Нормативные объемы рассчитанные по составу топлива без учета горючих загрязнителей - $V_{CO}{}^{f}{}_{2,}$ $V_{H2O}{}^{f}$
- Количество атомов углерода - m
- Количество атомов водорода - n
- Влагосодержание отбросных газов - da, $кг^3/м^3$.
- Влагосодержание - df, $кг^3/м^3$.
- Содержание азота в составе топливного газа - (N_2)f, %.
- Верхний предел воспламенения топливного газа – Luf, %.
- Верхний предел i-го компонента- Lui, %.
- Верхний предел воспламенения смеси – Lu, %.
- Теплота сгорания топливного газа - Qf, кДж/ $м^3$.
- Теплота сгорания i-го компонента – Qi, кДж/ $м^3$.
- Теплоемкость топлива - Cf, кДж/ $м^3$.
- Теплоемкость отбросных газов – Ca, кДж/ $м^3$.
- Исходная температура топлива – tf,°C.
- Исходная температура газового выброса – ta, °C.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При подборе средств очистки необходимо исходить из реальной модели газа, придерживаясь принципа запрета на изменение качества модели атмосферного воздуха в процессе производства.

При постановке задач на проектирование должны быть охвачены все загрязнители, присутствующие в выбросах, для чего состав отбросного газа должен быть тщательно проанализирован. Отдельно необходимо выделить нейтральные ингредиенты, которые не наносят ущерба окружающей среде или чьи концентрации не превышают допустимых норм.

Все компоненты оцениваются по физико-химическим и санитарно-гигиеническим свойствам. Особое внимание уделяется агрегатному состоянию, термодинамическим, реакционным и каталитическим свойствам. Для аэрозольных загрязнителей необходимы сведения о размерах частиц, абразивности, слипаемости, удельном электростатическом сопротивлении и характере взаимодействия с жидкостями. Для газообразных загрязнителей важны данные о температурах кипения и деструкции, критических параметрах, теплотах фазовых переходов, характеристиках растворения.

При обработке выбросов, содержащих высококонцентрированные аэрозоли, низких величин проскока (1-2%) можно достичь только двухступенчатой очисткой с применением предварительной очистки в жалюзийных решетках, циклонах или пылеосадительных камерах. Окончательный этап очистки может производиться на пористых фильтрах, электрофильтрах или в мокрых пылеосадителях.

Жидкие аэрозоли (туманы) могут быть скоагулированы посредством изменения параметров состояния с последующим осаждением в мокрых скрубберах, пористых и электрических фильтрах, абсорберах.

Для очистки выбросов от газообразных загрязнителей применяются методы конденсации, сорбции и термообезвреживания.

Если газовые выбросы по элементному составу не содержат других компонентов кроме, углерода, водорода и кислорода, то они могут обезвреживаться в одну стадию – непосредственным сжиганием.

Оптимальный вариант системы обезвреживания газового выброса должен отвечать следующим требованиям:

- Использование материалов оптимального качества;
- Обеспечение герметичности, взрыво-и пожаробезопасности оборудования;
- Максимальное использование типовых конструкций;
- Обеспечение технологичности монтажа.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ РАЗДЕЛОВ

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 30-40 печатных листов и графической части, представленной 3 чертежами формата А3.

Расчетно-пояснительная записка включает следующие разделы:

1. **Определение физико-химических характеристик газового выброса:**
   - 1.1. Медианный диаметр частиц
   - 1.2. Дисперсность
   - 1.3. Плотность газового выброса
   - 1.4. Вязкость газового выброса
2. **Разработка технических мероприятий, снижающих влияния загрязняющих веществ на состояние окружающей среды**
   - 2.1 Литературный обзор
   - 2.2. Обоснование технологической схемы и расчет необходимого оборудования для очистки газовых выбросов
   - 2.3. Утилизация сточных вод от установок пылегазоочистки
   - 2.4 Утилизация отходов от установок пылегазоочистки
3. **Экономика природопользования**
   - 3.1 Расчет платежей за загрязнение окружающей природной среды
   - 3.2 Экономическая оценка экологического ущерба
   - 3.3. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий
4. **Заключение**

Графическая часть включает следующие разделы:

Лист 1 Технологическая схема очистки отходящих газов
Лист 2 Сооружения для очистки газовых выбросов
Лист 3 Технологическая схема утилизации сточных вод
Лист 4 Технологическая схема утилизации отходов

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ВЫБРОСА

Гетерогенные системы невозможно рассматривать как равновесные, поэтому свойства газоносителей рассматриваются отдельно от характеристик твердой фазы.

Твердая фаза характеризуется концентрацией и дисперсностью.

Дисперсность – совокупность размеров всех частиц гетерогенной системы. Частицы с размерами, составляющие определенный интервал относят к какой-либо фракции.

Дисперсность характеризуется двумя величинами: средним или медианным диаметром частиц:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i \cdot D_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i}, \qquad (1)$$

Где M_i – число частиц в i-ой фракции, может быть выраженно процентным содержанием по массе.

Di – диаметр частиц заданной фракции, мкм.

Дисперсность определяется по выражению:

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} M_i \cdot (D_m - D_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} M_i - 1} \right]^{1/2} \qquad (2)$$

В практике очистки газовых выбросов принято состав газоносителя задавать объемными или массовыми процентами, а содержание вредных примесей массовыми концентрациями. Плотность газовой смеси определяется по принципу аддитивности:

$$\rho_0 = \sum_{i=1}^{N} \rho_i * r_i \text{ , кг/м}^3 \qquad (3)$$

Где r_i - объемная доля i-го компонента, %

ρ_I – плотность i-го компонента при нормальных условиях, кг/м^3

Вязкость среды определяется по выражению:

$$\eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \eta_i * r_i * \sqrt{\eta_i * T_{CRi}}}{\sum_{i=1}^{N} r_i * \sqrt{\eta_i * T_{CRi}}}, \text{ Па*с} \qquad (4)$$

Параметры газовой среды при рабочей температуре определяются по формулам 5 и 6:

$$\rho_t = \rho_0 * \frac{273}{273 + t}, \text{ кг/м}^3 \qquad (5)$$

$$\eta_T = \eta_0 \frac{273{,}15+K}{T+K} \cdot \left(\frac{T}{273{,}15}\right)^{3/2}, \text{ Па с} \qquad (6)$$

Где t и T – рабочая температура процесса, выраженная в градусах Цельсия и Кельвина соответственно.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И РАСЧЕТУ СООРУЖЕНИЙ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ

4.1. Расчет циклонов

Циклоны предназначены для сухой очистки газов от пыли со средним размером частиц 40…100 мкм. Все практические задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются циклонами НИИОГАЗА: цилиндрическим серии ЦН и коническим серии СК. Избыточное давление газов, поступающих в циклон, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30…50^{0}С выше температуры точки росы, а по условиям прочности конструкции – не выше 400^{0}С. Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с ростом последнего. Цилиндрические циклоны серии ЦН предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов при начальной запыленности до 400 г/м^3 и устанавливать перед фильтрами и электрофильтрами.

Конические циклоны серии СК, предназначенные для очистки газов от сажи, обладают повышенной эффективностью по сравнению с циклонами типа ЦН за счет большего гидравлического сопротивления. Входная концентрация дисперсных загрязнений не должна превышать 50 г/м^3.

Алгоритм расчета:

1) Задаться типом циклона и определить оптимальную скорость газа ω_{opt}, в сечении циклона диаметром D:

Тип циклона и оптимальную скорость газа определить по таблице 1 приложения 1.

