

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**РАЗРАБОТКА, РАСЧЕТ И ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЕ
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ**

Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Очистка вентиляционных
выбросов и ресурсосбережение»
для студентов специальности «Теплоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»

Минск
БНТУ
2015

УДК 628.512.068.4(075.8)

ББК 30.69я7

Р17

Составители:

И. С. Бракович, В. Д. Сизов

Рецензенты:

А. С. Слуцкий, С. Л. Ровин

Цель методических указаний – помочь студентам в самостоятельном выполнении расчетно-графической работы в соответствии с программой дисциплины «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение».

Рассматриваются вопросы расчета технических характеристик при применении термического метода очистки газовых выбросов в зависимости от содержания различных углеводородов, даются рекомендации по выполнению работы, ее составу и объему. Приводятся список рекомендуемой литературы и приложения, которые включают табличные данные, необходимые для выполнения расчетов.

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Общие положения метода термической очистки газовых выбросов.....	4
2. Порядок выполнения работы.....	16
2.1. Исходные данные для выполнения работы.....	16
2.2. Порядок проведения расчетов.....	17
2.3. Пример выполнения задания.....	17
Вопросы для самоконтроля.....	23
Литература.....	23
Приложение.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Целью расчетно-графической работы является ознакомление студентов на практических занятиях с возможностями применения термического метода очистки газовых выбросов от различных загрязняющих веществ. Студенты должны научиться правильно оценивать состав газовых выбросов, по справочным данным определять их физико-химические характеристики, подбирать и правильно компоновать соответствующее оборудование, а также рассчитывать наиболее экономически целесообразные варианты его компоновки с целью эффективной очистки газовых выбросов.

Приведенные примеры расчета параметров работы очистных устройств позволят студентам верно производить необходимые вычисления и оценивать эффективность работы оборудования.

Методические указания разработаны в соответствии с учебной программой дисциплины «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение».

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Для обезвреживания газовых промышленных выбросов чаще всего используют термические методы прямого сжигания и окисления. Метод прямого сжигания применяют для обезвреживания промышленных газов, содержащих легко окисляющиеся органические примеси, например пары углеводородов. Продуктами сгорания углеводородов являются диоксид углерода и вода, а органических сульфидов – диоксид серы и вода.

Газы сжигают на установках с открытым факелом или в печах различных конструкций (рис. 1.1, 1.2). Прямое сжигание осуществляют при температуре 700–800 °С с использованием газообразного или жидкого топлива. Для сжигания необходим избыток кислорода на 10–15 % больше стехиометрического количества. Чтобы пламя факела было некопящим, добавляют воду в виде пара. В этом случае происходит реакция водяного пара с углеводородами, сопровождаемая образованием водорода и оксида углерода. Количество пара в зависимости от концентрации углеводородов колеблется от

0,05 до 0,33 кг/кг. Если концентрация горючих газов мала и выделяющейся теплоты недостаточно для реакции горения, то газы предварительно подогревают.

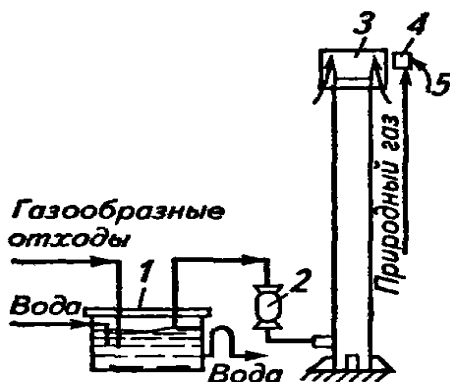


Рис. 1.1. Установка для факельного сжигания газообразных выбросов:
 1 – гидрозатвор; 2 – огнепреградитель; 3 – основная горелка; 4 – дежурная горелка с системой зажигания; 5 – подсос воздуха

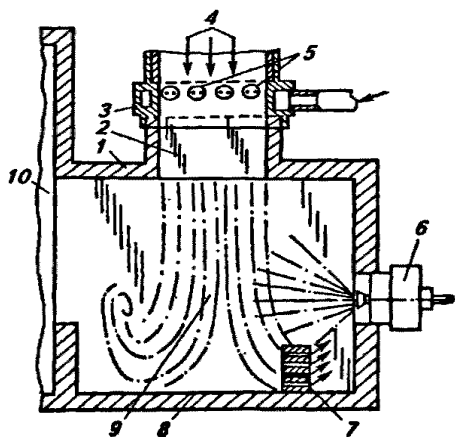
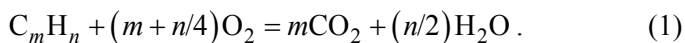


Рис. 1.2. Печь для сжигания газообразных отходов с рекуперацией теплоты:
 1 – корпус; 2 – отверстие для подачи газообразных отходов; 3 – коллектор;
 4 – подача газообразных отходов; 5 – распределительные трубки; 6 – горелка;
 7 – перфорированная стенка; 8 – под; 9 – камера горения;
 10 – камера для утилизации тепла

Для последующей очистки газовых выбросов целесообразны комбинированные методы, в которых подбирается оптимальное для каждого конкретного случая сочетание грубой, средней или тонкой очистки газов и паров. На первых стадиях, когда содержание токсичной примеси велико, более подходят абсорбционные методы, а для доочистки – адсорбционные или каталитические.

