

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

18.03.02 «Энерго-, ресурсосберегающие процессы в химической технологии,

нефтехимии и биотехнологии»
(код и наименование направления подготовки)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: **Совершенствование технологии термохимического
обезвреживания дымовых газов при производстве фосфорных удобрений**

Студент (ка)

А. И. Мокшин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

З. А. Шамугия

(И.О.Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите
Заведующий кафедрой
«Рациональное
природопользование
и ресурсосбережение»

к.п.н., доцент М.В. Кравцова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2016г.

Тольятти 2016

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Гольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «РПиР»
_____ М.В. Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

Студент: Мокшин Андрей Иванович

1. Тема: «Совершенствование технологии термохимического обезвреживания дымовых газов при производстве фосфорных удобрений»
2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 20.05.2016
3. Исходные данные к бакалаврской работе: материалы заводской документации, технологии производства предприятия, справочные и учебные пособия по тематике, эл. ресурс.
4. Содержание бакалаврской работы:
 - анализ существующей системы очистки выбросов;
 - описание модернизированной технологической схемы;
 - расчет оборудования системы очистки выбросов;
 - экономическая оценка применяемых технологических решений.
5. Дата выдачи задания «04» марта 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы _____

(подпись)

З.А. Шамугия

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

А.И. Мокшин

(И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующая кафедрой «РПиР»
_____ М.В.Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20__ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
бакалаврской работы

Студента: Мокшина Андрея Ивановича
по теме: «Совершенствование технологии термохимического обезвреживания
дымовых газов при производстве фосфорных удобрений»

| Наименование раздела работы | Плановый срок выполнения раздела | Фактический срок выполнения раздела | Отметка о выполнении | Подпись руководителя |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Введение | 10.03.2016 | | | |
| Анализ существующей системы очистки выбросов | 05.04.2016 | | | |
| Описание модернизированной технологической схемы | 25.04.2016 | | | |
| Расчет оборудования системы очистки выбросов | 03.05.2016 | | | |
| Заключение | 15.05.2016 | | | |

Руководитель бакалаврской работы _____

(подпись)

З.А. Шамугия

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

А.И. Мокшин

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Мокшин А.И.

Тема работы: «Совершенствование технологии термохимического обезвреживания дымовых газов при производстве фосфорных удобрений»

Научный руководитель: Шамугия З.А.

Цель бакалаврской работы: повышение качества очистки выбросов от сушильных барабанов при производстве фосфорных удобрений на предприятие «АгроХим Транс» в городе Екатеринбург и разработка способа очистки промышленных выбросов с применением эколого-экономически эффективных технологических решений для достижения качества очистки выбросов, до нормируемых показателей загрязняющих веществ в атмосферу.

Краткие выводы по бакалаврской работе: в работе был проанализирован состав вентиляционных выбросов ООО «АгроХим Транс» и разработано технологическое решение по совершенствованию системы очистки газо-пылевых выбросов на предприятии ООО «АгроХим Транс».

Бакалаврская работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования. В первой главе приведено описание технологического процесса, характеристики примесей в составе выбросов и их влияние на организм человека, определена требуемая степень очистки выбросов, проведен литературный обзор применяемых в данной области химической промышленности схем очистки выбросов, определение ориентировочным методом степени очистки наиболее энергоэффективных схем и выбор расчетной. Во второй главе рассмотрен принцип работы технологической схемы первой и второй ступеней очистки, подготовка газа к очистке. В третьей главе представлен конструктивный расчет аппаратов очистки и высоты выброса, дана экономическая оценка применяемых технологических решений.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 3-х разделов, заключения, списка литературы из 62 источников. Общий объем работы, без приложений 48 страниц машинописного текста, в том числе таблиц - 5, рисунков – 12.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 8 |
| ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ | 9 |
| 1.1 Задание на модернизацию | 9 |
| 1.2 Краткое описание технологического процесса..... | 9 |
| 1.3 Характеристика примесей | 11 |
| 1.4 Требуемая степень очистки выбросов | 13 |
| 1.5 Выбор и обоснование системы очистки | 15 |
| ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ..... | 23 |
| 2.1 Первая ступень очистки..... | 23 |
| 2.2 Вторая ступень очистки..... | 24 |
| 2.3 Подготовка газа к очистке..... | 25 |
| 2.3.1 Охлаждение газа..... | 25 |
| 2.3.2 Пересчет параметров газопылевого потока после охлаждения | 29 |
| ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ. | 30 |
| 3.1 Расчет первой ступени очистки | 30 |
| 3.2 Расчет второй ступени | 33 |
| 3.3 Расчет высоты выброса..... | 39 |
| 3.4 Экономическая оценка применяемых технологических решений | 40 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 42 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 43 |

ВВЕДЕНИЕ

С бурным развитием химической промышленности все большее внимание начинает уделяться очистке выбросов и безопасной утилизации отходов, которые могут нанести серьезный вред в первую очередь здоровью работников производства, экономической обстановке (заражение почвы, загрязнение воздуха, воды и т.д.), но и повлиять на здоровье жителей населенных мест, находящихся в непосредственной близости к производству.

Все эти опасности характерны для рассматриваемого в данной бакалаврской работе производства химической промышленности – ООО «АгроХим Транс», расположенный в городе Екатеринбург. Это предприятие является одним из крупнейших российских поставщиков минеральных удобрений (азотные минеральные удобрения: аммиачная селитра, карбамид, удобрение азотно-известковое, сульфат аммония; фосфорные удобрения: аммофос, диаммоний-фосфат, фосфоритная мука, суперфосфат простой; комплексные минеральные удобрения: азотно-фосфорно-калийное удобрение, нитроаммофоска, нитрофоска, азофоска, диаммофоса, сульфоаммофос; калийные минеральные удобрения: удобрение типа «калимаг», калий хлористый, калий хлористый мелкий).

Очистка выбросов предприятий химической промышленности - неотъемлемая задача по обеспечению здоровья работников и сохранения окружающей среды.

Целью данной бакалаврской работы является повышение качества очистки выбросов от сушильных барабанов при производстве фосфорных удобрений предприятия «АгроХим Транс» в городе Екатеринбург и разработка способа очистки промышленных выбросов с применением эколого-экономически эффективных технологических решений для достижения качества очистки выбросов, до нормируемых показателей загрязняющих веществ в атмосферу.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ

1.1 Задание на модернизацию

Для модернизации задано предприятие химической промышленности - «АгроХим Транс» в городе Екатеринбург Свердловской области. Выбросы предприятие производит от сушильных барабанов для сушки кварцита при производстве фосфорных удобрений с химическим составом: пыль, HF, SiF₄. Расход $L_2^{p,y} = 72000 \text{ м}^3 / \text{ч}$, температура $t_2^{p,y} = 260 \text{ °C}$, концентрация $C_2^{p,y} = 24,6 \text{ г} / \text{м}^3$ и дисперсный состав (см. таблица 2) принимаются в соответствии с предоставленными данными от источника выбросов.

Пыль относится к IV группе (см. приложение 1).

1.2 Краткое описание технологического процесса

Сушильные барабаны применяют для сушки кварцита и кокса (при полной технологической схеме подготовки сырья). Основным видом топлива в сушильных барабанах является природный газ. Температура газа в топке – 1470-1670 К. Принципиальная схема подготовки сырья по полной схеме изображена на рис. 1.

На этом заводе процесс термической подготовки кускового фосфорита сочетается с окомкованием и обжигом мелочи на обжиговых ленточных машинах. Основными узлами схемы являются установки для размола и грануляции мелочи фосфорита, обжиговые машины с решетками Ле-поля, оборудование для дозирования компонентов шихты и установки приготовления связующего агента. Поступающий на завод фосфорит содержит до 15% мелочи менее 10 мм. Кроме того, он измельчается в процессе транспортировки и содержит после прокали в обжиговой машине до 20% фракции менее 8 мм. Сырая мелочь и возврат в определенном соотношении дозируются в мельницу Леше или Петерса и измельчаются таким образом, что количество фракции менее 0,1 мм со-

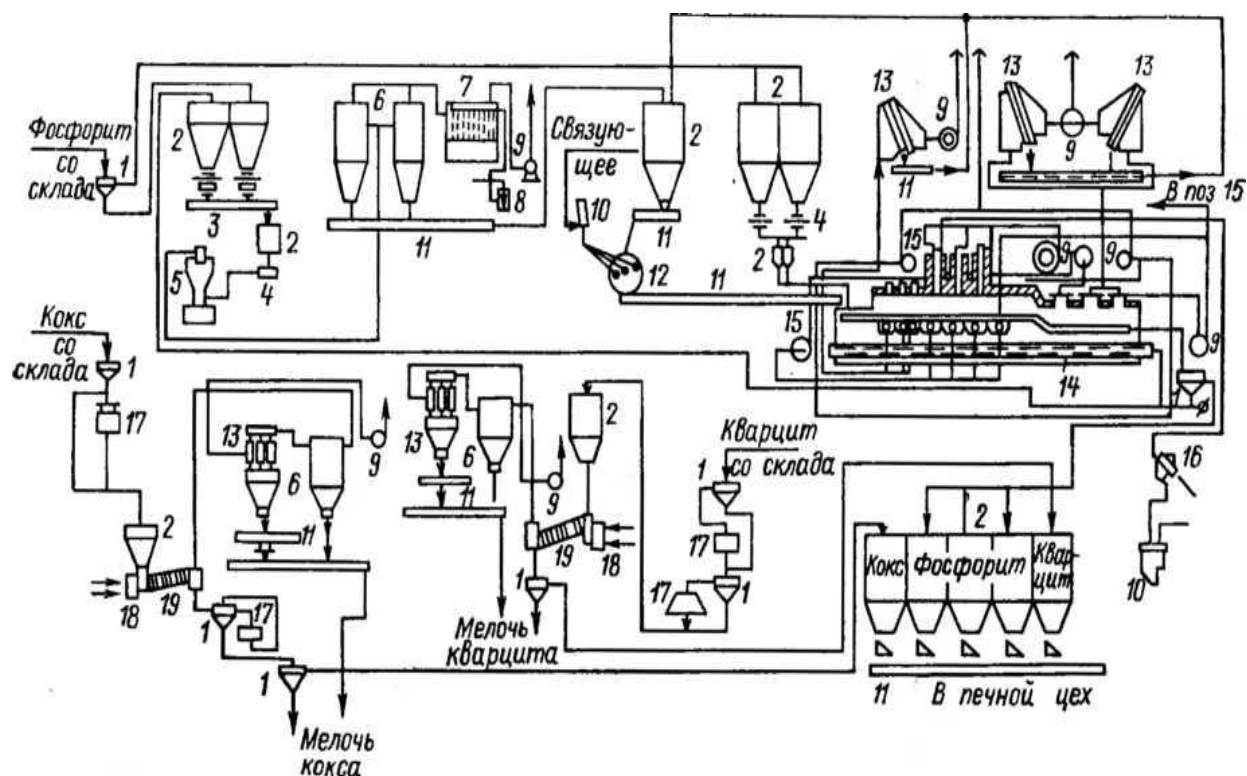
ставляет 80—85%. Пыль из мельницы транспортируется воздухом в циклоны, где отделяется более 90% материала. Затем воздух проходит через рукавный фильтр и в последствие, затем выбрасывается в атмосферу. Уловленная пыль собирается в бункере и дозируется на грануляционную установку совместно со связующим. Грануляцию производят на тарельчатом грануляторе. В качестве связующего используют «коттрельное молоко» — суспензию, образовавшуюся при гидроудалении уловленной пыли из электрофильтров фосфорных печей, «глиняное молоко» либо смесь этих суспензий. Кроме того, для улучшения окомкования пыли в связующее добавляют 0,5—1,0% триполифосфата натрия.