2) Определить диаметр циклона, м

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \omega_{opt}}} \qquad (7)$$

Установить ближайшее стандартное сечение.

3) Найти действительную скорость газа в циклоне, м/с

$$\omega = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot n \cdot Dst^2} \text{ м/с}, \qquad (8)$$

где n – число циклонов.

4) Вычислить коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{500} \qquad (9)$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона; определяемый по таблице 3 приложения 1.

K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа; определяемый по таблице 4 приложения 1.

ζ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм, определяемый по таблице 2 приложения 1.

5) Определить гидравлическое сопротивление циклона:

$$\Delta\rho = \frac{\zeta \cdot \rho_t \cdot \omega^2}{2} \text{ ,Па} \qquad (10)$$

Сравнить с нормативными потерями давления 2500 Па

По приложению таблице 1 приложения 1 определить значение параметров пыли $d_{50}^{т}$ и $lg\sigma_\eta$:

6) Ввиду того, что значения $d_{50}^{т}$, определяются по условиям работы типового циклона, необходимо учесть влияние отклонений условий работы от типовых на величину d_{50}:

$$d_{50} = d_{50}^{m} \cdot \sqrt{\frac{D}{D_r} \cdot \frac{\rho_{pr}}{\rho_p} \cdot \frac{\mu}{\mu_r} \cdot \frac{\omega_{opt}}{\omega}} \text{, мкм} \qquad (11)$$

7) Рассчитать параметр осаждения x:

$$X = \frac{\lg \frac{D_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_n}} \qquad (12)$$

По таблице5 приложения 1 найти значение вероятностной функции Ф(x).

8) Определить степень эффективности очистки газа в циклоне:

$$\eta = 0.5 \cdot [100 + \Phi(x)] \qquad (13)$$

Расчетное значение степени очистки газа в циклоне сравнивается с требуемым значением и делается соответствующие выводы о правильности выбранного циклона. Габаритные размеры циклона определяются по таблице 6 приложения 1.

4.2. Расчет скрубберов Вентури

Скрубберы Вентури нашли наибольшее применение среди аппаратов мокрой очистки газов с осаждением частиц пыли на поверхности капель жидкости. Они обеспечивают эффективность очистки 0.96…0.98 на пылях со средним размером частиц 1…10 мкм при начальной концентрации пыли до 100 г/м^3 . Удельный расход воды на орошение при этом составляет 0.4…8 л/м^3 . Габаритные размеры скруббера определяются из условий 14 и 15.

$$\alpha_1 = 28°;\ l_1 = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot tg\alpha_1 / 2} \qquad (14)$$

$$\alpha_2 = 8°;\ l_2 = 0.15 \cdot d_2;\ l_3 = \frac{d_3 - d_2}{2 \cdot tg\alpha_2 / 2} \quad (15)$$

Алгоритм расчета:

1) Определить гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури,

2) $$\Delta p_g = \frac{\zeta_g \cdot w_г^{\,2} \cdot \rho_t}{2} \quad \text{Па} \quad (16)$$

Где ζ_g - коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури, принимаемый равным 02-03.

2) Рассчитать гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошающей жидкости,

$$\Delta p_L = \frac{\zeta_L \cdot w_Г^{\,2} \cdot \rho_L \cdot i_{ir}}{2} \quad \text{Па, где} \quad (17)$$

ζ_L – коэффициент гидравлического сопротивления трубы, обусловленный вводом жидкости

$$\zeta_L = 0.63 \cdot \zeta_g \cdot \left(\frac{M_L}{M_g} \cdot \frac{\rho_t}{\rho_L} \right)^{-0.3} \quad (18)$$

3) Найти гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Н/ м^2

$$\Delta p = \Delta p_g + \Delta p_L, \text{ Па} \quad (19)$$

4) Найти суммарную энергию сопротивления Кт, Па

$$K_T = \Delta p + p_L \cdot \left(\frac{W_L}{W} \right) \quad (20)$$

где W_L и W – объемные расходы жидкости и газа соответственно, м^3/с

5) Определить эффективность скруббера Вентури

$$\eta_{tot} = 1 - e^{-B \cdot K_T^{\,n}} \quad (21)$$

Характеристики дисперсной примеси, *B* и *n*, определяется по таблице 1 приложения 2.

6) Сравнить требуемый эффект очистки с полученной эффективностью скруббера Вентури (величина η_{tot}) и сделать соответствующие выводы.

4.3.Определение продолжительности защитного действия адсорбера

Метод адсорбции основан на физических свойствах некоторых твердых тел с ультрамикроскопической структурой селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты из газовой

среды. Адсорбцию применяют для удаления большого числа различных газообразных загрязнений, особенно органических, до получения их очень низких объемных концентраций (менее миллионных долей).

Основными областями применения этого метода являются обработка больших объемов газов с очень низкой концентрацией загрязняющих веществ и снижение концентраций этих веществ до следовых уровней. Полярные адсорбенты, такие как активированные оксиды алюминия, силикагель и молекулярные сита, обладают высокой селективностью по отношению к газам с полярными молекулами. Однако присутствие таких часто встречающихся полярных продуктов, как водяной пар, может приводить к снижению их адсорбирующей способности по отношению к другим веществам или делать их вовсе неэффективными. Неспецифический адсорбент — активированный уголь получил наиболее широкое распространение. Он является одним из немногих адсорбентов, которые можно использовать для влажных газов. Вследствие неспецифичности активированный уголь адсорбирует все газы, присутствующие в малых количествах, пропорционально их концентрациям, поэтому следует учитывать тот факт, что, помимо газа, который необходимо уловить, будут адсорбироваться и другие примеси.

При разработке адсорбционных систем необходимо учитывать следующие основные принципы:

1) достаточное время контакта между газовым потоком и слоем сорбента, позволяющее обеспечить необходимую эффективность очистки (малые поверхностные скорости и соответствующая высота слоя);

2) достаточная емкость адсорбента, обеспечивающая возможно более длительный срок службы;

3) возможно более низкое сопротивление газовому потоку для снижения энергетических расходов;

4) равномерное распределение воздушного потока, обеспечивающее полное использование сорбента;

5) либо проведение в случае необходимости предварительной обработки для удаления твердых частиц, мешающих газообразных примесей или веществ, которые нельзя десорбировать, либо предварительное охлаждение газов;

6) обеспечение возможности регенерации или замены отработанного насыщенного сорбента.

При расчете определяют необходимое количество сорбента, продолжительность процесса поглощения, размеры адсорбционной аппаратуры и энергетические затраты.

Алгоритм расчета:

По изотерме адсорбции и заданной величине $C_{o,}$ г/м^3, определить статическую емкость сорбента: α_0, г/кг

1) Перевести весовую статическую емкость сорбента α_0, в объемную α_0':

$$\alpha_0' = \frac{\alpha_0 \cdot \rho_н}{1000}, \text{кг/м}^3 \quad (22)$$

3)Определить массу сорбента:

$$\text{М}_C = \frac{K \cdot W_g \cdot C_0 \cdot t}{\alpha_0''}, \text{ кг}, \quad (23)$$

где К = 1.1…1.2 – коэф. запаса;

t – заданная продолжительность процесса сорбции, с.

Выбрать скорость потока газа в адсорбере w, м/с. Обычно фиктивная скорость паровоздушной смеси или скорость, рассчитанная на полное сечение слоя, выбирается в пределах 0.1…0.25 м/с.