Сущность термического способа очистки газовых выбросов заключается в нагреве их до температур, превышающих температуру самовоспламенения токсичных компонентов, и выдержке в присутствии кислорода.

При этом горючие компоненты выбросов переходят в менее токсичные или нейтральные вещества. Например, реакция окисления углеводородов происходит с образованием углекислого газа и паров воды:



Реакция протекает экзотермически.

Преимущества термического способа – универсальность по отношению к горючим газам любого состава, простота исполнения и надежность эксплуатации. Недостатки – значительный расход топлива, обусловленный необходимостью нагрева газовых выбросов до температур начала процесса горения вредностей и появления дополнительных вредностей, например оксиды азота, угарный газ и др.

Термический способ следует рассматривать как чисто тепловой процесс горения бедных газоздушных смесей. Основными факторами, определяющими эффективность термического дожигания, являются температура нагрева вентиляционных выбросов, время их выдержки при этой температуре и качество перемешивания.

Температура, до которой необходимо нагреть выбросы, зависит от вида вещества. На основе опытных данных установлено, что газовые выбросы необходимо нагревать до температур, превышающих в 1,5–2,0 раза температуру самовоспламенения содержащихся в них горючих компонентов, но не ниже $t_c = 750$ °С.

Время пребывания вредностей в термическом нейтрализаторе 0,5–1,5 с.

Выбор устройства термической очистки производится по расходу топлива, необходимого для подогрева выбросов до заданной температуры:

$$B_0 = LC_T (t_c - t_d) / (Q_n \eta), \quad (2)$$

где t_d – температура газовых выбросов, поступающих в камеру дожига, °С;

t_c – температура нагрева газовых выбросов, °С;

Q_n – низшая теплотворная способность топлива, кДж/м³;

η – тепловой КПД очистного устройства;

C_T – теплоемкость газовых выбросов, кДж/м³: величина постоянная и равная 1,3 кДж/м³.

При термическом дожигании предварительный подогрев выбросов важен с точки зрения не только экономии расхода топлива, но и качества очистки. Он осуществляется при использовании теплоты очищенных газов. Степень рекуперации составляет 0,2–0,7.

На ряде примеров можно более детально познакомиться со спецификой работы термического метода очистки газовых выбросов.

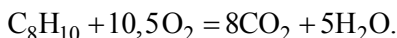
Примеры

Пример 1. Из технологической установки удаляются в атмосферу газы в количестве $L = 1000$ м³/ч с температурой $t_T = 150$ °С, концентрацией паров ксилола $C_n = 10\,000$ мг/м³ и содержанием кислорода 18 %.

Подобрать автономное устройство термической очистки газовых выбросов, работающее на природном газе с теплотворной способностью $Q_n = 33\,500$ кДж/м³ при средней температуре подогрева газовых выбросов $t_d = 450,4$ °С и обеспечивающее концентрацию паров ксилола не выше ПДК рабочей зоны.

Решение. На основании справочных данных находим характеристику вредности, содержащейся в газовых выбросах. Ксилол C_8H_{10} ; температура самовоспламенения $t_c = 563$ °С; нижний предел взрываемости в смеси с воздухом $C_b = 43,5$ г/м³; конечная концентрация $C_k = \text{ПДК}_{p,z} = 50$ мг/м³; низшая теплотворная способность $Q_{н.в} = 41\,250$ кДж/кг.

Запишем реакцию обезвреживания ксилола термическим методом:



Определим необходимую степень очистки:

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H} 100 = \frac{10\,000 - 50}{10\,000} 100 = 99,5 \%. \quad (3)$$

Находим минимальную температуру в рабочей камере дожигательного устройства:

$$t_d = 0,8t_c = 0,8 \cdot 563 = 450,4 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Расход природного газа на процесс термической очистки определяем по формуле (2):

$$V_0 = 1000 \cdot 1,3(750,4 - 450,4)/(33\,500 \cdot 0,995) = 1,75 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На основе количества газовых выбросов и расхода топлива подбирают типоразмер устройства термической очистки, которое устанавливают на технологическом оборудовании.

При разработке систем очистки вентиляционных выбросов задача состоит не только в охране окружающей среды, но и в достижении поставленной цели с минимальными затратами и с получением экономического эффекта [1]. Последнее достигается, когда вредные вещества не только обезвреживаются, но и превращаются в полезный продукт. Рассмотрим возможности экономии природного газа и электроэнергии на технологические нужды при использовании способов термического дожигания вредностей газовых выбросов.