Полученные гранулы загружают в обжиговую машину слоем 200—250 мм на слой из фосфоритных кусков толщиной около 200 мм. Сушка и обжиг фосфорита и гранул происходят за счет теплоты топочных газов, образуемых при сжигании природного газа и протягиваемых газодувкой через слой материала.

Процесс обжига состоит из следующих основных стадий:

- А) Сушка сырого материала (5%-ной влажности) и сырых гранул (12—13,5%-ной влажности). Температура над решеткой Леполя достигает 670 К, под решеткой — 390 К, перепад давления на решетке — 100—200 Па. Одновременно с удалением влаги происходит и частичное упрочнение гранул;
- Б) Обжиг подсушенного материала при температуре над решеткой 1250—1370 К, под решеткой — 670 К. Обжиг сопровождается разложением карбонатов. Степень декарбонизации гранул достигает 80—90%. Одновременно происходит значительное упрочнение гранул;
- В) Дозревание материала в зоне выравнивания температуры до 1200—1250 К;
- Г) Охлаждение обожженного материала на охлаждающей решетке до 350 К.

При применении полной схемы подготовки фосфорита в технологическом процессе отсутствует стадия офлюсования шихты, хорошо зарекомендовавшая себя в металлургии. Технология получения офлюсованных продуктов окускования фосфорных руд предложена и разработана институтом «Уралмеханобр».



1 – грохоты; 2 – бункеры; 3 – шнек; 4 – питатель; 5 – мельница; 6 – циклоны; 7 – фильтр; 8 – калорифер; 9 – вентиляторы; 10 – баки; 11 – конвейеры; 12 - гранулятор; 13 – мультициклоны; 14 – обжиговая машина; 15 – дымососы; 16 – шибер Гако; 17 – дробилки; 18 – топка; 19 – сушильные барабаны.

Рисунок 1 - Принципиальная схема подготовки сырья по полной схеме

1.3 Характеристика примесей

В химической промышленности фторосодержащая пыль [38], [41] играет роль в значительной части имевших место или потенциальных случаях отравления. Отравления на производстве в большей степени связаны с газообразными фторидами, но и в этих случаях нельзя полностью исключить проникновение их через желудочно-кишечный тракт из-за загрязнения потребляемых на рабочем месте напитков и продуктов питания или откашливания и глотания попавших в легкие соединений. При воздействии смеси газообразных фторидов и микрочастиц существенными факторами в абсорбции фторидов могут быть как ингаляция, так и глотание.

Фтороводород HF — бесцветный газ (при нормальных условиях) с резким запахом.

У работающих в суперфосфатном производстве при контакте с фтороводородом и другими соединениями фтора (а также суперфосфатной пылью) отмечены стойкие изменения со стороны органов пищеварения (желтовато-коричневая пигментация, зазубренность и стертость зубов, воспаление десен, дефекты эмали, гастриты) и дыхательных путей (атрофические риниты, прободение носовой перегородки, воспаления гортани и глотки, рецидивирующие бронхиты, бронхиальная астма, хроническая пневмония). У рабочих цехов фтороводорода возрастает кислотность слюны (Бутенко). Позднее - пневмосклерозы I и II стадии; функциональные сдвиги со стороны вегетативной нервной системы, понижение содержания гемоглобина и числа эритроцитов, лейкопения (Майман). У рабочих со стажем 5-16 лет, имеющих непосредственный контакт с фтороводородом, пылью криолита и глинозема, обнаружены фибротические изменения в легких (Гирская). У 13 из 15 лиц со стажем свыше 10 лет и у 10 из 20 со стажем меньше 10 лет, работавших в условиях воздействия высоких концентраций фтороводорода и фтороводородной кислоты, на рентгенограммах обнаружены признаки остеосклероза в челюстных костях. Выделение фтора с мочой в среднем 10 мг/л. Остеосклероз проявлялся раньше в челюстных костях, чем в других. В производственных условиях при 0,002-0,003 мг/л болезненных явлений не наблюдалось (Резник, Теиненбаум). Клинические и рентгенологические наблюдения Machle и Evans в течение 5 лет над работающими в атмосфере, содержащей 0,011- 0,021 мг/л фтороводорода (а также немного пыли CaF_2), никаких изменений не обнаружили. При концентрациях фтороводорода 0,0003-0,029 мг/л в плавильной ферромолибденового цеха в состоянии работающих отмечен ряд вегетативных сдвигов в крови и со стороны сердечно-сосудистой системы. При концентрациях близких к 0,0005 мг/л у рабочих обнаружены функциональные изменения центральной нервной системы и поражения зубов.

Фтористый кремний SiF_4 –это неустойчивое газовое соединение фтора, вредные воздействия которого на организм человека схожи с воздействиями фтороводорода.

Таблица 1 – ПДК химических веществ

| Вещество | ПДК _{р.з} | ПДК _{н.м} | | Класс опасности |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| | | ПДК _{с.с} | ПДК _{м.р} | |
| HF | 0,5 | 0,005 | 0,02 | 2 |
| SiF ₄ | 0,5 | 0,005 | 0,02 | 2 |
| пыль | 2 | 0,4 | 0,05 | 3 |

1.4 Требуемая степень очистки выбросов

Требуемая степень очистки E , % уходящих газов от пыли рассчитывается по следующей формуле [16]:

$$E = \frac{C_H^{н.у.} - C_D}{C_H^{н.у.}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $C_H^{н.у.}$ - начальная концентрация пыли в выбросе при нормальных условиях, мг/м³;

C_D – допустимая концентрация пыли в воздухе, мг/м³.

Расход газов при нормальных условиях рассчитывается по следующей формуле:

$$L_2^{н.у.} = L_U^{р.у.} \cdot \frac{273}{273 + t_2} , \quad м^3 / ч , \quad (2)$$

где $L_2^{р.у.}$ - расход газа при рабочих условиях, м³/ч,

t_2 – температура газа, °С.

Начальная концентрация пыли в выбросе при нормальных условиях, мг/м³, определяется по формуле:

$$C_2^{н.у.} = \frac{L_2^{р.у.} \cdot C_2^{р.у.}}{L_2^{н.у.}} , \quad г / м^3 , \quad (3)$$

Так как $L_2^{н.у.}$, м³/ч > 15 тыс. м³/ч, то C_D , мг/м³, рассчитывается по следующей формуле:

$$C_d = 100 \cdot k, \text{ мг} / \text{м}^3, \quad (4)$$

где k - коэффициент, зависящий от ПДК. ПДК_{р.з.} = 2 мг/м³, то $k = 0,3$.

Подставив соответствующие значения в формулы, получим:

$$L_2^{н.у.} = 72000 \frac{273}{273 + 260} = 36878 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

$$C_2^{н.у.} = \frac{72000 \cdot 24,6}{36878} = 48,03 \text{ г} / \text{м}^3.$$

$$C_d = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ мг} / \text{м}^3.$$

$$E = \frac{48,03 - 0,03}{48,03} \cdot 100\% = 99,94\%$$

Вывод: необходимо запроектировать систему очистки с эффективностью 99,94 %.

Таблица 2 - Дисперсный состав пыли

| | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|------|------|
| d, мкм | 1,0 | 4,0 | 6,3 | 10,0 | 20,0 | 35,0 |
| D, % | 15 | 26 | 41 | 53 | 65 | 82 |
| R, % | 85 | 74 | 59 | 47 | 35 | 18 |
| Φ, % | 15 | 11 | 15 | 12 | 12 | 17 |

