

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

Э. И. Дмитриченко, Е. Э. Дмитриченко

**ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЯ
И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2011

УДК 621:502+574(075.8)
ББК 34.69+20.1я73
Д53

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 07.10.2010 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Обработка материалов давлением»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. Ф. Буренков*

Д53 **Дмитриченко, Э. И.**

Основы экологии. Экология и утилизация отходов в машиностроении : практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» заоч. формы обучения / Э. И. Дмитриченко, Е. Э. Дмитриченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 35 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-990-6.

Даны конкретные примеры расчетов циклонов для очистки воздуха на предприятиях от пыли и способ утилизации теплоты в производственных помещениях в условиях экономии с применением экспресс-анализа.

Для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» заочной формы обучения.

**УДК 621:502+574(075.8)
ББК 34.69+20.1я73**

ISBN 978-985-420-990-6

© Дмитриченко Э. И., Дмитриченко Е. Э., 2011
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний является одной из главных задач государства. Полностью безопасных и безвредных производств не существует.

Вредными производственными факторами являются факторы, воздействие которых на работающих в определенных условиях труда приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Такими вредными производственными факторами являются вредные примеси в воздухе, неблагоприятные метеорологические условия, лучистая теплота, вибрации, шум, ионизирующие и лазерные излучения, электромагнитные поля, наличие вредоносных организмов и т. п.

Задачи управления экологической системой должны решаться на основе широкого применения современных методов обработки данных и экономических, а также математических методов, автоматизированных информационных систем учета, анализа и учета выбросов в атмосферу.

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в рабочей зоне помещений: пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадка, где размещаются рабочие места. Устранение воздействия таких вредных производственных факторов, как газов и паров, пыли, избыточной теплоты и влаги и создание здоровой среды является важной хозяйственной задачей, которая должна осуществляться комплексно, одновременно с решением основных вопросов производства.

Воздух рабочей зоны редко имеет в своем составе атмосферный воздух, который содержит по объему в процентах: азота – 78,08; кислорода – 20,95; аргона, неона и других инертных газов – 0,93; углекислого газа – 0,03; прочих газов – 0,01. Многие технологические процессы сопровождаются выделением в воздух производственных помещений и на территорию городов вредных веществ – паров, газов, твердых и жидких частиц.

Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы вещества – дисперсные системы – аэрозоли, которые делятся на пыль, дым, туман.

Причины возникновения пыли на предприятиях машиностроения зависят от технологического процесса, используемого сырья, а также

от промежуточных и конечных продуктов и могут быть самыми разнообразными.

Дым возникает при сжигании топлива в печах и энергоустановках, а туман – при использовании СОЖ, в гальванических и травильных цехах, в зарядных аккумуляторных отделениях.

Для очистки воздуха необходимо знать методы их расчета, а также применение вторичных энергоресурсов.

Практическая работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛОНА

Цель работы: научиться производить расчет основных параметров циклона.

1. Загрязнение атмосферы выбросами машиностроительных предприятий

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды, благоприятное состояние которого представляет естественную основу устойчивого социально-экономического развития республики. Поэтому правовые и организационные основы хозяйственной деятельности в области использования воздушного бассейна закреплены законом «Об охране атмосферного воздуха».

В соответствии с указанным законом качество атмосферного воздуха – это совокупность свойств атмосферного воздуха, определяющих степень воздействия химических, физических и биологических факторов на окружающую среду.

Уровень загрязнения атмосферы определяется концентрацией примесей в приземном слое атмосферы (1,5–2,0 м от поверхности земли) и зависит от технологических и метеорологических факторов.

К технологическим факторам относится расход газовой смеси, ее температура, концентрация примесей в выбросах, высота источников, сечение устья трубы и др.

К метеорологическим факторам, определяющим величину приземной концентрации примесей, можно отнести расположение источника выброса, направление господствующих ветров (роза ветров), их скорость, температура и влажность атмосферного воздуха, наличие инверсии, туманов, осадков и др.

Предельно допустимая концентрация примесей в атмосфере – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

В справочниках приводятся значения максимальной из разовых концентраций (ПДК_{м.р}) и максимальной из среднесуточных концентраций (ПДК_{сс}) по ГОСТ 17.2.1.03–84.

Разовая концентрация – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по пробе, отобранной за 20–30-минутный интервал времени.

Среднесуточная концентрация – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по среднесуточной пробе, которая представляет собой пробу воздуха, отбираемую в течение 24 ч непрерывно или с равными интервалами между отборами, но не менее 4-х раз в сутки.

Для гигиенической оценки загрязнения воздуха применяется комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), учитывающий классы опасности, стандарты качества и средние уровни загрязнения воздуха.

В качестве примера в таблице 1 приводятся сведения по ИЗА для некоторых городов республики в 2010 г.