Известно, что недостатком способа термического дожигания является значительный расход топлива для подогрева газовых выбросов до температур реакции окисления. Устранить указанный недостаток возможно путем использования вентиляционных выбросов для процесса горения технологического топлива в котлах, топках, печах [2]. При содержании в выбросах кислорода выше 17 % и го-

рючих компонентов менее 50 % от нижнего предела взрываемости они обеспечат полноту сжигания технологического топлива и выполнение требований норм безопасности.

Использование для сжигания топлива вентиляционных выбросов, содержащих горючие компоненты и имеющих повышенную температуру, влечет за собой изменение режимов горения. Изменяется и тепловой баланс технологического оборудования, что влечет за собой уменьшение расхода топлива B_p . Расчетный расход топлива, который учитывает физическую теплоту выбросов, находят по формуле

$$B_p = B_T - LC_T (t_T - t_{п}) / Q_H, \quad (5)$$

где $t_{п}$ – температура воздуха в помещении, °С.

Действительный расход топлива B_d , который учитывает химическую теплоту выбросов, находят из выражения

$$B_d = \left(1 - \frac{Q_{н.в}}{Q_H} G \right) B_p, \quad (6)$$

где $Q_{н.в}$ – низшая теплотворная способность горючих компонентов газовых выбросов, ккал/кг;

G – количество горючих компонентов, которое содержится в воздухе, используемом на сжигание единицы объема или массы топлива, кг/м³:

$$G = C_H \alpha L_T^0; \quad (7)$$

$$G = C_H L / B_p, \quad (8)$$

где α – коэффициент избытка воздуха;

L_T^0 – теоретическое количество воздуха для сжигания 1 м³ или 1 кг топлива, м³/ч.

Выбор оптимальной энерготехнологической схемы оборудования с применением очистных устройств в каждом конкретном случае определяют путем сравнения количества воздуха, потребного для сжигания топлива, расходов топлива на технологические нужды и очистку газов. Рассмотрим варианты этих соотношений.

Если количество воздуха L_T , необходимое для сжигания технологического топлива, и его расход B_T превышают количество газовых выбросов L и расход топлива на его очистку методом термического дожигания B_0 ($B_T > B_0$ и $L_T > L$), то в этом случае очистное устройство не применяется, а вместо него используется технологическое нагревательное устройство в тепловом режиме его работы.

Количество воздуха, необходимого для сжигания топлива, находят из выражения

$$L_T = \alpha L_T^0 B_T. \quad (9)$$

Возможная энерготехнологическая схема оборудования, предназначенного для расплавления и полимеризации порошковых покрытий на изделиях при использовании топки для попутной термической очистки газовых выбросов представлена на рис. 1.3. Газовые выбросы, содержащие продукты испарения и термического распада покрытия изделий, отсасываются по линии 7 вентилятором 8 и подаются в горелку 10 топки 11, где используются в качестве первичного и вторичного воздуха для сжигания технологического топлива. Продукты сжигания топлива и вредных веществ, проходя через регулирующее устройство 12, отсасываются по линии 13 дымососом 15 и подаются на обогрев теплообменников, в частности терморрадиационных панелей 6, установленных непосредственно в рабочей зоне технологического оборудования 3. Часть очищенных газов по линии 14 возвращается в систему обогрева оборудования, а оставшееся количество проходит через теплообменник 4, где подогревается воздух, поступающий на технологические нужды, и по линии 1 удаляется в атмосферу.

При использовании воздуха, содержащего горючие компоненты для сжигания топлива, в тепловой баланс оборудования поступает физическая и химическая теплота газовых выбросов. Это приводит к уменьшению расхода топлива на обогрев технологического оборудования. Минимальный расход топлива на термическое дожигание вредных веществ составляет $B = B_0$, а выброс в атмосферу определяется количеством образующихся при этом продуктов сгорания.

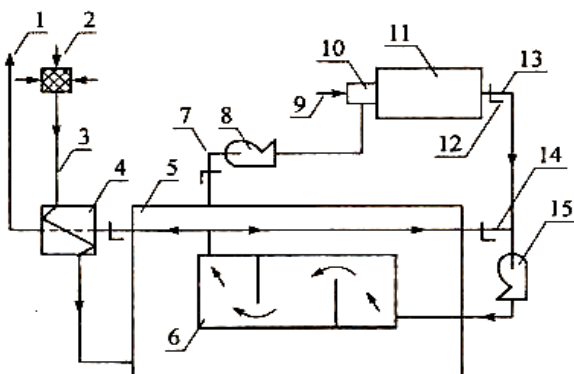


Рис. 1.3. Принципиальная схема обогрева и вентиляции технологического оборудования с использованием топливосжигающего устройства для попутной термической очистки газовых выбросов:

1 – линия выброса очищенных газов в атмосферу; 2 – воздушный фильтр; 3 – линия подачи атмосферного воздуха на технологические нужды; 4 – теплообменник; 5 – технологическое теплоиспользующее оборудование; 6 – панельный теплообменник; 7 – линия забора загрязненных газов; 8 – вентилятор; 9 – газопровод; 10 – горелка; 11 – топка; 12 – заслонка; 13 – линия подачи продуктов сжигания на обогрев технологического оборудования; 14 – линия возврата очищенных газов на рециркуляцию; 15 – дымосос

Если $B_T > B_0$, а $L_T < L$, нагревательное устройство (топка) ликвидируется и вместо него устанавливается устройство термического дожигания вредных веществ, которое одновременно выполняет функции по очистке газовых выбросов и обогреву технологического оборудования. Причем мощность очистного устройства выбирается по расходу топлива, необходимого на технологические нужды.

Энерготехнологическая схема оборудования с использованием устройства термической очистки выбросов вместо топки представлена на рис. 1.4. Из схемы видно, что устройство термического дожигания вредностей в отличие от топочного устройства, представленного на рис. 1.3, имеет теплообменник 12 для подогрева загрязненных газов очищенными. Необходимость предварительного подогрева загрязненных газов обуславливается не только экономией топлива, но и качественным дожиганием вредных веществ, содержащихся в выбросах. Если состав газовых выбросов допускает применение каталитического метода дожигания вредных веществ, то взамен топки можно установить каталитические аппараты.

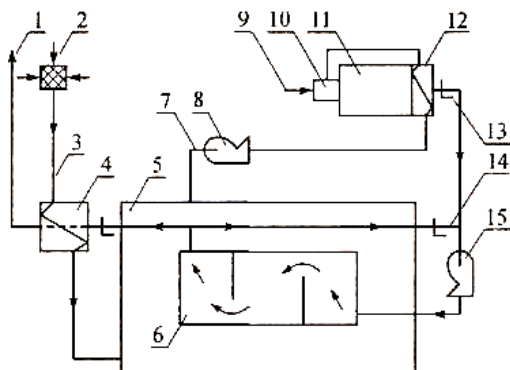


Рис. 1.4. Принципиальная схема обогрева и вентиляции технологического оборудования с использованием устройства термической очистки газовых выбросов: 1–10 – то же, что на рис. 1.3; 11 – устройство термической очистки газовых выбросов; 12 – подогреватель загрязняющих газов; 13 – заслонка; 14 – линия возврата очищенных газов на циркуляцию; 15 – дымосос

Принципиальная схема энергоиспользования при этом сохраняется, что и приводит к сокращению расхода топлива на технологические нужды.

Минимальный расход топлива при этом не должен быть меньше потребного для работы очистного устройства $B \geq B_0$.

Если $B_t < B_0$ и $L > L_t$, взамен топки рационально использовать нагревательно-очистное устройство с комбинированным термокаталитическим дожиганием вредных веществ. Работа устройства термокаталитической очистки выбросов понятна из рис. 1.5. Загрязненные газы отсасываются из технологического оборудования по линии вентилятором и затем разделяются на два потока. Часть из них, численно равная количеству воздуха, необходимого для сжигания технологического топлива, поступает на термическую очистку в топку. Избыточное количество газов поступает в теплообменник, где подогревается до температур начала реакции каталитического окисления вредных веществ 300–400 °С и затем направляется в реактор 12 на очистку. Очищенные каталитическим способом газы могут удаляться в атмосферу или использоваться в смеси с очищенными термическим способом для обогрева технологического оборудования. Топка выбирается по расходу топлива на технологи-

ческий процесс. Газы, идущие на каталитическую очистку, подогреваются до температур начала реакции окисления за счет тепла от дожигания горючих компонентов выбросов термическим способом.

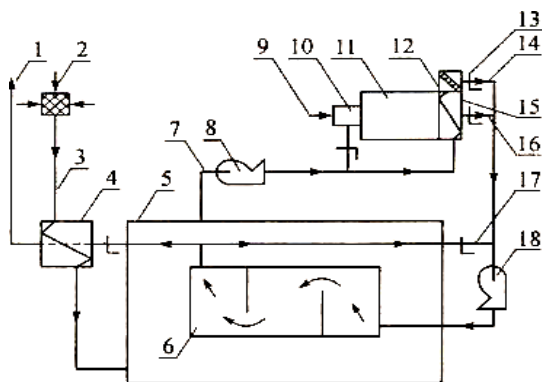


Рис. 1.5. Принципиальная схема обогрева и вентиляции технологического оборудования с использованием устройства комбинированной термической и каталитической очистки газовых выбросов:

1–11 – то же, что на рис. 1.3; 12 – реактор с катализатором; 13 – заслонка; 14 – линия отсоса газовых выбросов, очищенных каталитическим дожиганием; 15 – подогреватель выбросов, идущих на каталитическую очистку; 16 – линия отсоса газовых выбросов, очищенных термически; 17 – линия возврата очищенных газов на рециркуляцию; 18 – дымосос

Если в рассматриваемом варианте для очистки выбросов применять только устройство термического дожигания, то расход топлива определяется в нем по расходу его на процесс очистки. Так как $B_0 > B_T$ и имеется избыток теплоты, химическая и физическая теплота самих газовых выбросов на нужды технологии не может быть утилизирована полностью. В этом случае количество выбросов в атмосферу соответствует технологическим выбросам.