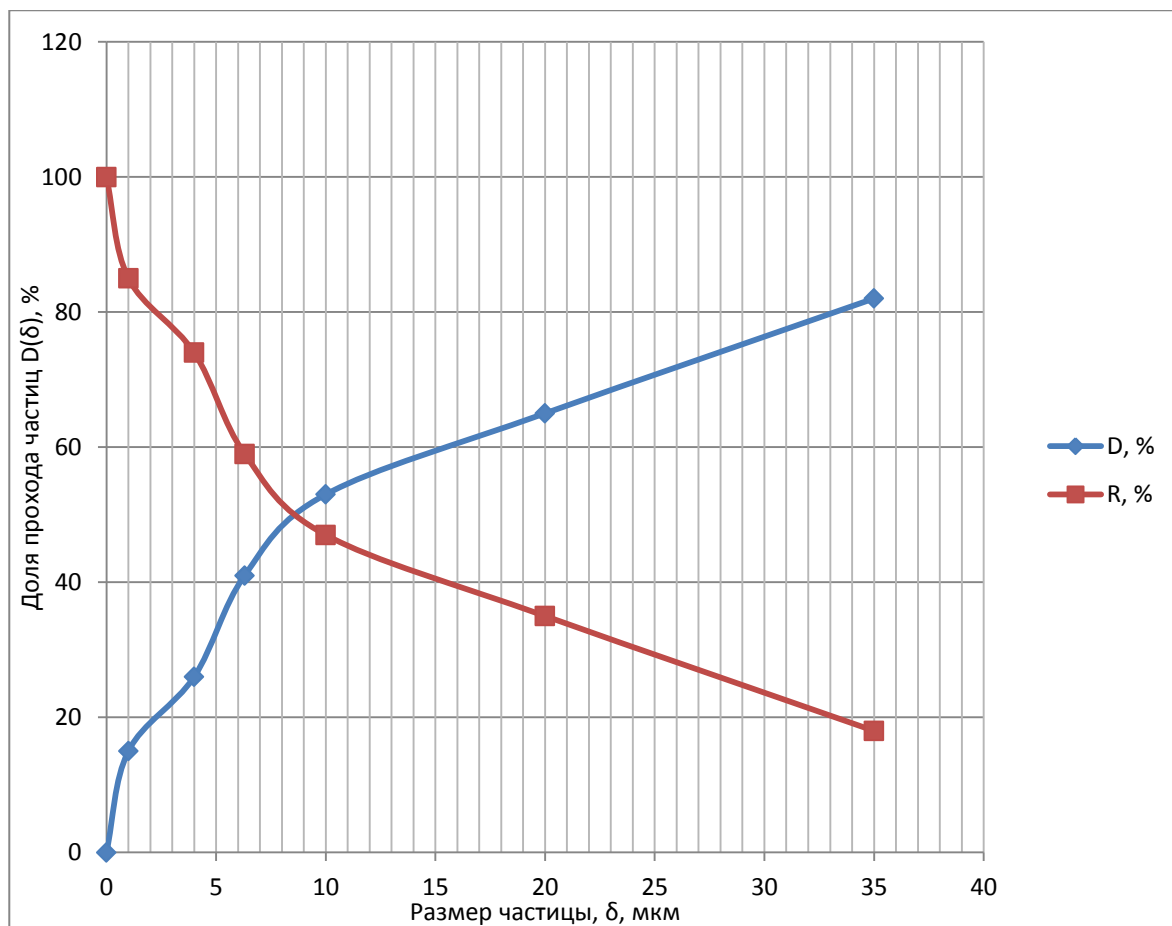
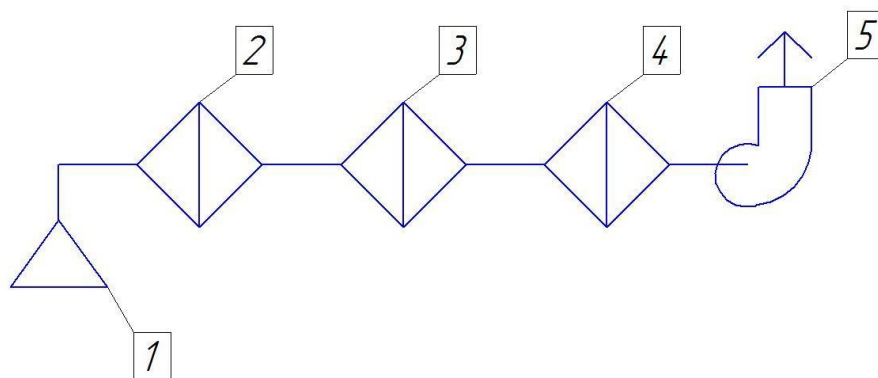


Рисунок 2 – Интегральный график

$$d_m = 8,6 \text{ мкм}, d_{84,1} = 34,3 \text{ мкм}.$$

1.5 Выбор и обоснование системы очистки

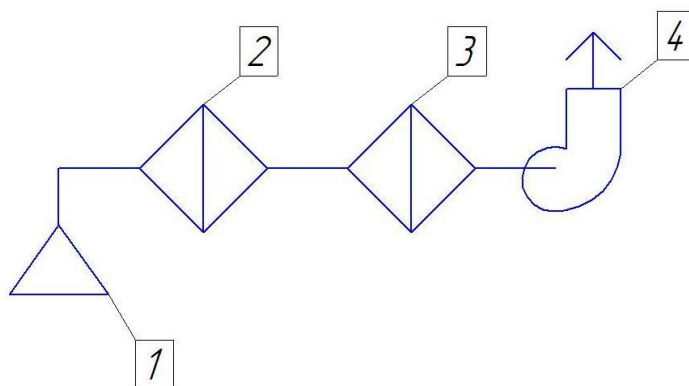
На основании исходных данных был произведен литературный обзор схем очистки выбросов предприятий химической промышленности [2], [3], [4], [5],[6], [7]. В научно-технической литературе приведены схемы очистки сухим и мокрым способом, в основном используются циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры и скрубберы.



1 – сушильный барабан, 2 - группа циклонов, 3 – рукавный фильтр,
4 – скруббер, 5 – вентилятор

Рисунок 3 – Схема очистки № 1

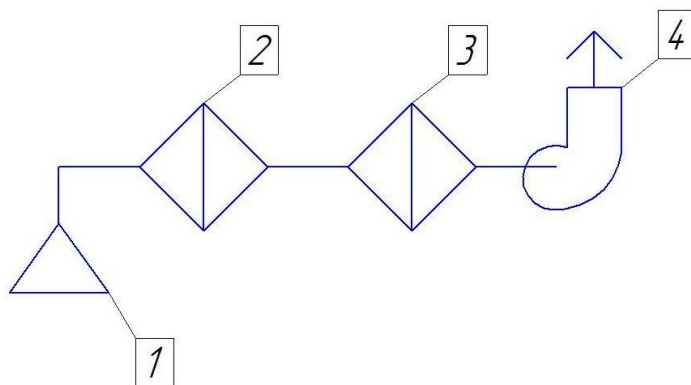
Первая схема очистки представлена группой циклонов, блоком рукавных фильтров, скруббером. Эта схема из 3 ступеней очистки экономически не выгодна.



1 – сушильный барабан, 2 - цилиндрический циклон, 3 – рукавный фильтр,
4 – вентилятор

Рисунок 4 – Схема очистки № 2

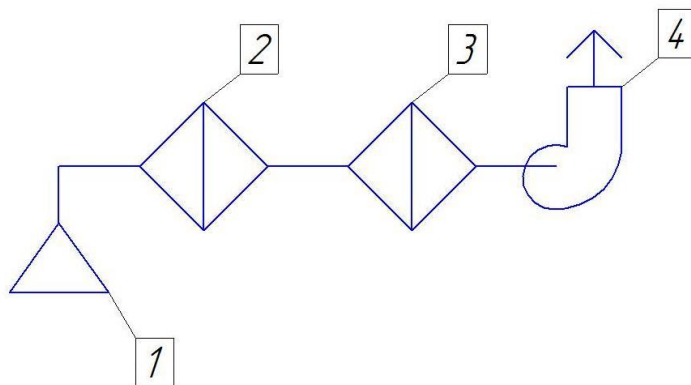
Вторая схема представлена цилиндрическим циклоном и рукавным фильтром. Эта схема обладает рядом преимуществ, таких как: надежная работа, низкое гидравлическое сопротивление, легкость и простота в установке, улавливание мелких фракций, работа при высоких температурах. Поэтому данную схему рассмотрим более подробно.[14]



1 – сушильный барабан, 2 - цилиндрический циклон, 3 – вихревой циклон,
4 – вентилятор

Рисунок 5 – Схема очистки № 3

Третья схема представлена цилиндрическим циклоном и вихревым циклоном. Цилиндрический циклон позволяет очистить газопылевой поток от наиболее крупных фракций. Вихревой циклон отличается высокой эффективностью очистки от тонких фракций, большой пропускной способностью, возможностью регулирования. Рассмотрим данную установку более подробно.[4]

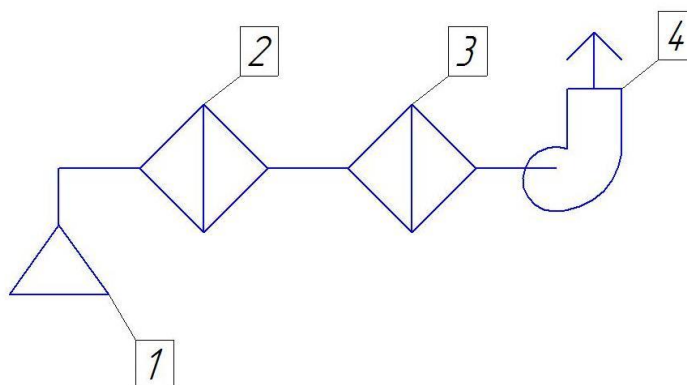


1 – сушильный барабан, 2 - цилиндрический циклон, 3 – электрофильтр,
4 – вентилятор

Рисунок 6 – Схема очистки № 4

Четвертая схема очистки представлена циклоном цилиндрического типа и электрофильтром. Достоинства этой системы: циклон надежен и прост в эксплуатации, у электрофильтра широкий диапазон по концентрации, улавливание мелкодисперсных частиц, широкая область применения. Но существует не-

сколько недостатков – это зависимость от режима эксплуатации, стоимость электрофильтра и его обслуживание, небольшая долговечность . [2]



1 – сушильный барабан, 2 - полый скруббер, 3 – скруббер Вентури,
4 - вентилятор

Рисунок 7 – Схема очистки № 5

Пятая схема очистки представлена полым скруббером как пылеуловитель и скруббером Вентури. Достоинства этой системы: позволяет добиться высоких результатов в очистке промышленных выбросов, меньшие габариты установки по сравнению с сухими пылеуловителями, невысокая стоимость. Недостатки этой системы: достаточной большой расход жидкости на орошение, необходимость обратного водоснабжения.

Рассмотрим схемы №2, №3, №5 более подробно.

Вторая схема представлена цилиндрическим циклоном и рукавным фильтром. Для улавливания крупнодисперсной пыли на первую ступень ставим циклон ЦН-24 с $d_{50}=8,50$ мкм.

Минимальный размер частиц, полностью улавливаемых в аппарате определяется по формуле:

$$d_{\min} = 1,5 \cdot d_{50}, \text{ мкм}, \quad (5)$$

где d_{50} – размер частиц, улавливаемых в данном аппарате с эффективностью 50%, мкм, [1, табл. 4].