Таблица 1

Индексы загрязнения атмосферы для некоторых городов республики

Город	ИЗА	Приоритетные примеси для данного города
Бобруйск	6,3	Формальдегид, оксид углерода, диоксид азота, пыль, оксид азота, фенол
Брест	4,5	Формальдегид, оксид углерода, диоксид азота, пыль, диоксид серы
Витебск	8,3	Диоксид азота, пыль, ацетон, формальдегид, аммиак
Гомель	4,5	Диоксид и оксиды азота, пыль, формальдегид, аммиак, фенол
Гродно	4,1	Диоксид азота, пыль, аммиак, оксид азота, оксид углерода, формальдегид
Могилев	8,8	Диоксид и оксиды азота, формальдегид, оксид углерода, фенол, сероуглерод
Новополоцк	5,1	Формальдегид, диоксид азота, аммиак, оксид углерода
Минск	3,0	Формальдегид, аммиак, диоксид азота, оксид углерода, пыль

Важнейшим условием сохранения высокой работоспособности, обеспечения комфортных условий труда является наиболее благоприятный газовый состав воздуха, оптимальное соотношение отрицательных и положительных аэроионов, определенные метеорологические условия и др.

Основными технологическими процессами, являющимися источниками загрязнения окружающей воздушной среды, изменения его газового состава являются:

- механическая обработка материалов (в том числе пескоструйная обработка, дробление, размол, транспортировка измельченного материала и т. п.);
- металлизация и травление деталей и изделий в растворах кислот, щелочей и солей;
- нанесение защитных покрытий с использованием различных красок, лаков, эпоксидных и других смол;
- обезжиривание поверхностей в органических растворителях;
- газо- и электросварка, лужение и пайка, упаковка, изготовление тары и др.

В настоящее время в целом по промышленности улавливается около 90 % пыли, образующейся на различных стадиях производства, и только 10 % различных аэрозолей выбрасывается в атмосферный воздух.

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих заготовительные и кузнечно-прессовые цехи, цехи термической и механической обработки металлов, цехи покрытий и литейное производство. В состав предприятий также входят испытательные станции, тепловые энергетические цехи и вспомогательные подразделения. В процессе производства машин и оборудования широко используются сварочные работы, механическая обработка металлов, лакокрасочные операции, термические покрытия и т. п.

На машиностроительных предприятиях в цехах горячей и холодной обработки металлов в воздух производственных помещений выделяется много пыли, токсичных и раздражающих газов.

В литейных цехах пыль образуется при процессах приготовления формовочной и стержневой массы, очистке и обрубке литья и т. д. Токсичные вещества выделяются при плавке и заливке металла, сушке ковшей, изготовлении стержней и при других процессах.

В кузнечных цехах пыль в виде сажи выделяется при неудовлетворительном отводе продуктов горения. Вредными веществами являются окись углерода и сернистый газ.

В термических цехах для улучшения поверхностного слоя металла изделий используются химические процессы: цементация, азотирование, цианирование и др. При этом вентиляционный воздух выбрасывается с парами масла, аммиаков, цианистого водорода и др. Процесс цементации протекает в порошкообразной среде – смеси древесного угля с содой, либо в ваннах с цианидом натрия и калия,

либо в потоке аммиака в печах. При этом могут выделяться как пыль, так и вредные газы. Источниками загрязнений окружающей среды в термических цехах являются нагревательные печи, работающие на жидком и газообразном топливе. Продукты сгорания топлива из печей обычно выбрасываются в атмосферу через трубы без специальной очистки. Концентрация пыли в воздухе, улавливаемом из дробеструйных и дробеметных камер, где металл очищается после термической обработки, достигает $2-7 \text{ г/м}^3$.

В гальванических цехах изделия перед нанесением покрытий (хромирование, цианистое цинкование и др.) изделия подвергаются травлению растворами серной, соляной, азотной и плавиковой кислотами, что является причиной загрязнения воздуха туманами используемых кислот. Концентрация туманов кислот в вентиляционном воздухе ванн травления составляет $30-500 \text{ мг/м}^3$. Операции воронения, фосфотирования и т. п. сопровождаются выделением в воздух помещения различных вредных веществ. Особой токсичностью отличаются растворы цианистых солей, хромовой и азотной кислот и др. Концентрация вредных веществ (HCl , H_2SO_4 , HCN , Cr_2O_3 , NO_2 , NaOH и др.) в удаляемом от гальванических ванн воздухе колеблется иногда в довольно значительных пределах, что требует специальной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу. Анализ дисперсного состава туманов показал, что размер частиц находится в пределах $5-7 \text{ мкм}$ при травлении, $8-10 \text{ мкм}$ при хромировании и $5-8 \text{ мкм}$ при цианистом цинковании.

В механических цехах обработка на станках сопровождается выделением пыли, стружки, туманов масел и эмульсий, которые через вентиляционную систему выбрасываются из производственных помещений и участков. В результате механического разбрызгивания и испарения СОЖ, так как температура режущего инструмента и детали, орошаемых СОЖ, может достигать нескольких сотен градусов, ее компоненты поступают в воздух в виде масляных и других аэрозолей, а также сложных парогазовых смесей. При шлифовании и полировании поверхностей выделяются тонкодисперсные пыли, а при деревообработке – большое количество опилок, стружки и древесной пыли. Пыль, образующаяся в процессе абразивной обработки, на $30-40 \%$ состоит из материала абразивного круга, на $60-70 \%$ – из обрабатываемого материала. Вдыхание их может быть причиной раздражающего влияния на органы дыхания, легочную ткань, а также неблагоприятного воздействия на другие системы организма.