4) Определить геометрические размеры адсорбера. Для цилиндрического аппарата:

- диаметр $D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot n \cdot w}}$, м (24)

- длина (высота) слоя адсорбента $L_a = \frac{\text{М}_C \cdot w}{W_g}$, м (25)

5) Найти пористость сорбента $П = \frac{\rho_К - \rho_Н}{\rho_К}$ (6

6)Рассчитать эквивалентный диаметр зерна сорбента:

$$d_Э = \frac{П \cdot d \cdot l}{(1 - П) \cdot (d/2 + l)}, \text{м} \quad (27)$$

Коэффициент трения найти в зависимости от характера движения

при R_e<50 $\lambda = 220/R_e$

при $R_e \geq 50$ $\lambda = 11.6/R_e^{0.25}$,

где $R_e = \frac{w \cdot d_Э}{\nu \cdot П}$, - критерий Рейнольдса (28)

7) Определить гидравлическое сопротивление, оказываемое слоем зернистого поглотителя при прохождении через него потока очищаемого газа

$$\Delta P = \frac{3}{4} \lambda \cdot \frac{L_a \cdot \rho_t \cdot (1 - П) \cdot w^2}{Ф \cdot d_Э \cdot П^3}, \quad (29)$$

где Ф– коэффициент формы

8) Определить коэффициент молекулярной диффузии паров этилового спирта в воздухе при заданных условиях: $Д_0$, при T_0 и P_0 , Па:

$$Д = Д_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{P_0}{P}, \quad (30)$$

9) Найти диффузионный критерий Прантля

$$P_Z = \frac{\nu}{Д} \quad (31)$$

Для заданного режима течения газа (определяется значением R_e) вычислить величину коэффициента массопередачи для единичной удельной поверхности, м/с

при $R_e<30$ $\beta = \frac{0.833 \cdot R_e^{0.47} \cdot P_Z^{0.35} \cdot Д}{d_Э}$ (32)

при $R_e>30$ $\beta = \frac{0.53 \cdot R_e^{0.64} \cdot P_Z^{0.33} \cdot Д}{d_Э}$ (33)

По изотерме адсорбции найти:

- количество вещества, максимально сорбируемое поглотителем при данной температуре; $C_к$
- величину концентрации поглощаемого вещества на входе в адсорбер $C_х$;

10) Рассчитать удельную поверхность адсорбента:

$$f = \frac{4 \cdot (1 - П)}{d \cdot l} \cdot \left(\frac{d}{2} + l\right), \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad (34)$$

11) Определить концентрацию загрязнений на выходе из аппарата:

$$C_К = C_0 \cdot (1 - \eta_{tot}), \quad (35)$$

где η - эффективность очистки в долях единицы

12) Находим продолжительность защитного действия адсорбера:

$$\tau = \frac{a_0'}{W \cdot C_0} \cdot \left\{ L_a - \frac{W}{\beta \cdot f} \cdot \left[\frac{C_X}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C_К} - 1\right) + \ln\left(\frac{C_0}{C_К} - 1\right) \right] \right\} \quad (36)$$

Полученные в результате расчета параметры должны обеспечивать заданный режим работы адсорбера в течении более чем t времени. Если $\tau >> t$, то в целях экономии адсорбента можно уменьшить высоту его слоя.

4.4. Определение рабочих характеристик процесса водной абсорбции

Некоторые жидкости и твердые вещества при контакте с многокомпонентной газовой средой способны избирательно извлекать из нее отдельные ингредиенты и поглощать (сорбировать) их. Абсорбцией называется перенос компонентов газовой смеси в объеме соприкасающейся с ней конденсированной фазы. Обратный процесс, т.е. удаление из объема конденсированного вещества поглощенных молекул газа, называется дегазацией или деабсорбцией. Молекулы поглощаемого вещества – абсорбата удерживаются в объеме поглотителя – абсорбента, равномерно распределяясь среди его молекул вследствие растворения или химической реакции.

Процесс, завершающийся растворением абсорбата в поглотителе, называют физической абсорбцией (абсорбция). Процесс, сопровождающийся химической реакцией между поглощаемыми компонентами и абсорбентом, называют химической абсорбцией (хемосорбция). В качестве абсорбента для очистки выбросов на практике используют только капельные жидкости. Одной из основных областей применения абсорбции является удаление водорастворимых газообразных загрязнений из отходящих газов различных процессов; примерами таких загрязнений являются HC1, SO_2, NO_2, HF, SiF_4, NH_3 и H_2S.

Выбор абсорбента зависит от ряда факторов; главными среди них является способность поглощать загрязнитель из газовой фазы.

На интенсивность перехода загрязнителя из газовой фазы в жидкую большое влияние оказывают температура и давление процесса, а также способ организации контакта фаз.

По способу диспергации абсорбента можно выделить распылительные (брызгальные), пленочные, барботажные и пенные устройства. По способу организации массообмена абсорбционные устройства принято делить на аппараты с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. К устройствам с непрерывным контактом фаз можно отнести насадочные колонны, распылительные аппараты (полые скрубберы, скрубберы Вентури, ротоклоны и др.), однопольные мокрые электрофильтры, однопольные барботажные и пенные устройства, а к устройствам со ступенчатым контактом – тарельчатые колонны, многопольные мокрые электрофильтры, многополочные барботажные и пенные устройства.

Для абсорбции газовых загрязнителей наиболее употребительны насадочные и тарельчатые колонны.

Расчеты характеристик насадочных абсорберов

1) Определить количество ингредиентов отбросных газов, составить материальный баланс.

2) Построить график равновесной и рабочей линии процесса, для чего вначале концентрации улавливаемого вещества выразить в долях от количества постоянных компонентов – инертной части газового потока по газовой фазе и чистого поглотителя по жидкой фазе. Затем по опытным данным построить равновесную и рабочую линии процесса абсорбции, определить начальные, равновесные и конечные концентрации загрязнителей в обеих фазах, расход поглотителя.

3) Определить движущую силу массопередачи. Средние движущие силы процесса абсорбции подсчитать, исходя из модели идеального вытеснения:

$$\Delta Y_m = (\Delta Y_h - \Delta Y_I)/(\ln(\Delta Y_h / \Delta Y_I) \quad (37)$$

$$\Delta X_m = (\Delta X_h - \Delta X_I)/(\ln(\Delta X_h / \Delta X_I) \quad (38)$$

где $\Delta Y_{h(I)}, \Delta X_{h(I)}$ - большие (меньшие) движущие силы процесса соответственно по газовой и жидкой фазам.

Движущие силы подсчитать по концентрациям загрязнителей в газовой и жидкой фазах на входе в абсорбер и выходе из него как разносить между действительной концентрацией загрязнителя в рассматриваемой фазе и равновесной с контактирующей фазой (последнюю найти по линии равновесия). Определить движущую силу при противотоке на входе в абсорбер по газовой фазе:

$$\Delta Y_{nh} = Y_{nb} - Y_{nbeq} \quad (30)$$

$$\Delta Y_{nI} = Y_{ne} - Y_{neeq} \quad (40)$$

где Y_{nbeq} - фиктивная концентрация загрязнителя в газовой фазе на входе в абсорбер, равновесная с его действительной концентрацией в поглотителе, удаляемом из абсорбера;

Y_{neeq} - фиктивная концентрация загрязнителя в отбросных газах на выходе из абсорбера, равновесная с концентрацией загрязнителя в поглотителе, поступающем в абсорбер.