$$d_{\min} = 1,5 \cdot 8,5 = 12,75 \text{ мкм} .$$

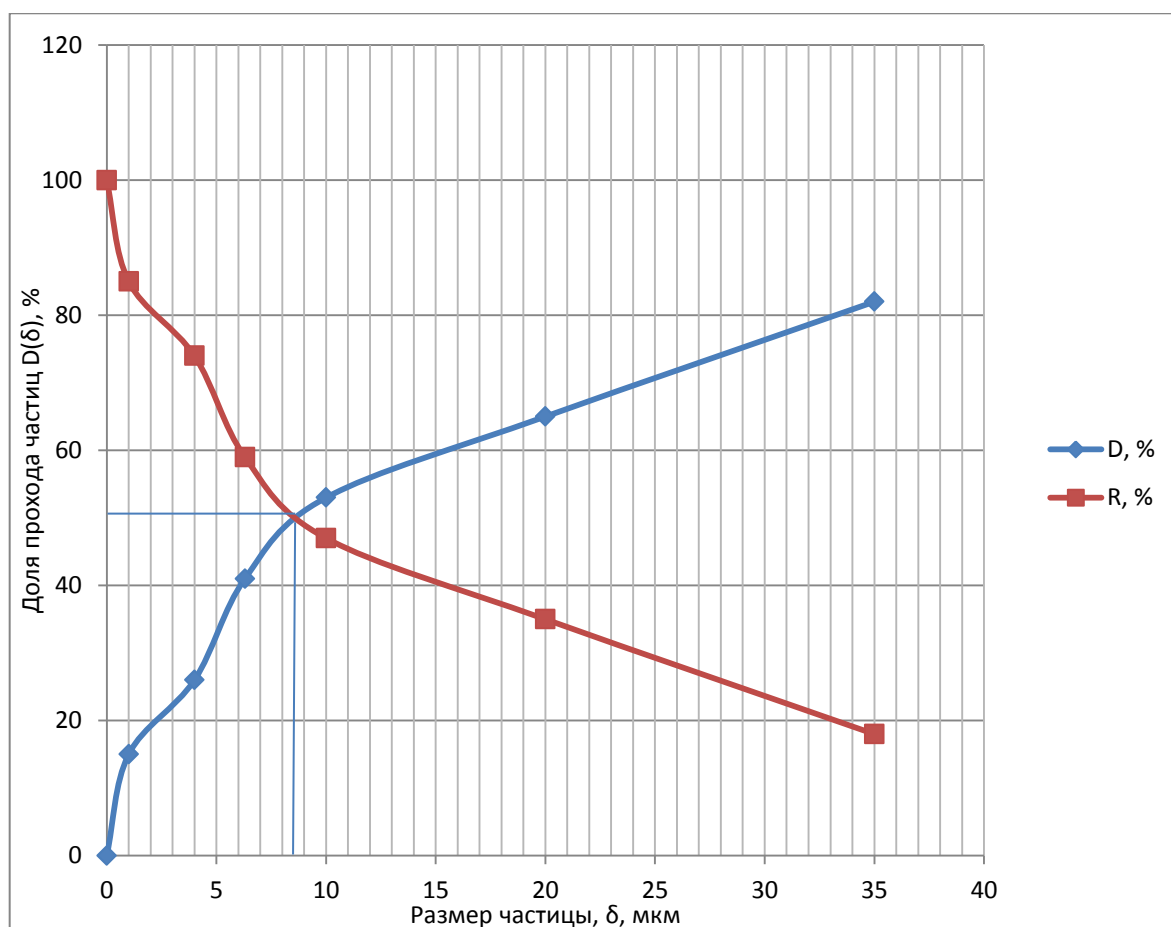


Рисунок 8 – Интегральный график для определения эффективности циклона ЦН-24

$$\eta = 43\% .$$

Определяется гидравлическое сопротивление циклона по формуле:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{opt}^2}{2}, \text{ Па}, \quad (6)$$

где ω_{opt} - оптимальная скорость газа в аппарате, м/с, [1, табл.4], равная 4,5;

ρ_2 - плотность воздуха, кг/м³, определяется по формуле:

$$\rho_2 = \frac{353}{t_2 + 273}, \text{ кг/м}^3. \quad (7)$$

ξ - коэффициент гидравлического сопротивления циклона, который определяется по формуле:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{4500}^c + K_3, \quad (8)$$

где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр [1, табл.7];

K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газов [1, табл.8];

K_3 - поправочный коэффициент на компоновку [1, табл.9];

ξ_{4500}^c - коэффициент гидравлического сопротивления [1, табл.6].

Расчет:

$$\rho_2 = \frac{353}{260 + 273} = 0,662 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$\xi = 1 \cdot 0,9 \cdot 75 + 0 = 67,5;$$

$$\Delta P = 67,5 \cdot \frac{0,662 \cdot 4,5^2}{2} = 452,44 \text{ Па} < 1500 \text{ Па}.$$

Остаточная концентрация после 1 степени очистки определяется по формуле:

$$C_{ост} = C_2^{н.у.} \cdot (1 - \eta_1), \text{ г} / \text{м}^3. \quad (9)$$

$$C_{ост} = 48,03 \cdot (1 - 0,43) = 27,38 \text{ г} / \text{м}^3.$$

Остаточная концентрация после первой степени больше предельно допустимой для использования рукавных фильтров, а значит, их применение невозможно.

Третья схема представлена цилиндрическим циклоном и вихревым циклоном. Для улавливания крупнодисперсной пыли на первую ступень ставим циклон ЦН-24 с $d_{50} = 8,50$ мкм. Аналогично схеме № 2 получили предварительную оценку эффективности $\eta = 43\%$.

Эффективность вихревого циклона можно определить по минимальному размеру частиц, которые улавливаются в аппарате:

$$d_{\min} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{L_2^{\text{н.у.}} \cdot \mu_2}{3600 \cdot H \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot w_t}}, \text{ м}, \quad (10)$$

где μ_2 – динамическая вязкость газа, Па·с;

H – зона сепарации, м;

w_t – окружная скорость, м/с.

Динамическая вязкость определяется по формуле:

$$\mu_2 = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{3/2}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (11)$$

где μ_0 – динамическая вязкость при нормальных условиях, $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

C – константа Сезерленда, $C = 124$.

Зона сепарации определяется по формуле:

$$H = 1,5 \cdot d_{\text{ан}}, \text{ м}, \quad (12)$$

где $d_{\text{ан}}$ – диаметр аппарата, м, который определяется по формуле:

$$d_{\text{ан}} = \sqrt{\frac{L_2^{\text{н.у.}}}{3600 \cdot 0,785 \cdot w_{\text{онм}}}}, \text{ м}, \quad (13)$$

где $w_{\text{онм}}$ – оптимальная скорость в аппарате, м/с, $w_{\text{онм}} = 12$ м/с.

Окружная скорость определяется по формуле:

$$w_t = \frac{2 \cdot w_{\text{онм}}}{d_{\text{ан}}}, \text{ м/с}. \quad (14)$$

Расчет:

$$\mu_2^{\text{сп}} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{260 + 273 + 124} \cdot \left(\frac{260 + 273}{273}\right)^{3/2} = 28,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

$$d_{\text{ан}} = \sqrt{\frac{36878}{3600 \cdot 0,785 \cdot 12}} = 1,0 \text{ м}.$$

$$H = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ м}.$$

$$w_t = \frac{2 \cdot 12}{1,0} = 24 \text{ м/с}.$$

$$d_{\min} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{36878 \cdot 28,5 \cdot 10^{-6}}{3600 \cdot 1,5 \cdot (2420 - 0,662) \cdot 24}} = 69 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 69 \text{ мкм}$$

Таких частиц нет в составе данной пыли, поэтому данная схема очистки не подходит.

Пятая схема представлена полым скруббером как пылеуловителем и скруббером Вентури. Для улавливания крупнодисперсной пыли на первую ступень ставим полый скруббер как пылеуловитель.

Принимая, что в полном скруббере улавливается 80% частиц крупнее 10 мкм, получаем что:

$$\eta_I = 0,8 \cdot 41 = 32,8\%$$

Определим степень очистки η_{II} после второй ступени – скруббера Вентури по формуле:

$$E = 1 - (1 - \eta_I) \cdot (1 - \eta_{II}) \quad (15)$$

$$0,9994 = 1 - (1 - 0,328) \cdot (1 - \eta_{II})$$

$$0,9994 = 1 - 0,672 \cdot (1 - \eta_{II})$$

$$0,9994 = 1 - 0,672 + 0,672 \cdot \eta_{II}$$

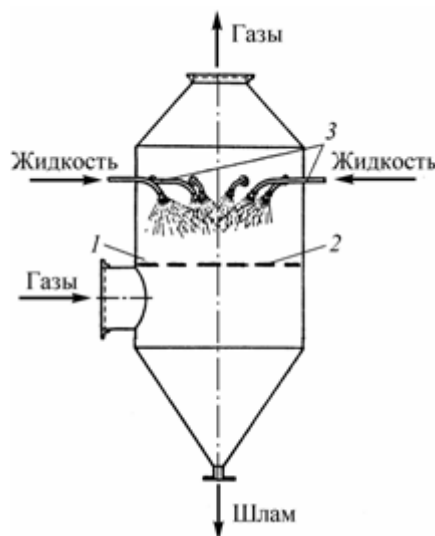
$$\eta_{II} = 99,91\%$$

Полученная степень очистки по данной схеме приблизительно равна требуемой степени очистки, следовательно, для проектирования выбираем именно ее.

ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

2.1 Первая ступень очистки

В качестве первой ступени очистки высокотемпературных газов в газоочистной установке ОГВ выбран полый противоточный форсуночный скруббер - конструктивно простой и надежный в эксплуатации аппарат для пылеулавливания представляющий собой колонну круглого сечения, внутри которой расположены центробежные форсунки (рис. 9). Очищаемый газовый поток вводится через входной патрубок в нижнюю часть аппарата и орошается циркулирующим раствором (водой), разбрызгиваемым форсунками. Смоченные водой тяжелые частицы газового потока оседают в нижней части аппарата и в дальнейшем удаляются в виде шлама, а очищенные дымовые газы, двигаясь вертикально вверх, отводятся через выходной патрубок в скруббер Вентури [9], [60].

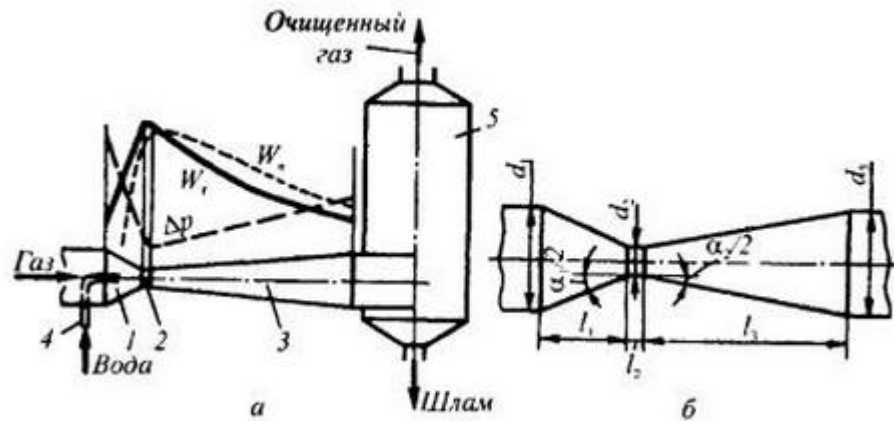


1 – корпус, 2 – газораспределительная решетка, 3 - форсунки

Рисунок 9 – Полый противоточный форсуночный скруббер. Разрез

2.2 Вторая ступень очистки

Скруббер Вентури (рис. 10) устанавливается в качестве второй ступени очистки в газопылеулавливающей установке термического обезвреживания твердых отходов [9], [60]. Аппарат комплектуется из трубы Вентури и отдельно стоящего каплеуловителя. В конфузоре трубы через форсунку подается орошающий раствор (вода), пылегазовый поток поступает во входной патрубок трубы Вентури. При прохождении газожидкостного потока через конфузор и горловину трубы скорость потока резко увеличивается за счет уменьшения сечения аппарата, газ турбулизуется, в результате чего происходит дробление капель жидкости и осаждение твердых частиц на каплях жидкости под действием сил инерции. В диффузоре трубы Вентури происходит снижение скоростей газового потока за счет увеличения сечения аппарата, турбулентность потока падает и происходит укрупнение капель жидкости. Далее газожидкостный поток поступает в каплеуловитель, где выпавшая из газового потока часть воды стекает в бункер каплеуловителя. Неуловленная часть загрязненных капель, проходя по каплеуловителю снизу вверх, приобретает вращательное движение, и под действием центробежных сил капли отбрасываются на стенку каплеуловителя, а затем стекают вниз под действием силы тяжести и выводятся из аппарата через гидрозатвор. Очищенный газ через патрубок в верхней части корпуса каплеуловителя выводится из скруббера Вентури в сеть воздухопроводов на дымосос.