Пример 2. Для технологической установки по данным примера 1 разработать систему вентиляции и обогрева при условии объединения топочного и очистного устройства в единый агрегат и произвести расчет расхода топлива при условии, что в топочном устройстве расходуется газ в количестве $B_T = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$ с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,7$ при годовом фонде времени работы оборудования $\tau = 4000 \text{ ч}$. Увеличение расхода топлива на технологические нужды не допускается.

Решение. Оборудование технологической установки автономной системы очистки, как рассмотрено в примере 1, не имеет функциональной связи с системой обогрева оборудования и общий расход топлива

$$B_c = B_T + B_0 = 70 + 1,75 = 71,75 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (10)$$

Для выполнения задания по разработке системы попутной термической очистки газовых выбросов определяем количество воздуха, необходимого для сжигания технологического топлива:

$$L_T = \alpha L_T^0 B_T = 1,7 \cdot 9,4 \cdot 70 = 1119 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (11)$$

$$L_T = 1119 > L = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На основании сравнения приходим к выводу, что всё количество газовых выбросов можно обезвредить в топочном устройстве в режиме его технологической эксплуатации.

Находим расчетный расход топлива B_p в топочно-очистном устройстве с учетом того, что воздух, идущий на горение, обладает физической теплотой

$$\begin{aligned} B_p &= B_T - LC(t_T - t_n) / Q = \\ &= 70 - 1000 \cdot 1,3(150 - 20) / 33\,500 = 65,1 \text{ м}^3/\text{ч} \end{aligned} \quad (12)$$

Определяем количество паров ксилола, содержащегося в выбросах, идущих на сжигание 1 м^3 природного газа:

$$G = C_H L / (B_p \cdot 10^6) = 10\,000 \cdot 1000 / (65,1 \cdot 10^6) = 0,154 \text{ кг/м}. \quad (13)$$

Действительный расход топлива B_d на технологические нужды с учетом химической теплоты газовых выбросов

$$B_d = \left(1 - \frac{Q_{H.B}}{Q_H} G \right) B_p = \left(1 - \frac{41\,250}{33\,500} 0,154 \right) 65,1 = 52,7 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (14)$$

Экономия природного газа при совмещении с технологической схемой обогрева системы термической очистки по сравнению с автономной составит

$$\Theta = \frac{B_c - B_d}{B_c} 100 = \frac{71,8 - 52,7}{71,8} 100 = 26,7 \%. \quad (15)$$

Находим экономию топлива за год на технологический процесс и очистку выбросов при использовании способа попутной термической очистки:

$$\Theta_r = (B_c - B_d) \cdot \tau = (71,8 - 52,7) 4000 = 76400 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (16)$$

Для одинакового количественного и качественного состава газовых выбросов осуществлена очистка термическим способом при использовании в качестве топлива природного газа до норм промышленной санитарии в трех вариантах:

1. Без очистки газовых выбросов, при условии, что 70 % массы вредностей соответствует нормативно допустимым выбросам.
2. С автономной системой термической очистки.
3. С энергосберегающей системой термической очистки.

Причем системы очистки газовых выбросов выполнены как в традиционном автономном, так и в энергосберегающем исполнении при использовании технических решений по безотходной технологии.

К последним относятся:

– использование технологических топливосжигающих устройств для очистки газовых выбросов, при подаче последних для сжигания технологического топлива;

– использование очистных устройств дополнительно для обогрева технологического оборудования взамен топок и электрокалориферов;

– возврат очищенных газов на технологические нужды, взамен атмосферного воздуха.

Расчет расхода природного газа ведется по следующим формулам для трех выше приведенных вариантов:

$$B_1 = B_r \tau \eta, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (17)$$

$$B_2 = (B_r + B_0) \tau \eta, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (18)$$

$$B_3 = B_d \tau \eta, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (19)$$

$$B_{\text{эк}} = B_2 - B_3, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (20)$$

В денежном выражении затраты на топливо по трем вариантам соответственно составят (подсчет осуществляется при условии, что стоимость природного газа $C = 200$ у. е. за 1000 м^3 газа):

$$Z_1 = CB_1/1000 \text{ у. е.}; \quad (21)$$

$$Z_2 = CB_2/1000 \text{ у. е.}; \quad (22)$$

$$Z_3 = CB_3/1000 \text{ у. е.}; \quad (23)$$

Рассчитаем количество вредностей, удаляемых в атмосферу по следующим формулам:

$$M_1 = (10^{-6} C_n L_T) \tau \eta, \text{ т/год}; \quad (24)$$

$$M_2 = M_1(1 - \eta), \text{ т/год}; \quad (25)$$

$$M_{\text{ндв}} = 0,7M_1, \text{ т/год}; \quad (26)$$

$$M_{\text{штраф}} = C_{\text{штраф}}(M_1 - M_{\text{ндв}}), \text{ у. е.}, \quad (27)$$