4) Определить рабочую скорость газового потока. Тип насадки подобрать исходя из условий обеспечения достаточной площади поверхности массоотдачи. Затем определить скорость газового потока а абсорбере. Рабочая скорость газа W превышает половину скорости начала захлебывания слоя насадки. Скорость начала захлебывания слоя определить по уравнению:

$$\lg\left[\frac{w_h^2 f_v p_y}{g \varepsilon p_x} \cdot \left(\frac{\eta_x}{\eta_{st}}\right)^{0.16}\right] = A - B\left(\frac{W_{gL}}{W_{gG}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{p_y}{p_x}\right)^{0.125} \quad (41)$$

где w_h - предельная скорость газового потока, соответствующая началу захлебывания, м/с;

$w_{gL,} w_{gG}$ - массовые расходы поглотителя и отбросных газов, кг/с;

f_v - удельная поверхность насадки, $м^2 / м^3$;

έ – свободный объем слоя насадки, $м^3 / м^3$;

η_{st} - коэффициент динамической вязкости стандартной жидкости, МПа с;

A, B – эмпирические параметры.

Значения η_x, p_y, p_x принять по параметрам среды в абсорбере.

Значения A и B определить по приложению 3.

По рабочей скорости $w_{wr,}$ м/с, и объемному расходу газа $w_{vG,}\ м^3 / с$ подсчитать диаметр колонны абсорбера, затем выбрать ближайший диаметр D из нормального ряда диаметров колонн и уточнить рабочую скорость, которая не должна превышать 70-85% от предельной w_h.

5). Плотность орошения p_{ir}, $м^3/(м^2 \cdot с)$ определить из соотношения:

$$p_{ir} = w_{gL}/(p_x f) \quad (42)$$

где f - площадь поперечного сечения абсорбера, $м^2$.

Считать, что вся поверхность насадки смочена поглотителем, если плотность орошения будет превосходить некоторую минимальную величину p_i, которую для насадочных абсорберов вычислить по соотношению:

$$p_l = f_v p_{\ln,}\ м^3/(м^2 \cdot с) \quad (43)$$

где $p_{\ln,}$ - линейная скорость орошения, $м^3/(м \cdot с)$

$p_{\ln,} = 3{,}3 \cdot 10^{-5}\ м^3/(м \cdot с)$ - для крупных колец Рашига (размер более 75 мм) и хордовых насадок с шагом более 50 мм;

$p_{\ln,} = 2{,}2 \cdot 10^{-5}\ м^3/(м \cdot с)$ - для всех остальных случаев.

Должно выполняться условие $p_{\ln,} > p_l$. При соблюдении условия коэффициент смачиваемости принимают равным единицы. При несоблюдении указанного условия коэффициенты смачиваемости подсчитываются по эмпирическим зависимостям для каждого вида насадки.

6) Определить коэффициент массоотдачи.

Коэффициент массоотдачи по газовой фазе β_y в абсорберах с регулярной насадкой найти из соотношения:

$$\beta_y = Nu_{DG} \cdot D_{mG}/D_{tq,}\ м/с; \quad (44)$$

$$\mathrm{N}\upsilon_{DG} = 0{,}167 \cdot \mathrm{Re}_G^{0.74}\,\mathrm{Pr}_{DG}^{0.33}(h/D_{eq})^{-0.47} \quad (45)$$

где Nu_{DG} - диффузионный критерий Нуссельта для газовой фазы;

D_{mG} - усредненный по улавливаемым компонентам коэффициент диффузии в газовой фазе, $м^2$/с;

D_{eq} - эквивалентный диаметр элемента насадки, м;

$\mathrm{Re}_G = w_{wr} D_{eq} p_y/(\eta_y \varepsilon)$ - критерий Рейнольдса для газовой фазы в насадке;

$\mathrm{Pr}_{DG} = \eta_y/(p_y D_{mG})$ - диффузионный критерий Прандтля для газовой фазы;

η_y - вязкость газа, Па с;

h – высота элемента насадки, м.

7) Определить коэффициенты массопередачи.

Коэффициент массопередачи по газовой фазе найти, складывая коэффициенты массотдачи $\beta_y и \beta_x$ (предварительно подставленные в требуемых единицах измерения) по принципу аддитивности:

$$K_G = \left(\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}\right)^{-1} \quad (46)$$

где m – коэффициент в уравнении линии равновесия.

Если равновесная линия хорошо аппроксимируется уравнением Генри и ее можно подставить прямой, то коэффициент m определить как тангенс угла наклона этой линии к оси абсцисс.

7) Определить поверхность массопередачи

$$f = j/(K_L \Delta X_m) \tag{47}$$

Поток массы загрязняющего вещества из газовой фазы в жидкую j определить по уравнению материального баланса:

$$j = W_G(Y_b - Y_e) \tag{48}$$

где W_G - расход газовых выбросов.

Величины, входящие в формулы должны быть выражены в соответствующих друг другу единицах измерения. Соотношения между параметрами – коэффициентом массоотдачи, движущей силой и потоком загрязняющего вещества А, улавливаемого абсорбентом В, выраженными в различных единицах измерения приведены в приложении.

8) Определить высоту абсорбера.

Необходимую высоту насадки Н, м, посчитать по соотношению:

$$H = \frac{f}{0.785 \cdot D^2 \cdot f_v \cdot \psi,} \tag{49}$$

Если найденное значение Н превосходит 40 – 45 м, целесообразно принять схему из нескольких последовательно соединенных аппаратов. Кроме высоты насадки, размера колонны необходимо учесть расстояние между ярусами насадки и расстояние от верха насадки до крышки абсорбера. Расстояние от днища абсорбера до низа насадки принять в пределах от 2 до 5 м, что определяется необходимостью обеспечения равномерного ввода обрабатываемых газов в насадку. Расстояние между ярусами необходимо для размещения опорных и перераспределительных устройств и может составлять порядка 0,3 – 0,5 м, а высота яруса 2-3 м. Расстояние от верха насадки до крышки абсорбера необходимо для размещения оросителя, распределяющего поглотитель по поверхности насадки. В этом пространстве, высота которого может составлять 2 – 3 м, устанавливаются также каплеотбойные устройства для предотвращения брызгоуноса из колонны.

9) Определить гидравлическое сопротивление абсорбера.

Величину гидравлического сопротивления мокрой (орошаемой) насадки Δp_w, Па, определить по соотношению:

$$\Delta p_w = \Delta p_d \exp(2.303 \cdot c \cdot p_{ir}), \tag{50}$$

где Δp_d - гидравлическое сопротивление сухой насадки, Па;

с - коэффициент, зависящий от характеристик насадки (определить по приложению 3)

Гидравлическое сопротивление сухой насадки определить по по соотношению:

$$\Delta p_d = \frac{\lambda \cdot H \cdot w_{ri}^2}{D_{eq} \cdot 2} \cdot \rho_y, \qquad (51)$$

где $w_{rl} = w_{wr} / \varepsilon$ - рабочая скорость газа, отнесенная к свободному объему насадки, м/с;

λ - коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от характеристик насадки и режимов движения потоков.