а — общий вид; б — нормализованная труба Вентури.

1 — конфузор, 2 — горловина, 3 — диффузор, 4 — подача воды, 5 — каплеуловитель

Рисунок 10 - Скруббер Вентури

2.3 Подготовка газа к очистке

2.3.1 Охлаждение газа

Утилизация тепла достигается в поверхностном теплообменнике с охлаждающим агентом водой, которая подогревается с 8°С до 60°С на нужды горячего водоснабжения. Температура дымовых газов при этом снижается с 260°С до 80°С. Данная температура не выходит за пределы допустимых значений последующего пылеочистного оборудования.

Принимается движение теплоносителей в противотоке.

Расчет и подбор теплообменного аппарата производится в следующей последовательности [11]:

1. Определяется количество тепла, отдаваемое дымовыми газами Q_G , Вт, при охлаждении

$$Q_G = \frac{c_G \cdot G_G \cdot (t_G' - t_G'')}{3,6}, \quad (16)$$

где c_G - массовая теплоемкость газов, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$;

G_r - расход газа при рабочих условиях (при входе в теплообменник), кг/ч;


t_r' - температура газа при входе в теплообменник, °С;


t_r'' - температура газа на выходе из теплообменника, °С.

Массовый расход газа G_r , кг/ч, при температуре газа на входе в теплообменник находится по формуле:

$$G_r = L_2^{PV} \cdot \rho_2^{PV}, \quad (17)$$

где L_2^{PV} - расход газа при температуре $t_r' = 260^\circ\text{C}$, м³/ч;

 - плотность газа при $t_r' = 260^\circ\text{C}$, кг/м³.

Плотность газа  кг/м³, вычисляется по формуле (7).

2. Исходя из равенства тепла, отданного дымовыми газами через цилиндрическую поверхность теплообменника, и тепла, воспринятого охладителем, определяют площадь поверхности теплообменника.

Для этого необходимо записать формулу теплоотдачи через цилиндрическую поверхность:

$$Q = F \cdot k \cdot \Delta t, \quad (18)$$

где Q - количество тепла, переданное через стенку теплообменника, Вт;

F - площадь поверхности теплообменника, м²;

k - коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, (при аппарате воздух – вода $k = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$);

Δt - температурный напор, °С.

Температурный напор Δt , °С, определяется по формуле (19), расчет опирается на рис. 11.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (19)$$

где Δt_B и Δt_M - соответственно, наибольшая и наименьшая разности температур, °С.

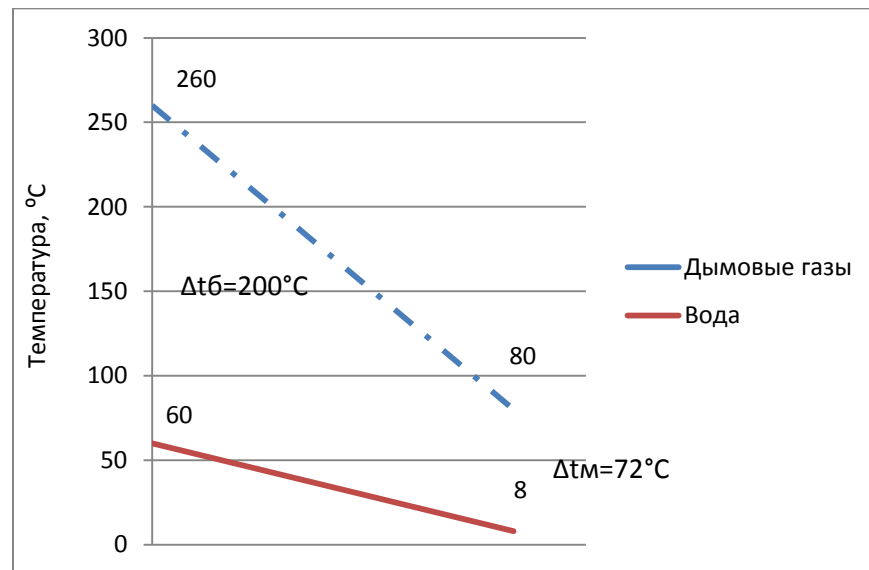


Рисунок 11 - Разности температур

После расчета температурного напора определяют требуемую площадь теплообменного аппарата $F_{треб}$, м², по формуле:

$$F_{треб} = \frac{Q_G}{k \cdot \Delta t} \quad (20)$$

3. Пользуясь справочными данными [6] подбирают теплообменник.

Подбор теплообменника

1. Расчет охлаждения газов в поверхностном теплообменнике

$$\rho_2^{PV} = \frac{353}{273 + t_G'} = \frac{353}{273 + 260} = 0,662 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$G_G = L_2^{PV} \cdot \rho_2^{PV} = (24000 \cdot 3) \cdot 0,662 = 47664 \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

$$Q_G = \frac{c_G \cdot G_G \cdot (t_G' - t_G'')}{3,6} = \frac{1,005 \cdot 47664 \cdot (260 - 80)}{3,6} = 2395116 \text{Вт},$$

где $c_G = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}};$

$$t'_Г = 260^\circ\text{C};$$

$$t''_Г = 80^\circ\text{C}.$$

2. Расчет площади поверхности теплообменника

$$\Delta t = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} = \frac{200 - 72}{\ln \frac{200}{72}} = 125,29^\circ\text{C},$$

где $\Delta t_B = 200^\circ\text{C}$ и $\Delta t_M = 72^\circ\text{C}$ (см. рис.9).

$$F_{\text{треб}} = \frac{Q_Г}{k \cdot \Delta t} = \frac{2395116}{60 \cdot 125,29} = 318,61 \text{ м}^2.$$

3. По справочными данными [11] подобран теплообменник ВП-300, характеристики которого приведены ниже:

- площадь поверхности нагрева 300 м^2 ;
- число ходов по дымовым газам 1 шт;
- число ходов по воде 1 шт;
- сечение для прохода дымовых газов $1,45 \text{ м}^2$;
- сечение для прохода воды $1,23 \text{ м}^2$;
- диаметр и толщина труб $40 \times 1,5 \text{ мм}$;
- число труб 1349 шт;
- длина труб 1400 мм;
- шаг труб $60 \times 84 \text{ мм}$;
- габаритные размеры
 - длина 2580 мм;
 - ширина 1260 мм;
 - высота 3140 мм;
- масса 4749 кг.

2.3.2 Пересчет параметров газопылевого потока после охлаждения

Так как температура газовой смеси снизилась, необходимо пересчитать расход газа при рабочих условиях L_2^{PY} , м³/ч и концентрацию пыли при рабочих условиях C_H^{PY} , г/м³. За новые рабочие условия принимается температура газовой смеси $t_2 = 80^\circ\text{C}$.

Расчет:

$$L_2^{PY} = L_2^{HY} \cdot \frac{273 + t_2}{273} = 36878,05 \cdot \frac{273 + 80}{273} = 47684,80 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L_2^{HY} = L_2^{PY} \cdot \frac{273}{273 + t_2} = 72000 \cdot \frac{273}{273 + 260} = 36878,05 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$M = L_2^{PY} \cdot C_{\text{пыли}} = 72000 \cdot 24,6 = 1771200 \text{ г}/\text{ч}$$

$$C_H^{PY} = \frac{M}{L_2^{PY}} = \frac{1771200}{47684,80} = 37,14 \text{ г}/\text{м}^3$$

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ

3.1 Расчет первой ступени очистки

1. Определяем диаметр аппарата [7], [9]:

$$D = \sqrt{\frac{L_2^{p.y.}}{3600 \cdot 0,785 \cdot \omega_2}}, \text{ м} \quad (21)$$

где ω_2 - скорость пылегазового потока, равная 3 м/с (т.к. вторая ступень очистки является мокрой).

2. Определяем расход жидкости аппаратом:

$$L_{жс} = m \cdot L_2^{p.y.}, \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (22)$$

где m – удельное орошение, л/м³, равное 0,5.

3. Определяем расход жидкости форсункой:

$$L_{жс}' = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{жс}}{\rho}} \cdot K_{расх}, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (23)$$

где d – диаметр форсунки, м, равный $14 \cdot 10^{-3}$;

$P_{жс}$ – давление жидкости, Па, равное $0,5 \cdot 10^5$;

ρ – плотность жидкости, кг/м³, равная 1000;

$K_{расх}$ – коэффициент расхода, равный 0,65.

4. Определяем количество форсунок:

$$n = \frac{L_{жс}}{L_{жс}'}, \text{ шт} \quad (24)$$

5. Определяем полное гидравлическое сопротивление аппарата:

$$\Delta P_{ант} = \Delta P_{пр} + \Delta P_{вх} + \Delta P_{вых} + \Delta P_{реш}, \text{ Па} \quad (25)$$

где $\Delta P_{пр}$ – потери давления на прямом участке, Па, определяемые по формуле:

$$\Delta P_{np} = 1,65 \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_2^2}{2}, \quad (26)$$

где $\frac{H}{D}$ - отношение расстояния от оси входного патрубка до оси выходного патрубка к диаметру, равное 3;

ω_2 - действительная скорость пылегазового потока в аппарате;

ρ_2 - плотность пылегазового потока на выходе из аппарата.

$\Delta P_{вх}$ - потери давления на входе в аппарат, Па, определяемые по формуле:

$$\Delta P_{вх} = \left(1 - \frac{d_{вх}^2}{D^2}\right) \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{вх}^2}{2}, \quad (27)$$

где $\omega_{вх}$ - скорость пылегазового потока на входе, м/с, равная 15;

$d_{вх}$ - диаметр входного патрубка, м., определяемый по формуле (21).