В механосборочных цехах выполняются сварочные процессы, а также гальванические и малярные операции. При сварке обычно образуется сварочная аэрозоль сложного состава, а также токсичные газы (NO_2 , CO и др.) и пыли. Электродуговая сварка электродами с покрытиями и сварка в защитных газах плавящимся электродом сопровождается выделением мелкодисперсной пыли. Химический состав выделяющихся при сварке загрязнений зависит от состава сварочных материалов (проволоки, покрытий, флюсов) и в меньшей степени – от свариваемых металлов. Процесс гальванического покрытия осуществляется в ваннах, заполненных кислым (сульфаты никеля, цинка, меди) или щелочным (цианиды меди, цинка, кадмия, алюминия) электролитом. Процесс сопровождается выделением пузырьков газов – водорода, кислорода, уносящих в воздух производственных помещений пары и мелкие капельки электролита. Обычно перед гальваническим покрытием изделия очищают от жирных загрязнений и оксидов промывкой в растворителях или травлением в разбавленных растворах кислот.

Количество паров воды, туманов масел и эмульсий, выделяющихся за 1 ч при работе станков в расчете на 1 кВт мощности устанавливаемых на станках электродвигателей, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрация выбросов при работе металлорежущего оборудования

Оборудование	Пары воды, г	Масляный туман, г	Туман эмульсий, г
Металлорежущие станки при масляном охлаждении	–	0,2	–
Металлорежущие станки при эмульсионном охлаждении	150	–	0,0063
Шлифовальные станки при охлаждении эмульсией и содовым раствором	150	–	0,165
Шлифовальные станки при охлаждении маслом	–	30	–

Малярным работам предшествуют механическая очистка изделия щетками, наждачной бумагой и другими средствами, обезжиривание в растворителях и растворах щелочей. Лаки и краски наносят пульверизацией (распылением в воздушной струе), в электростатическом поле и др. При сварке, подготовительных операциях и малярных работах в воздух выделяются токсичные пары и аэрозоль.

Количество выделяющейся пыли зависит от размеров и твердости обрабатываемого материала, диаметра и окружной скорости круга, а также способа подачи изделия. При зачистке и шлифовке изделий выделяется более 50 г/ч пыли с одного станка. При заточке инструмента пыль имеет следующий фракционный состав, представленный в таблице 3.

Таблица 3

Состав пыли при заточке инструмента

Размер частиц, мкм	Фракционный состав, %
1–5	13,0
5–10	12,1
10–20	22,8
20–40	22,9
40–60	21,8
≥ 60	7,4

Пыль в зависимости от ее состава и вида может оказывать также неблагоприятное воздействие на кожу и глаза. Пыль классифицируется по токсичности и дисперсности.

К ядовитой или токсичной пыли относятся: свинцовая, марганцевая, хромовая и др. Эта пыль, попадая в организм или оседая на коже, может вызвать острое или хроническое отравление. Вредное действие пыли усугубляется при увеличении ее концентрации. Концентрация пыли в воздухе определяется ее массовым содержанием (мг/м^3) или частиц пыли, находящихся в 1 см^3 .

По дисперсности (степени измельченности) различают следующий состав пыли:

- крупнодисперсную – с частицами размером более 10 мкм, оседающими в неподвижном воздухе с возрастающей быстротой (в этом случае сила тяжести частицы превышает силу тяжести ее в окружающей среде);

- среднедисперсную – с частицами размером от 10 до 5 мкм, медленно оседающими в неподвижном воздухе;

- мелкодисперсную – с частицами менее 5 мкм, почти не оседающими и быстросеивающимися в окружающей среде.

Мелкодисперсная пыль представляет для организма наибольшую опасность, поскольку она не задерживается в верхних дыхательных путях и, проникая в легкие, оседает в них. Крупные и средние частицы пыли в легкие попадают крайне редко – они задерживаются в верхних дыхательных путях.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), указанных в таблицах ГОСТ 12.1.005–75.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации, которые при ежедневной восьмичасовой (кроме выходных дней) работе или при другой продолжительности (но не более 41 ч в неделю) в течение всего рабочего стажа не вызывают заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Стандарт устанавливает ПДК более чем для 700 видов вредных веществ.

2. Параметры процесса пылеулавливания

Основные меры защиты атмосферы от загрязнений промышленными пылью и туманами предусматривают широкое использование пыле- и туманоулавливающих аппаратов и систем. Исходя из современной классификации пылеулавливающих систем, основанной на принципиальных особенностях процесса очистки, пылеочистное оборудование разделяется на четыре группы: сухие пылеуловители, мокрые пылеуловители, электрофильтры и фильтры.