Коэффициент сопротивления регулярных насадок определить по уравнению:

$$\lambda = \lambda_{mp} + \zeta(d_{eq} / h), \qquad (52)$$

где λ_{mp} - коэффициент гидравлического трения поглотительной жидкости по материалу насадки;

ζ - коэффициент местного сопротивления насадки, который необходимо пределить из соотношения:

$$\zeta = (4{,}2 / \varepsilon^2) - (8{,}1 / \varepsilon) + 3{,}9 \qquad (53)$$

Коэффициент сопротивления нерегулярных насадок с одинаковым распределением пустот по всем направлениям определить из соотношения:

$$\lambda = (133 / \mathrm{Re}_G) + 2{,}34 \qquad (54)$$

4.5. Термообезвреживание газовых выбросов

Химические реакции между ингредиентами газовых выбросов, которые в обычных условиях практически незаметны, значительно ускоряются с повышением температуры. Система, содержащая токсичные вещества, может быть обезврежена посредством термообработки, если реакции, происходящее в ней, приведут к образованию менее токсичных компонентов.

По типу происходящих реакций методы термообезвреживания можно разделить на восстановительные и окислительные. Термовосстановительные методы специфичны и разрабатываются индивидуально для каждого конкретного загрязнителя.

Из всех окислительных процессов для термообезвреживания пригодны исключительно реакции с кислородом, поскольку при участии иных окислителей принципиально невозможно получить безвредные продукты окисления. Поэтому далее под термином «окисление» подразумевается процесс, окислителем в котором служит кислород.

Термоокисление газообразных загрязнителей может происходить в газовой фазе (в объеме) или на границы раздела фаз (на поверхности). Газофазный процесс осуществляют непосредственной огневой обработкой (сжиганием в пламени) газовых выбросов при температурах, превышающих температуру воспламенении горючих компонентов выбросов. Для организации процесса окисления на границы раздела фаз используют катали-

заторы – конденсированные вещества, способные за счет активности поверхностных частиц ускорять процесс окисления того или иного загрязнителя при температурах ниже температуры воспламенения.

Термоокислительные методы менее специфичны, чем термовосстановительные, однако далеко не универсальны.

Огневой обработкой, как и термокаталитическим окислением, принципиально возможно обезвредить лишь вещества, молекулы которых не содержат каких – либо других элементов, кроме водорода, углерода и кислорода. Термокатализ не приемлем для обработки газов (паров) высокомолекулярных и высококипящих соединений, которые , плохо испаряясь с катализатора, коксуются и «отправляют» его, т.е. заполняют активную поверхность сажистыми продуктами неполного окисления.

Для крупных источников выбросов с невысоким содержанием загрязнителей более оптимальным решением является комбинированная двухступенчатая очистка с предварительным концентрированием горючих компонентов до нижнего предела воспламенения.

Конструкции топочных устройств для печей термообезвреживания можно разделить на камерные, циклонные, шахтные и барабанные. Наиболее распространены вертикальные и горизонтальные камерные, а также циклонные горизонтальные конструкции. В циклонных печах организуется вращательно – поступательное движение продуктов горения, что обеспечивает большее время пребывания обрабатываемых газов, чем в камеральных печах таких же габаритов.

Тип горелочного устройства для установок термообезвреживания и схему подвода отбросных газов выбирают в зависимости от их состава.

Предлагаемая ниже методика расчета позволяет получить ориентировочные значения параметров процесса, которые затем должны быть уточнены при наладке и эксплуатации установок.

Алгоритм расчета:

1) Определить расход топливного газа

$$W_r = W_a(1-\sum_{i=1}^{N} r_i)/(\alpha_r V_{tf}), м^3/с \qquad (55)$$

где N – количество загрязнителей;

α_r - коэффициент избытка воздуха по отношению к топливу;

V_{tf} - теоретически необходимое количество воздуха, рассчитанное по составу топлива, $м^3/м^3$; способы расчетов величины V_{tf} по известному составу топливного газа и необходимая для этого справочная информация приводятся в большинстве научно-технических и учебных изданий по газоснабжению и использованию газа.

При обработке газов с низким содержанием кислорода величину избытка воздуха по топливу принимают в пределах α_r=1,05-1,2. Если отбросные газы используются в качестве воздуха для горения, то для

уменьшения потребления топлива следует принимать по возможности больший коэффициент избытка воздуха (ориентировочно $\alpha_r \approx 3$).

2) Рассчитать объем топки:

$$V_k = \sum_{i=1}^{N} W_i Q_i / [q_V], м^3 \quad (56)$$

3) Рассчитать тепловую нагрузку топки:

$$V_k [q_V] = \sum_{i=1}^{N} W_i Q_i, кВт \quad (57)$$

где $W_{i,} Q_i$ - соответственно расход, $м^3/с$, и теплота сгорания, $кДж/м^3$, топливного газа или (и) отбросных газов, содержащих горючие вещества;

N – количество видов горючих газов;

$[q_V]$- допустимое тепловое напряжение топочного объема, $кВт/м^3$.

При содержании горючих техничных загрязнителей в отбросных газах менее 50-100 $мг/м^3$ величину Q можно рассчитать по обычным соотношениям для топливного газа. При более высоком содержании подобных загрязнителей необходимо вводить уточнения по формулам.

Значения $[q_V]$ для прямоточных конструкций топок рекомендуется принимать не более 200 $кВт/м^3$. Для циклонных топок эта величина может быть увеличена в 4-5 раз.

4) Необходимое время пребывания органических токсичных соединений в зоне реакции при $t_{cm} = 700 - 1000^0 C$ ориентировочно определить по эмпирической формуле:

$$\tau_{sj} = 25[1 - (t_{cm}/1060)], c \quad (58)$$

При отсутствии опытных данных о температуре горения ее можно оценить по соотношению:

$$t_{cm} = \eta_{pr} t_c, ^0 C \quad (59)$$

где η_{pr} - пирометрический коэффициент, значения которого принимают для неэкраннирtванных неизолированных топок в пределах 0,75-0,85, для экранированных – в пределах 0,5-0,8, для неэкранированных изолированных – в пределах 0,8-0,9;

t_c - калориметрическая температура горения.

При определении t воспламенения аэрозолей правила аддитивности используют для предварительных оценок. t горения топлива зависит от множества факторов и находится в пределах 10^2. Выбросы ряда технологических процессов имеют высокое соединение $O_{2,}$ что позволяет использовать загрязненный воздух в качестве окислителя. В этих случаях горючие компоненты могут влиять на процесс окисления, поэтому расчеты должны производиться с учетом потребности в окислителе и характеристик горючих компонентов.

Определение параметров горения и количество дымовых газов при сжигании газовых смесей используются следующие зависимости:

$$\alpha = \frac{Wa}{Wf * Vtf} \tag{60}$$

$$\beta = Wa \frac{1 - \sum_{i=1}^{n} r_i}{Wf * Vtf} \tag{61}$$

$$\gamma = Wa \frac{\left[1 - \sum_{i=1}^{n} r_i (1 + Vti)\right]}{Wf * Vtf} \tag{62}$$

$$\mathrm{A} = \frac{\beta}{\beta - \gamma + 1} \tag{63}$$

$$\mathrm{Vt} = \frac{\beta - \gamma + 1}{\alpha - \beta + \frac{1}{Vtf}} \tag{64}$$

$$\mathrm{Vr} = \mathrm{A} * \mathrm{Vt} \tag{65}$$

$$\mathrm{Ri} = \frac{\alpha * ri}{\alpha - \beta + \frac{1}{Vtf}} \sum_{i=1}^{n} Ri \tag{66}$$