$\Delta P_{вых}$ - потери давления на выходе из аппарата, Па, определяемые по формуле:

$$\Delta P_{вых} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{d_{вых}^2}{D^2}\right) \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{вых}^2}{2}, \quad (28)$$

$\Delta P_{реш}$ - потери давления в решетке, Па, определяемые по формуле:

$$\Delta P_{реш} = \xi \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_2^2}{2}, \quad (29)$$

где ξ - коэффициент местного сопротивления решетки, равный 4,5;

ρ_2 - плотность пылегазового потока на входе в аппарат, м/с.

6. Определяется эффективность очистки энергетическим методом расчета:

$$\eta = 1 - e^{-B \cdot K_q^x} \quad (30)$$

где B, χ - константы, определяемые дисперсным составом и видом пыли [7, с. 145], равные $B=0,12, \chi=0,454$.

K_q - затраты энергии на осуществление мокрой очистки, определяемое по формуле:

$$K_v = \Delta P_{ann} + P_{эс} \cdot m \quad (31)$$

Расчет:

$$D = \sqrt{\frac{47684,80}{3600 \cdot 0,785 \cdot 3}} = 2,37 \approx 2,5 \text{ м}$$

Пересчитываем действительную скорость газа $\Rightarrow \omega_z^{\text{действ}} = 2,71 \text{ м/с}$

$$L_{эс} = 0,5 \cdot 47684,80 = 23842,4 \text{ л/ч} = 238 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$L_{эс}' = \frac{3,14 \cdot (14 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^5}{1000}} \cdot 0,65 = 0,01 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$n = \frac{238}{0,01 \cdot 3600} = 6,6 \text{ шт}$$

Округляем количество форсунок в меньшую сторону $\Rightarrow n = 6 \text{ шт}$.

Пересчитываем действительное давление $\Rightarrow P_{эс}^{\text{действ}} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$$\Delta P_{ann} = 18,36 + 132,67 + 66,34 + 722,45 = 939,82 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{np} = 1,65 \cdot 3 \cdot \frac{1,01 \cdot 2,71^2}{2} = 18,36 \text{ Па}$$

$$t_{\text{вых}} = 80 - 2 = 78^\circ \text{C} \Rightarrow \rho_z = \frac{353}{273 + 78} = 1,01 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta P_{ex} = \left(1 - \frac{1^2}{2,5^2}\right) \cdot \frac{1,01 \cdot 17,83^2}{2} = 132,67 \text{ Па}$$

$$d = \sqrt{\frac{47684,80}{3600 \cdot 0,785 \cdot 15}} \approx 1 \text{ м}$$

Пересчитываем действительную скорость на входе $\Rightarrow \omega_{ex} = 17,83 \text{ м/с}$

$$\Delta P_{\text{вых}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{1^2}{2,5^2}\right) \cdot \frac{1,01 \cdot 17,83^2}{2} = 66,34 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{реци}} = 4,5 \cdot \frac{1,01 \cdot 17,83^2}{2} = 722,45 \text{ Па}$$

$$\eta = 1 - e^{-0,12 \cdot 964,82^{0,454}} = 93,42\%$$

$$K_y = 939,82 + 0,5 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 964,82$$

$$\eta_I = 41 \cdot 0,9342 = 38,30\%$$

$$C_{осм} = 37,14 \cdot (1 - 0,3830) = 22,92 \text{ г / м}^3$$

3.2 Расчет второй ступени

1. Пересчитываем фракционный состав пылегазового потока после первой ступени очистки и результаты пересчета сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Фракционный состав пылегазового потока

| | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| d, мкм | 1,0 | 4,0 | 6,3 | 10,0 | 20,0 | 35,0 |
| Φ_I , % | 15 | 11 | 15 | 12 | 12 | 17 |
| Φ_{II} , % | 24 | 18 | 24 | 34 | | |

2. Пересчитываем параметры газопылевого потока после первой ступени очистки по формулам (2), (3).

3. Найдем ориентировочную степень очистки при помощи сотовой диаграммы (см. приложение 2) по формуле:

$$\eta_{op} = \frac{\sum \eta_i \cdot \Phi_i}{100} \quad (32)$$

4. Найдем степень очистки после второй ступени очистки по формуле (15).

5. Сравниваем η_{op} и η_{II} , если $\eta_{op} \leq \eta_{II}$, производим дальнейший конструктивный расчет аппарата.

Диаметр конфузора трубы Вентури [36], [60]:

$$d_k = \sqrt{\frac{L_z^{p.y.}}{3600 \cdot 0,785 \cdot \omega_z^{ax}}}, \text{ м} \quad (33)$$

где ω_z^{ax} - скорость потока на входе в конфузор, м/с, равная 18.

Диаметр горловины трубы Вентури:

$$d_z = \sqrt{\frac{L_z^{p.y.}}{3600 \cdot 0,785 \cdot \omega_{зопл}}}, \text{ м} \quad (34)$$

где ω_z^{ax} - скорость потока в горловине, м/с, равная 90.

Длина конфузора трубы Вентури:

$$l_k = \frac{d_k - d_z}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{26}{2}}, \text{ м} \quad (35)$$

Длина горловины трубы Вентури:

$$l_z = 4 \cdot d_z, \text{ м} \quad (36)$$

Диаметр диффузора трубы Вентури:

$$d_\phi = \sqrt{\frac{L_z^{p.y.} + L_{жс}}{3600 \cdot 0,785 \cdot \omega_\phi}}, \text{ м} \quad (37)$$

Длина диффузора трубы Вентури:

$$l_\phi = \frac{d_\phi - d_z}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{8}{2}}, \text{ м} \quad (38)$$

6. Производим подбор и расчет форсунок по формулам (22), (23), (24).

7. Определяем гидравлическое сопротивление.

Так как скорости газов в данном аппарате поддерживаются высокими, после трубы – распылителя обязательно устанавливают каплеуловитель. Поэтому гидравлическое сопротивление скруббера Вентури складывается из гидравлического сопротивления трубы Вентури и гидравлического сопротивления каплеуловителя:

$$\Delta P_{св} = \Delta P_{тр.в} + \Delta P_{к.у.}, \text{ Па} \quad (39)$$

$$\Delta P_{тр.в} = \Delta P_{сух} + \Delta P_{жс}, \text{ Па} \quad (40)$$

где $\Delta P_{сух}$ – гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, обусловленное движением газов без подачи орошения;

$\Delta P_{жс}$ - гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, обусловленное вводом орошающей жидкости.

Гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{сyx}} = \xi_{\text{сyx}} \cdot \frac{\rho_z \cdot \omega_{\text{горл}}^2}{2}, \text{Па} \quad (41)$$

где ρ_z – плотность газа на выходе из трубы-распылителя.

$\xi_{\text{сyx}}$ - коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы-распылителя, равный 0,15.

$$\Delta P_{\text{жс}} = \xi_{\text{жс}} \cdot \frac{\rho_{\text{жс}} \cdot \omega_z^2}{2} \cdot m, \text{Па}, \quad (42)$$

где m - удельное орошение, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$\xi_{\text{жс}} = A \cdot \xi_{\text{сyx}} \cdot m^{1+B}, \quad (43)$$

где A и B эмпирические коэффициенты, учитывающие условия орошения, [7, с. 119].

Принимаем центральный подвод орошения в конфузор трубы оптимальной конфигурации: $A = 0,63$; $1+B = -0,3$;

Гидравлическое сопротивление каплеуловителя определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{к.у.}} = \xi_{\text{к.у.}} \cdot \frac{\rho_z \cdot \omega^2}{2}, \text{Па} \quad (44)$$

где $\xi_{\text{к.у.}}$ - коэффициент гидравлического сопротивления каплеуловителя, равный 18.

8. Определим эффективность пылеулавливания по энергетическому методу по формуле (30),

Где

$$K_{\text{э}} = \Delta P_{\text{св}} + m \cdot P_{\text{жс}}, \quad (45)$$

где $P_{\text{жс}}$ – давление жидкости перед форсункой, Па.

Расчет:

$$t_{\text{вых}} = 78^{\circ}\text{C};$$

$$L_2^{PY} = 36878,05 \cdot \frac{273+78}{273} = 47414,64 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L_2^{HV} = 47684,80 \cdot \frac{273}{273+80} = 36878,05 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$M = 47684,80 \cdot 22,91 = 1092459 \text{ г/ч}$$

$$C_H^{PY} = \frac{1092459}{47414,64} = 23,04 \text{ г/м}^3$$

Так как очистке подвергается IV класс пыли с большой концентрацией, то выбираем высокоскоростной скруббер Вентури.

$$m = 0,5 \text{ л/м}^3, \omega = 100 \text{ м/с}$$

$$\eta_{op} = \frac{24 \cdot 99,61 + 18 \cdot 99,99 + 58 \cdot 100}{100} = 99,90\%$$

$$0,9994 = 1 - (1 - 0,328) \cdot (1 - \eta_{II})$$

$$0,9994 = 1 - 0,672 \cdot (1 - \eta_{II})$$

$$0,9994 = 1 - 0,672 + 0,672 \cdot \eta_{II}$$

$$\eta_{II} = 99,91\%$$

$\eta_{op} < \eta_{II}$, следовательно, производим конструктивный расчет аппарата.

$$d_k = \sqrt{\frac{47414,64}{3600 \cdot 0,785 \cdot 18}} \approx 1 \text{ м}$$

Пересчитываем действительную скорость потока на входе в аппарат

$$\Rightarrow \omega_2^{\text{ex}} = 16,78 \text{ м/с}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{47414,64}{3600 \cdot 0,785 \cdot 90}} = 0,43 \text{ м}$$

Диаметр горловины округляем до ближайшего стандартного значения

$d_2 = 0,42 \text{ м}$ и пересчитываем действительную скорость в горловине

$\Rightarrow \omega_{\text{горл}} = 95,11 \text{ м/с}$. Определяем остальные конструктивные размеры аппарата и

расходы жидкости.

$$l_k = \frac{1-0,42}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{26}{2}} = 1,26 \approx 1,3 \text{ м}$$

$$l_2 = 4 \cdot 0,42 = 1,68 \text{ м}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{47414,64 + 23,7}{3600 \cdot 0,785 \cdot 16,78}} \approx 1 \text{ м}$$

$$L_{\text{жс}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 47414,64 = 23,7 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$l_0 = \frac{1-0,42}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{8}{2}} = 4,2 \text{ м}$$

$$L_{\text{жс}} = 0,5 \cdot 47414,64 = 23707,32 \text{ л} / \text{ч} = 237 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$L_{\text{жс}}' = \frac{3,14 \cdot (14 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^5}{1000}} \cdot 0,65 = 0,01 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$n = \frac{237}{0,01 \cdot 3600} = 6,6 \text{ шт}$$

Округляем количество форсунок в меньшую сторону $\Rightarrow n = 6 \text{ шт}$.