В соответствии с ГОСТ 12.2.043–80 пылеулавливающее оборудование в зависимости от способа отделения пыли от газовоздушного потока делится на сухое, когда частицы пыли осаждаются на сухую поверхность, и мокрое, когда отделение частиц пыли производится с использованием жидкостей.

Таблица 4

Разновидность пылеуловителей

Группа оборудования	Вид оборудования	
	Сухой способ	Мокрый способ
Гравитационное	Полое, полочное	–
Инерционное	Камерное, жалюзийное, циклонное, ротационное	Циклонное, ротационное, скрубберное, ударное
Фильтрационное	Тканевое, волокнистое, зернистое, сетчатое, губчатое	Сетчатое, пенное
Электрическое	Однозонное, двухзонное	Однозонное, двухзонное

Пылеуловители различных типов применяют при повышенных концентрациях примесей в воздухе. Фильтры используются для тонкой очистки воздуха с концентрацией примесей менее 100 мг/м³. Если требуется тонкая очистка воздуха при высоких начальных концентра-

циях примесей, то очистку производят в системе последовательно соединенных пылеуловителей и фильтров.

Выбор типа пылеуловителя обусловлен степенью запыленности газа, дисперсностью частиц и требованиями к степени его очистки.

В основе работы сухих аппаратов лежат гравитационные, инерционные и центробежные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. В мокрых пылеуловителях осуществляется контакт запыленных газов с жидкостью. При этом осаждение происходит на капли, на поверхность газовых пузырей или на пленку жидкости. В электрофильтрах отделение заряженных частиц аэрозоля происходит на осадительных электродах.

Процесс очистки газов от твердых и капельных примесей в различных аппаратах характеризуется рядом параметров, в том числе общей эффективностью очистки

$$\eta = (C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}) / C_{\text{ВХ}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ВХ}}$ и $C_{\text{ВЫХ}}$ – массовые концентрации примесей в газе до и после пылеуловителя (фильтра).

Если очистка ведется в системе последовательно соединенных аппаратов, то общая эффективность будет равна:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (2)$$

где η_1, η_2, η_n – эффективность очистки первого, второго, n -го аппаратов.

Для оценки эффективности процесса очистки используется коэффициент проскока частиц через пылеуловитель

$$K = C_{\text{ВЫХ}} / C_{\text{ВХ}}. \quad (3)$$

Коэффициент проскока и эффективность очистки связаны соотношением

$$K = 1 - \eta. \quad (4)$$

Гидравлическое сопротивление пылеуловителей определяется как разность давлений воздушного потока на входе и выходе из аппарата и рассчитывается по формуле

$$\Delta p = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}} = \frac{\varphi \rho \omega^2}{2}, \quad (5)$$

где φ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; ω – скорость воздуха в расчетном сечении аппарата, м/с .

Скорость фильтрации определяется отношением объемного расхода фильтруемого газа к площади фильтрования

$$\omega = Q_v / F. \quad (6)$$

Скорость фильтрации позволяет оценить удельную массовую пропускную способность фильтрующих материалов, которая численно равна произведению ($\rho \omega$).

Величина гидравлического сопротивления имеет большое значение для расчета гидравлического сопротивления всей пневмосистемы и определяет мощность привода устройства для подачи воздуха к пылеуловителю.

3. Характеристики и типы циклонов

Циклонные аппараты наиболее распространены в промышленности. Они имеют следующие достоинства:

- отсутствие движущихся частей в аппарате;
- надежность работы при температурах газов вплоть до 500 °С (для работы при более высоких температурах циклоны изготавливают из специальных материалов);
- возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями;
- улавливание пыли в сухом виде;
- почти постоянное гидравлическое сопротивление аппарата;
- успешная работа при высоких давлениях газов;
- простота изготовления;
- сохранение высокой фракционной эффективности очистки при увеличении запыленности газов.

Также циклоны имеют недостатки:

- высокое гидравлическое сопротивление 1250–1500 Па;
- плохое улавливание частиц размером меньше 5 мкм;
- возможность использования для очистки газов от липких загрязнений.

К сухим пылеуловителям относятся все аппараты, в которых отделение частиц примесей от воздушного потока происходит механическим путем за счет сил гравитации и инерции Кориолиса. Конструктивно сухие пылеуловители разделяются на циклоны, ротационные, вихревые, радиальные, жалюзийные и др. (рис. 1). Практическая очистка газа от пыли решается цилиндрическими (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24) и коническими (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М, СДК-ЦН-33) (рис. 1)

циклонами. Для циклонов принят следующий ряд внутренних диаметров D , мм: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400 и 3000.