где $C_{\text{штраф}}$ – тарифная ставка штрафных санкций за нарушение природоохранного законодательства: $C_{\text{штраф}} = 1500$ у. е.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Исходные данные для выполнения работы

1. Номер исходных данных (N) – последние две цифры в номере зачетной книжки студента (либо номер по порядку в списке группы обучения).

2. Объем поступающих газов на очистку $L = 700 + 100N$, $\text{м}^3/\text{ч}$.

3. Температура газовых выбросов $t_T = 70 + 5N$, $^\circ\text{C}$.

4. Начальная концентрация загрязняющих примесей $C_n = 1,1N$, г/м³.
5. Расход природного газа в топочном устройстве $B_T = 2N + 40$, м³/ч.
6. Годовой фонд времени работы оборудования $\tau = 10N + 3500$, ч.

2.2. Порядок проведения расчетов

1. Внимательно прочитать раздел 1, переписать в тетрадь название работы, ее цель, а также вопросы для самоконтроля и кратко конспектировать ответы на них.

2. Рассчитать по подразделу 2.1 исходные данные для выполнения работы и записать их в тетрадь.

3. По приложению выбрать загрязняющее вещество в зависимости от N и переписать все его технические характеристики в исходные данные.

4. В уравнение (1) подставить формулу своего загрязняющего вещества и рассчитать выход углекислого газа и воды.

5. Подставить в формулы (2)–(6) свои исходные данные и произвести необходимые расчеты.

6. Из рис. 1.3–1.5 выбрать наиболее подходящую схему компоновки оборудования и перенести ее себе в тетрадь.

7. Подставить в формулы (7)–(20) свои исходные данные и произвести необходимые расчеты.

8. По данным расхода природного газа построить диаграмму для трех вариантов термической очистки, указывая на оси Y в произвольном масштабе расход природного газа в м³/год, на оси X – три варианта очистки (B_1 , B_2 и B_3).

9. По формулам (21)–(27) рассчитать затраты на топливо и количество вредных веществ.

10. На основании затрат на топливо сделать вывод о предпочтительности того или иного варианта очистки.

2.3. Пример выполнения задания

Вопрос 1. Ответ.

Вопрос 2. Ответ.

.....

Вопрос 5. Ответ.

Цель работы: а) подобрать автономное устройство термической очистки газовых выбросов; б) разработать систему вентиляции и обогрева при условии объединения топочного и очистного устройства в единый агрегат.

Исходные данные для выполнения работы:

$$N = 26.$$

Загрязняющее вещество – циклогексан, формула – C_6H_{12} .

Теплотворная способность $Q_{н.в}$ – 10 480 ккал/кг.

Стехиометрический объем L_c – 14,8 м³/кг.

Температура самовоспламенения $t_{сам}$ – 270 °С.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) C_k – 80 мг/м³.

Нижний предел взрываемости $C_{н.п.в}$ – 44,0 г/м³.

Коэффициент избытка воздуха α – 1,7.

$$L = 700 + 100N = 700 + 100 \cdot 26 = 3300 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

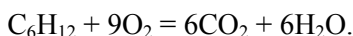
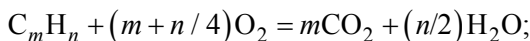
$$t_r = 70 + 5N = 70 + 5 \cdot 26 = 200 \text{ °С}.$$

$$C_n = 1,1N = 1,1 \cdot 26 = 28,6 \text{ г/м}^3.$$

$$V_r = 2N + 40 = 2 \cdot 26 + 40 = 92 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$\tau = 10N + 3500 = 10 \cdot 26 + 3500 = 3760 \text{ ч}.$$

Решение. Реакция окисления углеводородов происходит по следующей формуле:



Определяем необходимую степень очистки:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n} 100 = \frac{28\,600 - 80}{28\,600} 100 = 99,7 \text{ \%}.$$

Расход природного газа B_0 , м³/ч, на процесс термической очистки определяем по формуле:

$$\begin{aligned} B_0 &= LC_T (t_c - t_r) / (Q_n \eta) = \\ &= 3300 \cdot 1,3(750 - 200) / 33\,500 \cdot 0,997 = 70,6 \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

Возможная энерготехнологическая схема оборудования при использовании топки для попутной термической очистки газовых выбросов представлена на рис. 2.1.