Пересчитываем действительное давление жидкости $\Rightarrow P_{\text{жс}}^{\text{действ}} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$$\Delta P_{\text{св}} = 2759,44 + 225 = 2984,44 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{тр.в}} = 678,44 + 2081 = 2759,44 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{сyx}} = 0,15 \cdot \frac{1 \cdot 95,11^2}{2} = 678,44 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{жс}} = 0,92 \cdot \frac{1000 \cdot 95,11^2}{2} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2081 \text{ Па}$$

$$\xi_{\text{жс}} = 0,63 \cdot 0,15 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^{-0,3} = 0,92$$

$$\Delta P_{\text{к.у.}} = 30 \cdot \frac{1 \cdot 5^2}{2} = 225 \text{ Па}$$

Определяем эффективность пылеулавливания:

$$\eta = 1 - e^{-0,12 \cdot 3159,44^{0,454}} = 99,99\%$$

$$K_{\text{ч}} = 3134,44 + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^5 = 3159,44$$

Остаточная концентрация после двух ступеней очистки:

$$C_{осм} = 23,04 \cdot (1 - 0,3830) \cdot (1 - 0,999) = 0,012 / м^3$$

Подбираем вентилятор исходя из известного расхода $L_z = 47414,64 м^3 / ч$ и потерь давления, определяемых по формуле (46):

$$\Delta P_{сист} = 1,3 \cdot (\Delta P_{лсм} + \Delta P_{псм}), Па \quad (46)$$

$$\Delta P_{сист} = 1,3 \cdot (939,82 + 2984,44) = 5101,538 Па \approx 5102 Па$$

Были подобраны 2 последовательно установленных общепромышленных центробежных односторонних вентилятора фирмы «Веза» ВРАВ-8,0, характеристики которого приведены ниже [62]:

Тип двигателя: А280S6

$N_y = 75$ кВт

$n = 985$ об/мин

$\eta = 0,69$

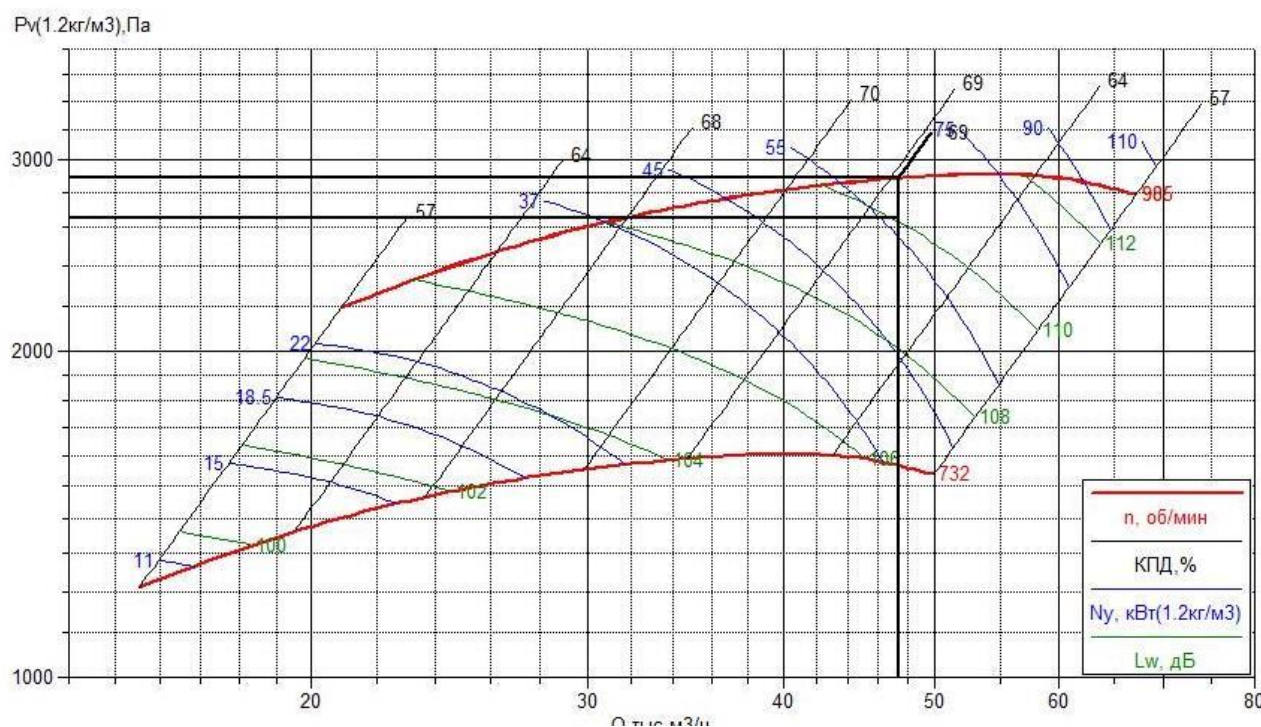


Рисунок 12 – График подбора вентилятора

3.3 Расчет высоты выброса

Данный выброс является нагретым, т.к. $\Delta T = 60,8^\circ\text{C} > 0^\circ\text{C}$ ($t_{\text{июля}} = 17,2^\circ\text{C}$, $t_{\text{вых}} = 78^\circ\text{C}$), минимальная высота выброса определяется по следующей формуле [9], [12], [16]:

$$H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot L_2^{p.y.} \cdot (ПДК - C_\phi)} \right]^{3/4}, \text{ м} \quad (47)$$

При условии, что $H \leq \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot D}{\Delta T}}$.

где A - безразмерный коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, г. Екатеринбург ($56^\circ 50'$ с. ш., $60^\circ 38'$ в. д.) находится на Среднем Урале, а, значит, $A = 160$;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере, равный 1;

D - диаметр устья, м, определяемый по формуле (21);

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, равный 1;

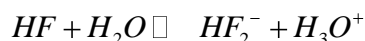
$L_2^{p.y.}$ - расход воздушного потока, $\text{м}^3/\text{с}$;

$ПДК$ - максимальная разовая предельная концентрация, $\text{мг}/\text{м}^3$;

C_ϕ - фоновая концентрация, $\text{мг}/\text{м}^3$, равная 0;

M - валовый выброс, $\text{г}/\text{с}$.

Но так как после установки выбранных аппаратов очистки была достигнута требуемая степень очистки E , $t_{\text{выброса}} < 100^\circ\text{C}$, остаточная концентрация меньше значений предельно допустимых концентраций, присутствуют газовые составляющие выброса, которые неограниченно растворимы в воде:



Это значит, что выброс будет осуществляться непосредственно от вентилятора, дальнейшего расчета не требуется.

3.4 Экономическая оценка применяемых технологических решений

Исходя из известного расхода, направляемого на очистку и охлаждение пылегазового потока, и нагрев водопроводной холодной воды на нужды горячего водоснабжения рассматриваемого цеха можно определить ориентировочный размер сэкономленных денежных средств, который был бы затрачен на покупку теплоносителя у ресурсоснабжающей организации в городе Екатеринбург.

По данным «Единый Расчетный Центр» - ведущего биллингового оператора города Екатеринбурга в сфере начислений за жилищно-коммунальные и иные услуги [20] установлен тариф на услуги горячего водоснабжения организациями, осуществляющих горячее водоснабжение с использованием закрытых систем горячего водоснабжения потребителей Свердловской области с 01.01.2016 по 30.06.2016 гг. в размере 1570,24 руб./Гкал без НДС за компонент на тепловую энергию (1852,88 руб./Гкал с НДС соответственно) и 26,80 руб./м³ без НДС за компонент на холодную воду (31,62 руб./м³ с НДС соответственно).

Зная количество тепла, отдаваемое воздушным потоком за час работы при заданном расходе, равное 2395116 Вт, можем определить тепловую нагрузку за год. Расчет сведен в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет произведенной тепловой энергии и ее стоимости в переводе на установленный тариф

| Количество тепловой энергии, Гкал | Стоимость произведенной тепловой энергии, руб. (в переводе на установленный тариф) | Период работы |
|-----------------------------------|--|-------------------|
| 2,059 | 3815,88 | За 1 час работы |
| 49,426 | 91581,16 | За 24 часа работы |
| 1482,789 | 2747434,69 | За месяц работы |
| 17793,467 | 32969216,26 | За год работы |

По предоставленным данным известно, что на производстве фосфорных удобрений работает 500 человек в 2 смены и в административно-бытовом корпусе уставлены 50 душевых сеток, можем определить годовую потребность в горячем водоснабжении при расходе 125 л/чел в смену (горячей и холодной воды). Для расчета принимаем, что потребление горячей воды составляет 50% от общего количества [19], [21]. Расчет сведен в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчет годовой потребности в горячем водоснабжении

| Расход горячей воды, т/ч | Стоимость горячей воды, руб. (в переводе на установленный тариф) | Период работы |
|--------------------------|--|-------------------|
| 781,25 | 59 398,99 | За 1 смену |
| 1562,5 | 118 797,98 | За 24 часа работы |
| 46875 | 3 563 939,25 | За месяц работы |
| 562500 | 42 767 271,00 | За год работы |

Подводя итог полученным результатам расчетов, можно сделать вывод, что получение горячей воды путем нагрева холодной водопроводной воды в теплообменном аппарате сокращает расходы производства на покупку горячей воды у ресурсоснабжающей организации на 77% (в денежном эквиваленте) при этом в полном объеме удовлетворяет потребность в горячем водоснабжении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе была произведена модернизация системы для повышение качества очистки выбросов от сушильных барабанов при производстве фосфорных удобрений предприятия «АгроХим Транс» в городе Екатеринбург и разработан способ очистки промышленных выбросов с применением эколого-экономически эффективных технологических решений для достижения качества очистки выбросов, до нормируемых показателей загрязняющих веществ в атмосферу.

Эффективность очистки выбросов с помощью предложенной схемы системы очистки составила 99,99%. Концентрация вредных соединений в составе выброса снизилась с $48,03 \text{ г/м}^3$ до $0,01 \text{ г/м}^3$, а температура понизилась с $260 \text{ }^\circ\text{C}$ до $78 \text{ }^\circ\text{C}$. Утилизация тепла достигается в поверхностном теплообменнике, подогревая холодную водопроводную воду для нужд горячего водоснабжения и тем самым принося дополнительно экономическую выгоду производству.