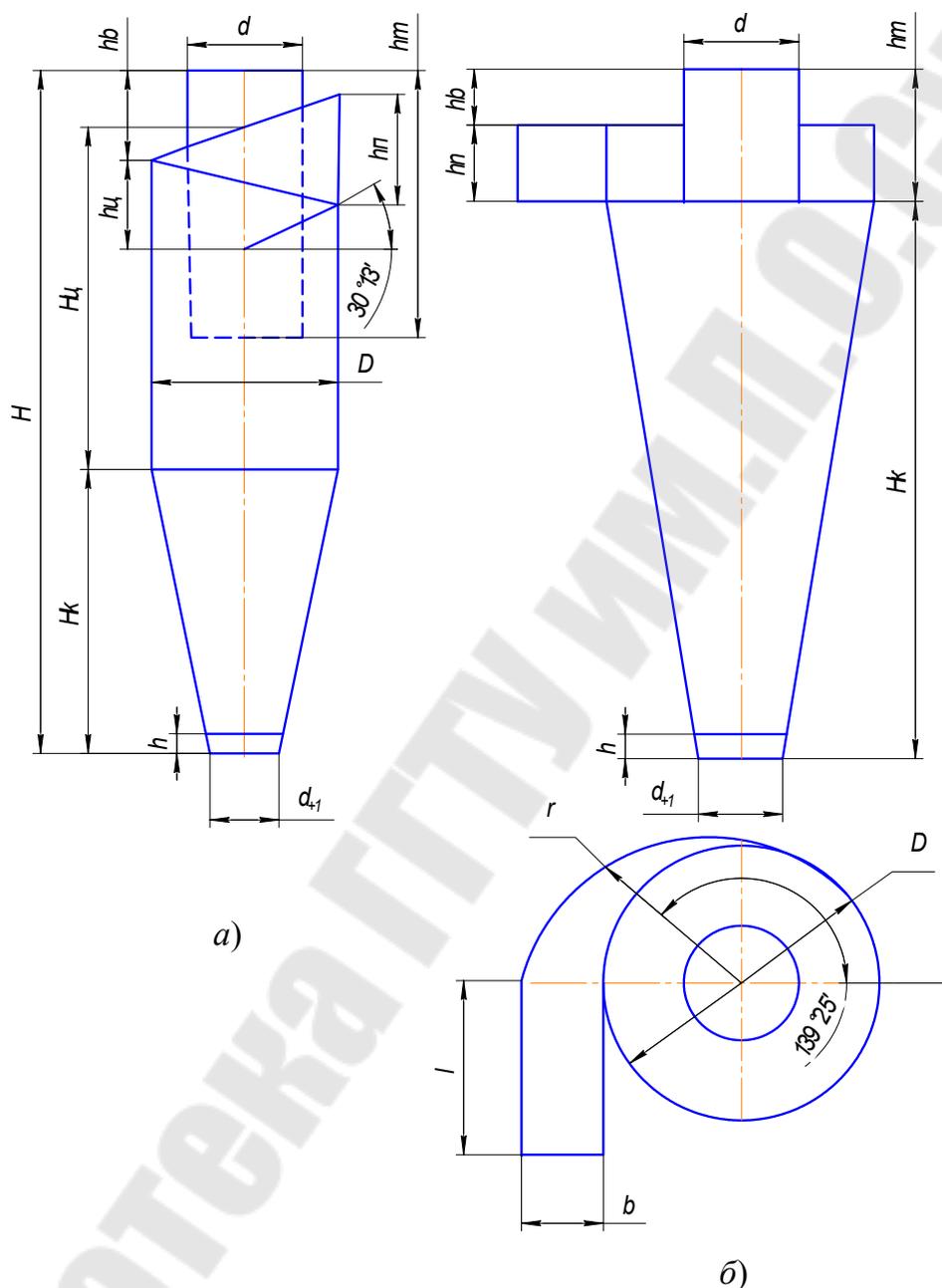


Рис. 1. Цилиндрический (а) и конический (б) циклоны

Для всех циклонов бункеры выполняются цилиндрической формы диаметром D_6 , равным $1,5D$ для цилиндрических и $(1,1-1,2)D$ для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера составляет $0,8D$, днище бункера выполняется с углом 60° между стенками, выходное отверстие бункера имеет диаметр 250 или 500 мм.

Циклоны предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем, золы из дымовых газов котельных, работающих на твердом топливе, пыли из сушилок и т. п. при начальной запыленности от 0,3 до 4000 г/м³. Избыточное давление газа, поступающего в циклоны, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30–50 °С выше точки росы, а по условиям прочности конструкции – не выше 400 °С.

Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с размером диаметра. Эффективность улавливания частиц пыли в циклоне прямо пропорциональна скорости газов в степени 1/2 и обратно пропорциональна диаметру аппарата в степени 1/2. Процесс целесообразно вести при больших скоростях и небольших диаметрах. Однако увеличение скорости может привести к уносу пыли из циклона и резкому увеличению гидравлического сопротивления. Поэтому целесообразно увеличивать эффективность циклона за счет уменьшения диаметра аппарата, а не за счет скорости газов. Оптимальным соотношением будет $H/D = 2-3$.