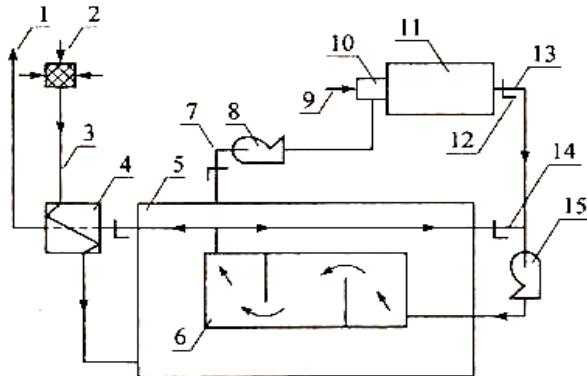


Рис. 2.1. Принципиальная схема обогрева и вентиляции технологического оборудования:

1 – линия выброса очищенных газов в атмосферу; 2 – воздушный фильтр; 3 – линия подачи атмосферного воздуха на технологические нужды; 4 – теплообменник; 5 – технологическое теплоиспользующее оборудование; 6 – панельный теплообменник; 7 – линия забора загрязненных газов; 8 – вентилятор; 9 – газопровод; 10 – горелка; 11 – топка; 12 – заслонка; 13 – линия подачи продуктов сжигания на обогрев технологического оборудования; 14 – линия возврата очищенных газов на рециркуляцию; 15 – дымосос

Оборудование технологической установки автономной системой очистки не имеет функциональной связи с системой обогрева оборудования и общий расход топлива

$$B_c = B_T + B_0 = 92,0 + 70,6 = 162,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для выполнения задания по разработке системы попутной термической очистки газовых выбросов определяем количество воздуха, необходимого для сжигания технологического топлива:

$$L_T = \alpha L_c B_T = 1,7 \cdot 14,8 \cdot 92 = 23 \text{ 14,72 м}^3/\text{ч}.$$

Определяем расчетный расход топлива в стационарном режиме работы устройства термической очистки с учетом того, что воздух, идущий на горение, обладает физическим теплом:

$$B_p = B_T - LC_T(t_T - t_H) / Q_H =$$

$$= 92,0 - 3300 \cdot 1,3(200 - 20) / 33\,500 = 69 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем количество паров циклогексана, содержащегося в выбросах, идущих на сжигание одного кубометра природного газа:

$$G = C_H L / (B_p \cdot 10^6) = 28\,600 \cdot 23\,14,72 / (69 \cdot 10^6) = 0,959 \text{ кг/м}^3.$$

Действительный расход природного газа на технологические нужды с учетом химического тепла газовых выбросов составит

$$B_d = \left(1 - \frac{Q_{H.B}}{Q_H} G\right) B_p = \left(1 - \frac{44\,016}{33\,500} 0,959\right) 69 = 17,94 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Экономия природного газа при совмещении технологической схемы обогрева с системой термической очистки по сравнению с автономной составит

$$\mathcal{E} = (B_c - B_d)100/B_c = (92,0 - 17,94)100/92,0 = 80,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Находим экономию топлива за год на технологический процесс и очистку выбросов при использовании способа попутной термической очистки:

$$\mathcal{E}_T = (B_c - B_d)\tau = (162,6 - 17,94)3760 = 54\,3921,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Так как 1000 м^3 природного газа стоит 200 у. е., то годовая экономия составит

$$\mathcal{E}_d = \mathcal{E}_T C / 1000 = 543\,921,6 \cdot 200 / 1000 = 108\,784,32 \text{ у. е./год}.$$

Энерготехнологическая схема оборудования с использованием устройств по термической очистке выбросов вместо топки представлена на рис. 2.2.

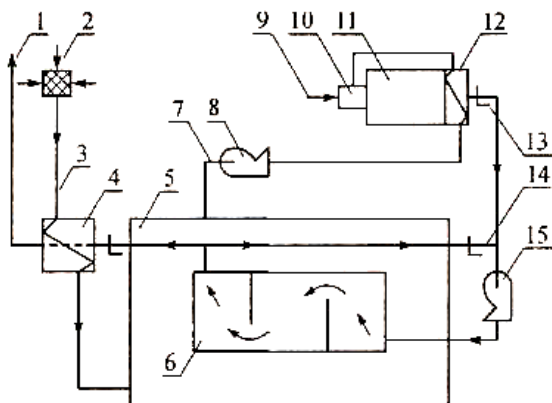


Рис. 2.2. Принципиальная схема обогрева и вентиляции технологического оборудования с использованием устройства термической очистки газовых выбросов: 1–10 – то же, что на рис. 2.1.; 11 – устройство термической очистки газовых выбросов; 12 – подогреватель загрязняющих газов; 13 – заслонка; 14 – линия возврата очищенных газов на циркуляцию; 15 – дымосос