Данная система очистки удовлетворяет экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Одокиенко Е.В., Писарева В.С. Подбор и расчет аппаратов пылеочистки. Ч.1. Аппараты сухого способа очистки: методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Урбоэкология». – Тольятти: ТГУ, 2007. – 32 с.
2. Очистка газов в производстве фосфора и фосфорных удобрений / Тарат Э. Я., Воробьев О. Г., Балабеков О. С. и др.; под ред. проф. Э. Я. Тарата. – Л.: Химия, 1979. – 208 с., ил.
3. Технологические процессы экологической безопасности / Основы энвайронменталистики /: Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд., перераб. и доп. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с., ил., табл.
4. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих и пылеулавливающих установок / Алиев Г. М. - А. Учебник для СПТУ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1980. – 368 с. – ил.
5. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Алиев Г. М. – А. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с. – ил., табл.
6. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
7. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др.; Под общ.ред. А. А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с., ил.
8. Очистка вентиляционных выбросов от газообразных вредностей: Учебное пособие / Писарева В. С., Сорокин В. В. – Тольятти: ТолПИ, 1991. – 140 с.
9. Очистка воздуха: Учеб. пособие / Штокман Е. А. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007.– 312 с.

10. Охрана воздушного бассейна: Учебное издание / Полонский В. М. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 152 с.
11. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К.Ф. Роддатиса. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 488 с.: ил.
12. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» М.: ГУП ЦПП, 2003.
13. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. - 7-е изд., Т.3. - Л.: Химия, 1976. - С. 28-32.
14. Мазус М.Г., Мальгин А.Д., Моргулис М.Л. Фильтры для улавливания промышленных пылей.-М.: Машиностроение, 1985.-240 с., ил.
15. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
16. Проектирование промышленной вентиляции. Справочник / Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М. – Киев: Будівельник, 1983. – 256с.
17. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Введ. 2004-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
18. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – Введ. 1996-01-07. – М.: Госстандарт РФ, 1996. – 30 с.
19. СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*.
20. <https://www.erc.ur.ru/client/tarifiinormativi/tarify/gvs.html>
21. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
22. <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/9cfa3a0048855433b1d4f36a6515bb18/Phosphate+Fertilizer+Plants++Russian++Final.pdf?CACHEID=9cfa3a0048855433b1d4f36a6515bb18&MOD=AJPERES>

23. Санитарные правила для производства фосфора и его неорганических соединений №4155-86.
24. ПБ 09-597-03 Правила безопасности для производств фосфора и его неорганических соединений.
25. Кузнецов И.Е., Троицкая Т.М. Защита воздушного бассейна от загрязнений вредными веществами химических предприятий. М.: Химия, 1979. - 344 с.
26. Лукин В.Д., Курочкина М.И. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности. Л.: Химия, 1980. - 232 с.
27. Эльтерман В.М. Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях. М.: Химия, 1985. - 160 с.
28. Скалкин Ф.Н., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и окружающая среда. Л.: Энергоиздат, 1981. - 192 с.
29. Даценко И.И., Банах О.С. и др. Химическая промышленность и охрана окружающей среды. М: Головное изд-во. 1986. - 176с.
30. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности /Учебник для студ. технич. и технологич. спец. – Калуга: Изд-во Н. Бочкарёвой, 2000. – 800 с.
31. О.А. Федяева Промышленная экология / Конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. - 145 с.
32. <http://ekolog.org/books/16/7.htm>
33. <http://ohrana-bgd.narod.ru/bgdts4.html>
34. Вальдберг, А. Ю. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы [Текст] : учеб.пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению 656600 «Защита окружающей среды» / А. Ю. Вальдберг, Н. Е. Николайкина. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.
35. Родионов, А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов [Текст] : учеб.пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. «Охрана окружающей среды и рациональ-

ное использование природных ресурсов» / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – М. : Химия : КолосС, 2007. – 392 с.

36. Дубинская Ф.Е., Лебедюк Г.К. Скрубберы Вентури. Выбор, расчет, применение. М., ЦИНТИХимнефтемаш, 1977 г.

37. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., Химия, 1976 г.

38. Вредные химические вещества. Природные органические соединения [Текст] : изд. спр.-энцикл. типа. Т. 7 / ред.-организатор В. А. Филов ; под ред. В. А. Филова, Ю. И. Мусийчука, Б. А. Ивина. – М., 1998. – 504 с.

39. Переработка отходов, очистка сточных вод и газовых выбросов [Текст] : каталог. Информ.-тем. сб. № 3. Очистка сточных вод, технологических жидкостей и утилизация осадков агропромышленного комплекса. Т. 3 / Науч.-информ. центр «Глобус». – М., 2005. – 70 с.

40. Швыдкий, В. С. Очистка газов [Текст] : справочник / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплоэнергетик, 2002. – 790 с.

41. Экологический энциклопедический словарь [Текст] / ред. А. С. Монин, 2002. – 930 с.

42. <http://tinref.ru/index.htm>

43. Данилов - Данильян В.И. «Экология, охрана природы и экологическая безопасность», М.: МНЭПУ, 1997 г.

44. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.: Химия, 1991. — 496 с.

45. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. - Калуга: изд-во Н. Бочкаревой, 2002 - 1017 с.

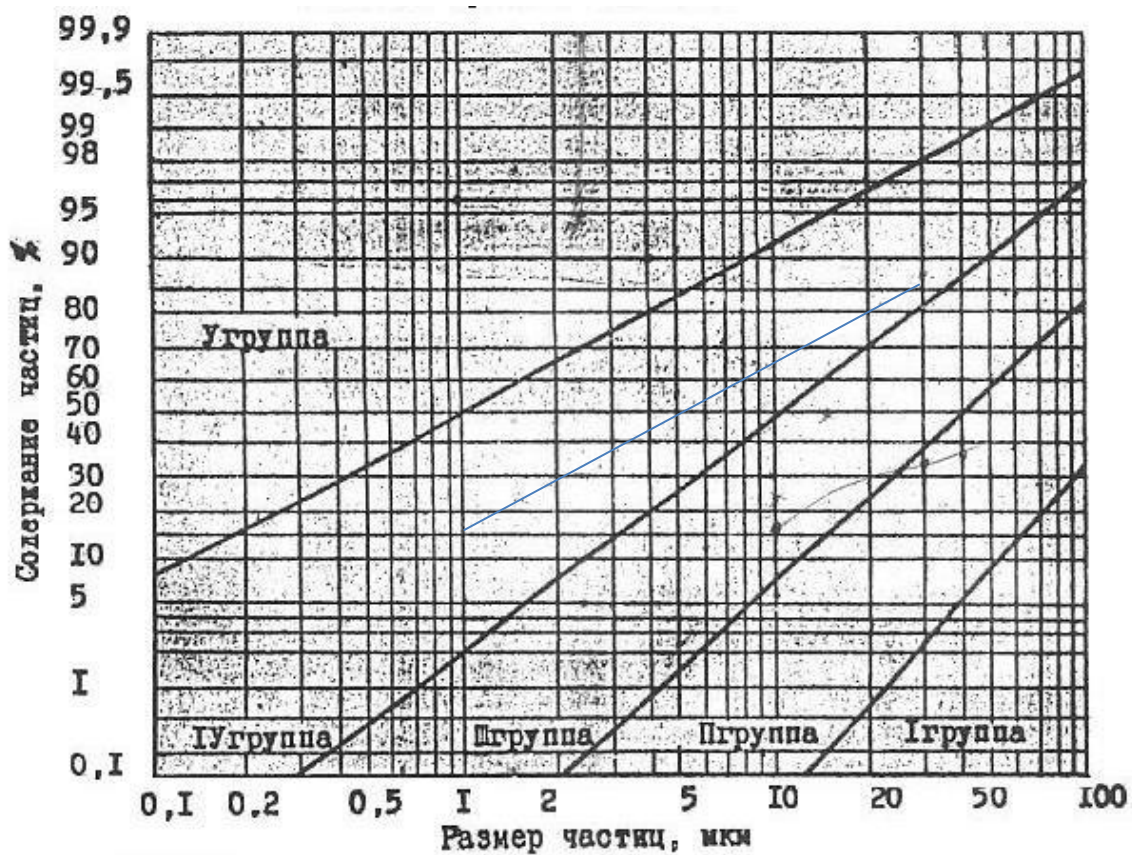
46. Флореа О., Смигельский О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. - М.: Химия, 1971 - 447 с.

47. Косинцев В.И., Михайличенко А.И. Основы проектирования химических производств - М.: Академкнига, 2005 - 332 с.

48. Дворецкий С.И., Кормильцин Г.С. Основы проектирования химических производств - М.: изд-во "Машиностроение-1", 2005 - 280 с.
49. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок / 4-е изд. - М.: Высшая школа, 1989.
50. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии т.1. - М.: Химия, 1981.
51. Аверкин, А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х частях. Ч.1. Абсорберы. - Пенза: ПГАСА, 2000.
52. Аверкин, А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х частях. Ч.2 Адсорберы. - Пенза: ПГАСА, 1999.
53. Протасов В.Ф. «Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России», М.: Финансы и статистика, 1999 г.
54. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии т.2. - М.: Химия, 1981.
55. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / 7-ое изд. - М.: Химиздат, 1961.
56. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / [А. А. Захарова [и др.] ; под ред. А. А. Захаровой. – М.: Академия, 2006. – 528 с.
57. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. М.: Химия, 1987. - 496 с.
58. Белов С.В. «Безопасность жизнедеятельности» М.: Высшая школа, 1999 г.
59. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. Словарь-справочник. М., 1992.
60. Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты защиты атмосферы от газовых выбросов / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Издательство Пензенского технологического института, 2003. – 154 с.

61. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1993.
62. <http://www.veza.by/katalogi-pdf>

Номограмма для определения классификационной группы
дисперсности пыли



Сотовая номограмма для определения степени очистки выбросов
при применении скруббера Вентури

Значение η_{Φ_i}

Таблица 1-3

| $w_c, \frac{m}{c}$ $\frac{m^3}{л/м^3}$ | 30 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 0,3 | 30,4 66,2 240 97,3 83,6 | 51,00 88,2 950 99,9 | 61,0 94,1 1690 99,99 | 68,88 96,99 2640 99,99 | 75,06 98,4 3800 100 | 81,97 99,4 5170 99,98 |
| 0,5 | 44,7 83,1 300 99,7 | 68,42 96,85 1200 99,99 | 77,88 98,92 2140 100 | 84,31 99,61 3340 100 | 88,75 99,66 4820 100 | 93,04 99,97 6560 100 |
| 0,75 | 58,03 92,6 370 99,98 | 80,8 99,30 1480 100 | 88,2 99,84 2640 100 | 92,54 99,96 4120 100 | 95,17 99,99 5930 100 | 97,39 100 8070 100 |
| 1,0 | 67,5 99,6 430 100 | 87,7 99,8 1730 100 | 93,2 99,97 3080 100 | 96,0 99,99 4810 100 | 97,61 100 6930 100 | 98,82 100 9440 100 |
| 1,25 | 74,5 98,3 490 100 | 91,2 99,9 1970 100 | 95,7 99,99 3500 100 | 97,67 100 5460 100 | 98,67 100 7870 100 | 99,39 100 10770 100 |