В промышленности принято разделять циклоны на высокоэффективные и высокопроизводительные. Первые – эффективны, но требуют больших затрат на осуществление процесса очистки; циклоны второго типа имеют небольшое гидравлическое сопротивление, но хуже улавливают мелкие частицы. Цилиндрические аппараты относятся к высокопроизводительным циклонам, а конические – к высокоэффективным.

Очистка газа производится следующим образом. Газовый поток вводится в циклон через патрубок 2 (рис. 2) по касательной к внутренней поверхности корпуса 1 и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру 4. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит за счет поворота газового потока в бункере на 180°.

Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит из бункера, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу 3. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сот, а то и в тысячу раз больше ускорения силы тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за газом, а под влиянием центробежной силы движутся к стенке.

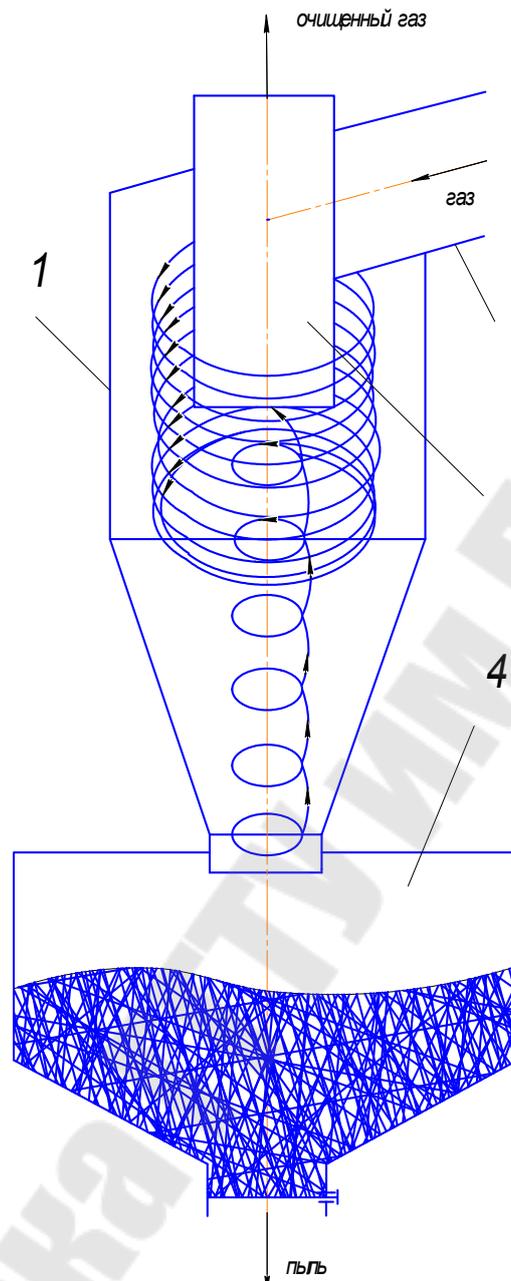


Рис. 2. Схема работы цилиндрического циклона

4. Расчет циклона цилиндрического и конического типа

Исходные данные:

- количество очищаемого газа Q_v , м³/с;
- плотность газа при рабочих условиях ρ , кг/м²;
- вязкость газа при рабочей температуре μ , Па·с;
- дисперсный состав пыли d , м;
- входная концентрация пыли $C_{вх}$, г/м²;

- плотность частиц пыли $\rho_{ч}$, кг/м³;
- требуемая эффективность очистки газа η .

По типу циклона определяют оптимальную скорость движения газа в сечении циклона по таблице 5.

Таблица 5

Определение скорости газа

Тип циклона	ω_0 , м/с
ЦН-24	4,5
ЦН-15У	3,5
ЦН-15	3,5
ЦН-11	3,5
СДК-ЦН-33	2,0
СК-ЦН-34	1,7
СК-ЦН-34М	2,0

Вычисляют диаметр циклона по формуле

$$D = \sqrt{4Q_v / (\pi \omega_0)}, \quad (7)$$

где D – диаметр циклона, м.

Полученное значение D округляют до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона. Если расчетный диаметр циклона превышает максимально допустимое значение, то необходимо применить два или более параллельно установленных циклона.

По выбранному диаметру циклона находят действительную скорость движения газа в циклоне

$$\omega = 4Q_v / (\pi n D^2), \quad (8)$$

где ω – действительная скорость движения газа в циклоне, м/с; n – число циклонов.

Определяют коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона

$$\varphi = K_1 K_2 \varphi_{500}, \quad (9)$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 6); K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 7); φ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 8).

Таблица 6

Определение коэффициента K_1

Тип циклона	Значения K_1 для D , мм								
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
ЦН-11	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
ЦН-15; ЦН-15У; ЦН-24	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,0
СДК-ЦН-33; СК-ЦН-34; СК-ЦН-34М	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 7

Определение коэффициента K_2

Тип циклона	Значения K_2 при $C_{вх}$, г/м ³									
	100	400	700	1000	1300	1600	1900	2200	2900	3200
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,78	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72
СК-ЦН-34	1	0,98	0,94	0,90	0,915	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85

Таблица 8

Значения коэффициента гидравлического сопротивления φ_{500}

Тип циклона	Значения φ_{500}	
	при выхлопе в атмосферу	при выхлопе в гидравлическую сеть
ЦН-11	250	245
ЦН-15	163	155
ЦН-15У	170	165
ЦН-24	80	75
СДК-ЦН-33	600	520
СК-ЦН-34	1150	1050
СК-ЦН-34М	2000	–

Для четных вариантов принимается выхлоп в атмосферу; для нечетных – выхлоп в гидравлическую сеть.