$$\mathrm{Rf} = 1 - \sum Ri \tag{67}$$

$$\mathrm{Q}_1 = Rf * Qf + \sum_{i=1}^{n} RiQi \tag{68}$$

$$V_{CO_2} = Rf * V_{CO_2}^{f} + \frac{\sum_{i=1}^{n} Ri}{\sum_{i=1}^{n} ri} \sum mri \tag{69}$$

$$V_{H_2O} = Rf * (V_{H_2O}^{f} + 1{,}244 * df) + \frac{\sum_{i=1}^{n} Ri}{\sum_{i=1}^{n} ri} \left(1{,}244da + 0{,}5 \sum_{i=1}^{n} 0{,}5niri\right), \text{ м}^3/\text{м} \tag{70}$$

$$V_{N_2} = 0{,}01\left(N_2^{f}\right)Rf + 0{,}79A * Vt, \text{ м}^3/\text{м}^3 \tag{71}$$

$$V_{O_2} = 0{,}21 * Vt(A - 1), \text{ м}^3/\text{м}^3 \tag{72}$$

$$Lu = \frac{1}{\frac{Rf}{Luf} + \sum_{i=1}^{n} \frac{Ri}{Lui}} \tag{73}$$

$$t_c = \frac{Rf\left[Cf * tf + Qf + \alpha * Vtf\left(Ca * ta + \sum_{i=1}^{n} Qi\right)\right]}{V_{CO_2} * C_{CO_2} + V_{H_2O} * C_{H_2O} + V_{N_2} * C_{N_2} + V_{O_2} * C_{O_2}} \tag{74}$$

Данный расчет предназначен для определения процессов горения 1 м^3 горючей смеси в нормальных условиях. Для расчета систем с дисперсными загрязнителями объемные доли заменяют на мольные или массовые. Если загрязнители содержат какие-либо элементы кроме C, O_2, H_2, то расчет неприемлем.

5) По найденной величине τ_{sj} произвести проверку достаточности принятого ранее объема топки:

$$V_k \geq \tau_{sj} W_{fg} (273 + t_{cm}) / (273 K_{fil}),\ м^3 \qquad (75)$$

где K_{fil} - коэффициент заполнения топки продуктами сгорания, значение которго можно принимать от 0,7 для вертикальных прямоугольных до 0,95 для циклонных топок;

W_{fg} - расход дымовых газов, $м^3$/с.

При содержании загрязнителей менее 200 $мг/м^3$ величину W_{fg} посчитать по выражению:

$$W_{fg} = W_r (V_{co_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}), м^3/с \qquad (76)$$

где $V_{co_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2}$ - объемы соответствующих компонентов продуктов сгорания, отнесенные к 1 $м^3$ топливного газа и определяемые по его составу. При значительных концентрациях горючих загрязнителей расход дымовых газов рассчитать по выражению:

$$W_{fg} = \frac{W_f}{R_f} \ (V_{co_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}), м^3/с \qquad (77)$$

R_f - доля топлива в горючей смеси, определяемая по уравнению скорости реакции, с использованием константы скорости реакции, исходных концентраций и стехиометрических коэффициентов.

6) Найти эквивалентный диаметр D_{eq} и длину (высоту) l(h) топочного устройства:

$$D_{eq} = 0.8\sqrt[3]{V_k}, м$$
$$l = (2{,}0 - 2{,}3) D_{eq}, м \qquad (78,79,80)$$
$$h = (1{,}7 - 2) D_{eq}, м$$

По расходу газового топлива подбирают размер горелочного устройства, необходимое газооборудование и рассчитывают диаметры газопроводов, а по расходу дымовых газов находят размеры дымоходов, дымовой трубы и при необходимости - дымососа. Делают соответствующие выводы.

5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ОТ УСТАНОВОК ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ.

Расход сточных вод после установок «мокрой» инерционной очистки определяется по формуле:

$$Q_w = W_L = i_{ir} \cdot W \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (81)$$

Концентрации загрязнителе в сточной воде после очистки находят по выражению:

$$C_w = \frac{C_{en} \cdot \eta_{tot} \cdot W}{Q_w} \cdot 10^3, \text{ мг/дм}^3 \quad (82)$$

Где C_{en} –концентрация загрязнения на входе в сооружение, г/м^3

η_{tot} - эффективность очистки в сооружении, доли единицы

Полученная концентрация C_w не может больше 500 мг/дм³, в этом случае воду нельзя использовать повторно без предварительной очистки. Отработанную орошающую жидкость необходимо отстаивать, фильтровать, и только после этого возвращать в систему.

Количество пылеватых отходов, образующихся в циклонах и фильтрах, определяется по формуле:

$$M_w = C_{en} \cdot \eta_{tot} \cdot W \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} \text{ т/сут} \quad (83)$$

Мероприятия по накоплению и экологически безопасному хранению на производстве пылеватых отходов предусматриваются в соответствии с [2].

6. ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.

Расчет платежей за загрязнение окружающей природной среды осуществляется в соответствии с [3] по формуле:

$$\text{Пні} = \text{Бні} \cdot \text{Млі} \cdot \text{Кэ} \cdot +5 \cdot \text{Бні} \cdot \text{Мслі} \cdot \text{Кэ}, \text{ руб/год} \quad (84)$$

где: Бні-базовый норматив стоимости за 1 тонну загрязнителя, определяется на основании [6]

$$\text{Млі} = \text{ПДК}_{\text{м.р.}i} \cdot \text{W} \cdot 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \text{ т/год} \quad (85)$$

Млі - выброс загрязняющего вещества в пределах лимита і-го вещества;

$$\text{Мслі} = \text{Мфі} - \text{Млі}, \text{ т/год} \quad (86)$$

Мслі - выброс загрязняющего вещества сверх лимита,

где

$$\text{Мфі} = \text{Са} \cdot \text{W} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365, \text{ т/год} \quad (87)$$

$Мф_i$- фактический выброс загрязняющего вещества;

Кэ - коэффициент экологической ситуации; 2 – для особоохраняемых территорий и 1 – для всех остальных

Экономическая эффективность природоохранных мероприятий определяется по снижению платежей за загрязнение атмосферы до и после внедрения природоохранных мероприятий.

7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Текст курсовой работы должен быть выполнен печатным способом на одной стороне листа бумаги формата А4 (210х297). Общий стиль оформления дожжен соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 ЕСКД.

Цвет шрифта - чёрный, интервал - одинарный гарнитура - Times New Roman, размер шрифта -кегль 14 (для таблиц допускается 12), абзацный отступ - 1,25 см, выравнивание по ширине текста.

Текст курсовой работы следует печатать с соблюдением следующих размеров полей: правое - 10 мм; верхнее - 20 мм; левое - 25 мм; нижнее - 20 мм.

Объем работы должен составлять не более 40 страниц машинописного текста включая приложения.

Сокращений и аббревиатур в тексте не допускается.

Заголовки в оглавлении должны точно повторять заголовки в тексте. Не допускается сокращать или давать заголовки в другой формулировке. Последнее слово заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы в правом столбце оглавления.

В тексте курсовой работы должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе. Перечень допускаемых сокращений слов установлен в ГОСТ 2.316-2008.

В тексте курсовой работы следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ8.417-2002. Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

В курсовой работе принята систематическая группировка библиографических записей. При систематической (тематической) группировке материала библиографические записи располагают в определенной логической последовательности в соответствии с принятой системой классификации. При наличии в списке литературы на других языках, кроме русского, образуется дополнительный алфавитный ряд, который располагают после изданий на русском языке. В описании иностранных изданий не следует смешивать иностранный текст с русским. Все источники нумеруются. Библиографические записи в списке литературы оформляют согласно ГОСТ 7.1-2003.