Рассчитаем расход природного газа для трех вариантов термической системы очистки:

$$B_1 = B_T \tau \eta = 92 \cdot 3760 \cdot 0,997 = 344\,882,24 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$B_2 = (B_T + B_0) \tau \eta = (92 - 70,6) 3760 \cdot 0,997 = 80\,222,6 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$B_3 = B_D \tau \eta = 17,94 \cdot 3760 \cdot 0,997 = 67\,252,0 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$B_{\text{эк}} = B_2 - B_3 = 80\,222,6 - 67\,252,0 = 12\,970,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

В денежном выражении затраты на топливо по трем вариантам соответственно составят:

$$З_1 = CB_1/1000 = 200 \cdot 344\,882,24/1000 = 68976,4 \text{ у. е.};$$

$$Z_2 = CB_2/1000 = 200 \cdot 80\,222,6/1000 = 16044,5 \text{ у. е.};$$

$$Z_3 = CB_3/1000 = 200 \cdot 67\,252,0/1000 = 13450,4 \text{ у. е.}$$

Рассчитаем количество вредностей, удаляемых в атмосферу:

$$M_1 = (C_H L_T \cdot 10^{-6}) \eta \tau = (28,6 \cdot 3300 \cdot 10^{-6}) 0,997 \cdot 3760 = 353,8 \text{ т/год};$$

$$M_2 = M_1(1 - \eta) = 353,8(1 - 0,997) = 1,06 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{ндв}} = 0,7M_1 = 0,7 \cdot 353,8 = 247,7 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{штраф}} = C_1(M_1 - M_{\text{ндв}}) = 1500(353,8 - 247,7) = 159\,150 \text{ у. е.}$$

На диаграмме (рис. 2.3) представлены расходы природного газа для трех вариантов термической очистки газовых выбросов.

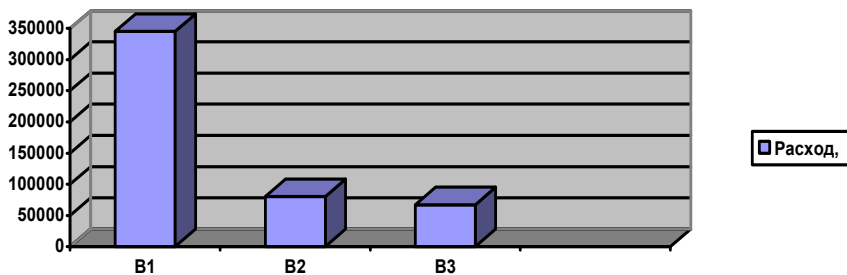


Рис. 2.3. Расход природного газа для трех вариантов термической очистки газовых выбросов, м³/год.

В соответствии с затратами на проведение очистки газовых выбросов делаем вывод о применении метода возврата очищенных газов на технологические нужды, взамен атмосферного воздуха, как наиболее экономически целесообразного.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие методы применяются для термической очистки газовых выбросов?
2. При каких температурах их проводят?
3. Какие есть преимущества и недостатки в этих методах?
4. Зачем производят предварительный нагрев газовой смеси?
5. Какие названия углеводородов вы можете привести, кроме тех, которые используются в данной работе?

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплогазоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. Б. М.Хрусталёва. – Минск : ДизайнПРО, 1997. – 384 с. : ил.
2. Алиев, Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / Г. М.-А. Алиев. – М. : Metallургия, 1986. – 544 с. : ил.
3. Хрусталёв Б. М. Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение : методическое пособие к курсовой работе / Б. М. Хрусталёв, Э. В. Сенькевич, А. И. Можар. – Минск : БГПА, 1995. – 68 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

№ п/п	№ по списку или № зачетной книжки	Вещество	Химическая формула	Теплотворная способность $Q_{н.в.}$, ккал/кг	Стехиометрический объем L_c , м ³ /кг	Температура самовоспаления $t_{сам.}$, °С	Предельно допустимая концентрация (ПДК) C_k , мг/м ³	Нижний предел взрываемости $C_{н.п.в.}$, г/м ³	Коэффициент избытка воздуха, α
1	1–6	Бензол	C ₆ H ₆	9763	13,3	591	5	39,5	1,3
2	7–13	Толуол	C ₇ H ₈	9789	13,5	568	50	49,0	1,5
3	14–20	Ксилол	C ₈ H ₁₀	9853	13,7	563	50	43,5	1,6
4	21–26	Циклогексан	C ₆ H ₁₂	10 480	14,8	270	80	44,0	1,7
5	> 26	Гептан	C ₇ H ₁₆	10 700	15,2	217	1000	38,0	1,8

$$Q_{нв}/ \text{ккал/кг} \cdot 4,2 = Q_{нв} \text{ кДж/кг}$$

Учебное издание

**РАЗРАБОТКА, РАСЧЕТ И ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЕ
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ**

Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Очистка вентиляционных
выбросов и ресурсосбережение»
для студентов специальности «Теплоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»

Составители:

БРАКОВИЧ Игорь Сергеевич
СИЗОВ Валерий Дмитриевич

Редактор *Т. А. Панкрат*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 05.01.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 100. Заказ 1291.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.