Гидравлическое сопротивление определяется по формуле

$$\Delta p = \frac{\varphi \rho \omega^2}{2}, \quad (10)$$

где Δp – гидравлическое сопротивление, Па.

Эффективность очистки газа в циклоне

$$\eta = 0,5 [1 + \Phi(x)], \quad (11)$$

где $\Phi(x)$ – табличная функция от параметра x , равного

$$x = \frac{\lg(d/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta + \lg^2 \delta_\varepsilon}}, \quad (12)$$

где d – усредненный диаметр частиц пыли, м; δ – среднеквадратическое отклонение; δ_ε – степень полидисперсности пыли.

Для характеристики пылей и сравнения их между собой достаточно иметь два параметра: d – средний диаметр и δ_ε – степень полидисперсности пыли.

Важным параметром пыли является ее плотность. Различают истинную и кажущуюся плотность частиц пыли, а также насыпную плотность слоя пыли. Кажущаяся плотность частицы представляет собой отношение ее массы к объему.

Значения усредненного диаметра частиц пыли, среднеквадратических отклонений и степени полидисперсности пыли определяются по данным таблицы 9.

Таблица 9

**Значения среднего диаметра частиц пыли
и среднеквадратического отклонения при очистке газа**

Тип циклона	Диаметр частиц d , мкм	Среднеквадратическое отклонение δ	Степень полидисперсности пыли δ_ε
ЦН-24	8,5	0,308	0,126
ЦН-15У	6,0	0,283	0,253
ЦН-15	4,5	0,352	0,385
ЦН-11	3,65	0,352	0,405
СДК-ЦН-33	2,31	0,364	0,475
СК-ЦН-34	1,95	0,308	0,524
СК-ЦН-34М	1,3	0,340	0,605

Значения d_{50} определяются по условиям работы типового циклона с учетом влияния отклонений условий работы по соотношению

$$d_{50} = d \sqrt{(D/D_T)(\rho_T/\rho)(\mu/\mu_T)(\omega_T/\omega)}, \quad (13)$$

где $D_T = 0,6$ м; $\rho_T = 1930$ кг/м³; $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\omega_T = 3,5$ м/с.

Определив значение x по приведенным формулам, находим значение табличной функции $\Phi(x)$ по данным таблицы 10.

Таблица 10

Значения функции $\Phi(x)$ от параметра x

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,7	-0,0035	-0,6	0,2743	1,0	0,8413
-2,0	0,0228	-0,4	0,3446	1,2	0,8849
-1,8	0,0359	-0,2	0,4207	1,4	0,9192
-1,6	0,0548	0	0,5000	1,6	0,9452
-1,4	0,0808	0,2	0,5793	1,8	0,9641
-1,2	0,1151	0,4	0,6554	2,0	0,9772
-1,0	0,1587	0,6	0,7257	2,7	0,9965
-0,8	0,2119	0,8	0,7881	—	—

Определяем значение эффективности очистки газа циклоном и делаем вывод. Если расчетное значение η окажется меньше необходимого по условиям допустимого выброса пыли в атмосферу, то нужно выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления.

Определяем производительность очистки газа циклоном

$$Q_v = \frac{400\pi b \omega^2 \rho_q d^2}{\rho v}, \quad (14)$$

где v – коэффициент кинематической вязкости воздуха; $v = 14,108$ м²/с; b – приведенная ширина всасывающего отверстия пылеуловителя, м:

$$b = D^2/(8R), \quad (15)$$

где R – радиус отверстия пылеуловителя, м.

Критический диаметр минимальной улавливаемой частицы пыли в пылеуловителе в этом случае

$$d_{\min} = \frac{1}{20\omega} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_q} \frac{Q_v}{\pi b}}. \quad (16)$$

Удельный расход энергии на перемещение 1000 м^3 очищаемого воздуха при известном гидравлическом сопротивлении, КПД пылеуловителя и КПД электродвигателя $\eta_3 = 0,9$ связаны соотношением

$$\Xi = \frac{Q_v \Delta p}{\eta \eta_3}. \quad (17)$$

Исходные данные по вариантам для расчета эффективности работы циклона по очистке газа представлены в таблице 11.