Каждую главу (раздел) курсовой работы начинают с новой страницы. Заголовки располагают посередине страницы без точки на конце. Переносить слова в заголовке не допускается. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей работы, обозначенные арабскими цифрами.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных

точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Нумерация пунктов должна состоять из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точкой.

Разделы (главы), подразделы (параграфы) должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов (глав), подразделов (параграфов).

Заголовки структурных элементов (ОГЛАВЛЕНИЕ, ВВЕДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ и т.п.) пишут прописными буквами и располагают симметрично тексту. Заголовок разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа, с прописной буквы, без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком структурного элемента и текстом должно быть равно 3 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела - 2 интервала.

Все страницы курсовой работы, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку без пропусков и повторений. Первой страницей считается титульный лист, на котором нумерация страниц не ставится, на следующей странице ставится цифра "2" и т.д.

Порядковый номер страницы печатают слева нижнего поля страницы.

В тексте курсовой работы допускаются внутритекстовые ссылки на стандарты, технические условия и другие источники. Ссылаться следует на источник в целом или его разделы и приложения. При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения при условии полного описания стандарта в списке использованных источников. Внутритекстовые ссылки на использованные источники следует приводить в квадратных скобках, указывая порядковый номер по списку использованных источников.

Формулы следует выделять из текста курсовой работы в отдельную строку, если они являются длинными и громоздкими, содержат знаки суммирования, произведения, дифференцирования, интегрирования.
Если формула не умещается в одну строку, то она должна быть перенесена после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (х), деления (:), или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «х».

Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если формулы являются простыми, короткими, не имеющими самостоятельного значения и не пронумерованными, то допустимо их размещение в тексте курсовой работы (без выделения отдельной строки).

После формулы помещают перечень всех принятых в формуле символов с расшифровкой их значений и указанием размерности (если в этом есть необходимость).

Буквенные обозначения дают в той же последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться с абзацного отступа со слова «где» без двоеточия.

В курсовой работе допустима сквозная нумерация формул. Номер формулы указывают в круглых скобках в крайнем правом положении на строке арабскими цифрами.

Формулы, помещённые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждым номером обозначения приложения, например, формула (В.1).

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотографии) следует располагать непосредственно после текста курсовой работы, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Иллюстрации могут быть цветные. На все иллюстрации должны быть даны ссылки. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 1».

Чертежи, графики, диаграммы, схемы, иллюстрации, помещаемые в тексте, должны соответствовать требованиям государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД - ГОСТ 2.105-95, 2.106-96, ГОСТ 2.104-2006).

Чертежи, графики, диаграммы, схемы должны быть выполнены посредством использования компьютерной печати.

Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «Рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

Все иллюстрации в тексте имеют сквозную нумерацию.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст).

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: Рисунок А. 3.

Таблицы оформляются согласно ГОСТ 7.32-2001 и ГОСТ 2.105-95. Название таблицы, при наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа.

При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки. При ссылке следует писать слово «Таблица» с указанием ее номера.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово «Таблица» и номер ее указывают один раз над первой частью таблицы, над другими частями справа на странице пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы, *например: «Продолжение таблицы 1».* При переносе таблицы на другой лист (страницу) заголовок помещают только над ее первой частью.

Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы. Если строки и графы таблицы выходят за формат страницы, то в первом случае в каждой части таблицы повторяется головка, во втором случае — боковик.

Головки столбцов описывают их содержание; каждый столбец таблицы, в том числе и боковик, должен быть снабжен головкой. В крайнем левом столбце таблицы, называемом боковиком, описывается содержание строки.

Таблицы нумеруют сквозной нумерацией. Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

Приложение оформляют как продолжение текста курсовой работы на последующих его листах.

В тексте курсовой работы на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в основном тексте.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение», его обозначения и степени. Если текст одного приложения расположен на нескольких страницах, то в правом верхнем углу страницы пишут «Продолжение приложения» и указывают его обозначение и степень.

Приложение, как правило, должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФЗ «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.02 г. (в послед. ред.)
2. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» №96-ФЗ от 4.05.1999 г. (в послед. ред.)
3. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (в послед. ред.) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах"
4. ФЗ «О санитарно - эпидемиологическом благополучии населения» №21-ФЗ от 02.03.1996 г. (в послед. ред.)
5. ОНД-90 Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы, часть I и II – СПб, 1992 г.
6. ГОСТ 17.2.3.02-2014 Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
7. Ларионов Н.М. Промышленная экология: учебник для бакалавров : для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 280700 "Техносферная безопасность" / Н. М. Ларионов, А. С. Рябышенков ; МИЭТ. - М. : Юрайт, 2013. - 495 с
8. Таранцева К.Р. Процессы и аппараты химической технологии в технике защиты окружающей среды: учебное пособие / К. Р. Таранцева, К. В. Таранцев. - Москва : ИНФРА-М, 2014. - 412 с
9. Фирсова Л.Ю. Системы защиты среды обитания. Схемы, сооружения и аппараты для очистки газовых выбросов и сточных вод: учебное пособие для студентов направления подготовки "бакалавр" по специальности 280.700.62 "Техносферная безопасность" / Л. Ю. Фирсова. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2013. - 79 с.
10. Виртуальная сеть Chemnet - Содействие химическому и экологическому образованию" /http://www.chem.msu.su/rus/welcome.html/
11. Естественнонаучный образовательный портал-/http://en.edu.ru/

Приложение 1

Таблица №1

Базовые значения характеристик циклонов

Характеристики	Марки циклонов			
	ЦН-24	ЦН-15у	ЦН-15	ЦН-11
$w_{opt}, м/с$	4,5	3,5	3,5	3,5
$D_{50}, мкм$	8,5	6	4,5	3,65
$\lg\sigma_\eta$	0,308	0,283	0,352	0,352

Примечание: значение D_{50} получены при скорости потока, равной w^{opt}, диаметре циклона 600 мм, плотности частиц 1930 кг/м^3, динамической вязкости $22{,}2\cdot10^{-6}\ Па\cdot с$

Таблица №2

Коэффициенты гидравлического сопротивления циклонов

Марка циклона	D_1 / D	Циклоны с выходом в сеть				Циклоны с выхлопом в атмосферу
		Через улитку	Через отвод 90"		Без дополнительных устройств	
			При l/d≤12	При l/d≥12		
ЦН-11	0,59	235	245	250	245	250
ЦН-15	0,59	150	155	160	155	163
ЦН-15У	0,59	158	165	170	165	170
ЦН-24	0,59	73	75	80	75	80

Таблица №3

Поправочный коэффициент К$_1$

D, мм	Марка циклона	
	ЦН - 11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24
200	0,95	0,9
300	0,96	1,0
400	0,99	1,0
500	1	1

Таблица №4

Поправочный коэффициент **К**$_2$

Марка циклона	Запыленность, г/м^3						
	<0,1	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86

Продолжение приложения 1.

Таблица №5

Эффекты очистки для соответствующих параметров осаждения

X	Ф(x),%	Ф(-x),%	**X**	Ф(x),%	Ф(-x),%	**X**	Ф(x),%	Ф(-x),%
0	50	50	**0,72**	76,42	23,58	**1,44**	92,51	7,49
0,02	50,8	49,20	**0,74**	77,03	22,97	**1,46**	92,79	7,21
0,04	51,6	48,40	**0,76**	77,64	22,36	**1,48**	93,06	6,94
0,06	52,39	47,61	**0,78**	78,23	21,77	**1,50**	93,32	6,68
0,08	53,19	46,81	**0,80**	78,81	21,19	**1,52**	93,57	6,43
0,10	53,98	46,02	**0,82**	79,39	20,61	**1,54**	93,82	6,18
0,12	54,78	45,22	**0,84**	79,95	20,05	**1,56**	94,06	5,94
0,14	55,57	44,43	**0,86**	80,51	19,49	**1,58**	94,29	5,71
0,16	56,36	43,64	**0,88**	81,06	18,94	**1,60**	94,52	5,48
0,18	57,14	42,86	**0,90**	81,59	18,41	**1,62**	94,74	5,26
0,20	57,93	42,07	**0,92**	82,12	17,88	**1,64**	94,95	5,05
0,22	58,71	41,29	**0,94**	82,64	17,36	**1,66**	95,15	4,85
0,24	59,48	40,52	**0,96**	83,15	16,85	**1,68**	95,35	4,65
0,26	60,26	39,74	**0,98**	83,65	16,35	**1,70**	95,54	4,46
0,28	61,03	38,97	**1,00**	84,13	15,87	**1,72**	95,73	4,27
0,30	61,79	38,21	**1,02**	84,61	15,59	**1,74**	95,91	4,09
0,32	62,55	37,45	**1,04**	85,08	14,92	**1,76**	96,08	3,92
0,34	63,31	36,69	**1,06**	85,54	14,46	**1,78**	96,25	3,75
0,36	64,06	35,94	**1,08**	85,99	14,01	**1,80**	96,41	3,59
0,38	64,80	35,20	**1,10**	86,43	13,57	**1,82**	96,56	3,44
0,40	65,54	34,46	**1,12**	86,86	13,14	**1,84**	96,71	3,29
0,42	66,28	33,72	**1,14**	87,29	12,71	**1,86**	96,86	3,14
0,44	67,00	33,00	**1,16**	87,70	12,30	**1,88**	96,99	3,01
0,46	67,72	32,28	**1,18**	88,10	11,90	**1,90**	97,13	2,87
0,48	68,44	31,56	**1,20**	88,49	11,51	**1,92**	97,26	2,74
0,50	69,15	30,85	**1,22**	88,88	11,12	**1,94**	97,38	2,62
0,52	69,85	30,15	**1,24**	89,25	10,75	**1,96**	97,50	2,5
0,54	70,54	29,46	**1,26**	89,62	10,38	**1,98**	97,61	2,39
0,56	71,23	28,77	**1,28**	89,97	10,03	**2,00**	97,72	2,28
0,58	71,90	28,10	**1,30**	90,32	9,68	**2,10**	98,21	1,79
0,60	72,57	27,43	**1,32**	90,66	9,34	**2,20**	98,61	1,39
0,62	73,24	26,76	**1,34**	90,99	9,01	**2,30**	98,93	1,07
0,64	73,89	26,11	**1,36**	91,31	8,69	**2,40**	99,18	0,82
0,66	74,54	25,46	**1,38**	91,62	8,38	**2,50**	99,38	0,62
0,68	75,17	25,83	**1,40**	91,92	8,08	**2,60**	99,53	0,57
0,70	75,80	25,20	**1,42**	92,22	7,78	**2,70**	99,65	0,35

Продолжение приложения 1.

Таблица №6

Соотношение размеров в долях внутреннего диаметра циклонов.

Наименование	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11
Диаметр выхлопной трубы, D1	0,59	0,59	0,59	0,59
Диаметр пылевыпускного отверстия, D2	0,3-0,4			
Ширина входного патрубка, b	0,2	0,2	0,2	0,2
Длина входного патрубка, l	0,6	0,6	0,6	0,6
Высота выхлопной трубы, h4	1,74	1,5	2,11	1,56
Высота цилиндрической части, h2	2,26	1,51	2,11	2,06
Высота конической части, h3	2,0	1,5	1,75	2
Высота внешней части выхлопной трубы, h1	0,3	0,3	0,4	0,3
Общая высота циклона, h	4,56	3,31	4,26	4,38

Приложение 2.

Таблица №1

Значения B и n для некоторых видов дисперсных загрязнителей

Наименование загрязнителя	B	n
Аэрозоль из известковых печей	$5,53*1\ 0^{-5}$	1,2295
- сульфата меди	$2.14*10^{-4}$	1,068
- свинца и цинка из шахтных печей	$6,74*10^{-3}$	0,478
- фосфорной кислоты	$1,34*10^{-2}$	0,631
Зола-унос, пылевидное сжигание углей	$4,34*10^{-3}$	0,3
Пыль вагранoчная	$1,36*10^{-2}$	0,621
- доменная	$1.925*10^{-1}$	0,326
- колошниковая	$6,61*10^{-3}$	0,891
- конвертеров при продувке кислородом	$9,88*10^{-2}$	0,466
- - томасовских	$2,68*10^{-1}$	0,259
- печей известковых	$6,5*10^{-4}$	1,053
- - карбидных (в дымовых газах)	$0,82*10^{-3}$	0,914
- - мартеновских на дутье воздушном	$1,74*10^{-6}$	1,594
- - -на дутье обогащенном кислородом	$1,565*10^{-6}$	1,619
- - плавильных (для латуни) с оксидами цин-	$2,34\text{-}*10^{-2}$	0,532
- - - закрытых (для феррохрома)	$6,49\ 10^{-5}$	1,1
- - - - электрических (для ферросилиция)	$2,42*10^{-5}$	1,26
то же, ферросплавных (для силикомарганца)	$6,9*10^{-3}$	0,67
- - производства калийных удобрений	$9,05*10^{-11}$	2,92
- - -целлюлозы	$4*10^{-4}$	1,05
- производства каолина	$2,34\ *10^{-4}$	1,15
- - мыла (дурнопахнущие вещества)	$1,09*10^{-5}$	1,415
- - черного щелока, обработка сухих газов	$9,3*10^{-4}$	0,861
то же, предварительно увлажненных газов	$1,32*10^{-3}$	0,861
- - фосфорных удобрений (после циклона)	$1,2*10^{-1}$	0,454
-тальковая	$2,06*10^{-1}$	0,351
Сажа процесса электрокрекинга метана	10^{-5}	1,36
Соли натрия в дымовых газах печей термо-обработки сточных вод	$0,21*10^{-5}$	1,515

Приложение 3

Таблица №1

Характеристика элементов насадок

Тип насадки	Размер элемента, мм	A	B
Хордовая	Все размеры	0	1,75
Кольца Рашига внавал	-	-0,073	1,75
Кольца Палля	-	-0,49	1,04
Седла	25	-0,33	1,04
	30	-0,58	1,04

Таблица №2

Тип насадки	Размер, мм	c	Тип насадки	Размер, мм	c
Кольца Рашига регулярная укладка	50	173	Кольца Палля	50	126
	80	144	Седла "Инталокс"	25	33
	100	119		50	28
То же, внавал	25	184	Седла Берля	25	30
	50	169			

Учебное издание

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Методические указания по выполнению курсовой работы

Составитель
ЗАГОРСКАЯ Алла Александровна

Ответственный редактор
О.В. Ударцева, д. т. н., профессор

В авторской редакции

Подписано в печать _____Формат 60х90 1/16. Печ. л. 2.
Тираж 30 экз. Заказ № _____

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.