Таблица 11

Исходные данные

Вариант	Тип циклона	$Q_v, \text{ м}^3/\text{с}$	$\rho_{\text{ч}}, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\mu, 10^{-6} \cdot \text{Па} \cdot \text{с}$	$C_{\text{вх}}, \text{ г}/\text{м}^3$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	η
1	ЦН-11	10	2400	20,2	100	1,29	0,83
2	ЦН-15	11	2300	21,2	200	1,30	0,85
3	ЦН-15У	12	2200	22,2	300	1,31	0,87
4	ЦН-24	13	2100	23,0	400	1,32	0,89
5	СДК-ЦН-33	14	2000	23,2	500	1,33	0,91
6	СК-ЦН-34	15	1980	23,6	600	1,34	0,93
7	СК-ЦН-34М	16	1900	23,8	700	1,35	0,90
8	СК-ЦН-34М	17	1790	23,9	800	1,29	0,91
9	СК-ЦН-34	18	1800	24,0	900	1,35	0,89
10	СДК-ЦН-33	19	1850	23,8	1000	1,34	0,90
11	ЦН-24	20	1870	23,4	120	1,33	0,89
12	ЦН-15У	21	1930	23,2	140	1,32	0,92
13	ЦН-15	22	1980	23,0	160	1,31	0,90
14	ЦН-11	23	2000	22,8	180	1,30	0,88
15	ЦН-11	24	2100	22,6	200	1,29	0,86
16	ЦН-15	25	2200	22,4	220	1,31	0,84
17	ЦН-15У	24	2300	22,2	240	1,32	0,82
18	ЦН-24	23	2400	22,0	260	1,33	0,80
19	СДК-ЦН-33	22	2500	21,8	280	1,34	0,84
20	СК-ЦН-34	21	1860	21,6	300	1,35	0,85
21	СК-ЦН-34М	20	1850	21,4	320	1,29	0,86
22	СК-ЦН-34М	19	1840	21,2	340	1,30	0,87
23	СК-ЦН-34	18	1900	21,0	360	1,31	0,88
24	СДК-ЦН-33	17	1980	20,8	380	1,32	0,89
25	ЦН-11	16	2000	20,6	400	1,33	0,90

5. Контрольные вопросы

1. Чем определяется качество атмосферного воздуха?
2. Чем характеризуется уровень загрязнения воздуха?
3. Как влияют метеорологические и технологические факторы на качество воздуха?
4. Дайте определение предельно допустимой концентрации примесей.
5. Дайте определение разовой и среднесуточной концентрации примесей в атмосфере.
6. Чем определяется гигиеническая оценка атмосферы воздуха?
7. Назовите технологические источники загрязнения окружающей среды.
8. Выделение загрязнений из литейных и кузнечных цехов.
9. Загрязнения из термических и гальванических цехов в атмосферу.
10. Какие загрязнения образуются в механических и механосборочных цехах?
11. Какие пыли являются токсичными, распределение пыли по дисперсности?
12. Перечислите группы пылеулавливающих аппаратов и систем.
13. Перечислите параметры, характеризующие процесс очистки газов от пыли и капельных примесей.
14. Назовите преимущества и недостатки циклонных аппаратов.
15. Назовите конструктивные разновидности сухих пылеуловителей, их модели и основные параметры.
16. Дайте характеристику циклонов по производительности.
17. Опишите работу циклона.
18. От чего зависит производительность очистки газа циклоном?

Практическая работа № 2

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Цель работы: научиться рассчитывать системы утилизации теплоты.

1. Вторичные энергетические ресурсы

Состояние экономики любого государства и, как следствие, жизненный уровень населения во многом определяются наличием за-

пасов топливно-энергетических ресурсов и эффективностью их использования. В Республике Беларусь без эффективного использования топлива, теплоты, энергии, вторичных энергетических ресурсов невозможно производить конкурентоспособную продукцию. Под вторичными энергетическими ресурсами принято понимать энергетический потенциал продукции, отходов и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках, процессах), который не используется в самих агрегатах, но может быть полностью или частично использован для утилизации и энергосбережения других агрегатов или процессов. Выход вторичных энергетических ресурсов – это количество вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенную единицу времени и годны к использованию в данный период времени. Выработкой за счет вторичных энергетических ресурсов называется количество теплоты, холода, электроэнергии, полученное за счет вторичных энергетических ресурсов в утилизационной установке.

В связи с этим вторичные энергетические ресурсы по видам делятся на три основные группы:

- горючие (топливные), представляющие собой побочные горючие газы, жидкости, твердые отходы, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве топлива;

- тепловые, представляющие физическую теплоту отходящих газов, сточных вод, основной и побочной продукции, рабочих тел систем охлаждения и т. п.;

- избыточного давления, представляющего собой потенциальную энергию газов и жидкостей, выходящих из технологического агрегата с избыточным давлением, которое необходимо снижать перед их использованием или выбросом в атмосферу.

Вентиляционные системы являются элементами технологических установок и средством санитарно-гигиенических параметров помещений, цехов. Микроклимат (метеорологические условия) на рабочем месте в производственных помещениях определяется температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением и интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей. Значительными избытками явного тепла считаются избытки, превышающие $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

В настоящее время наиболее широко используются на производстве тепловые вторичные энергетические ресурсы, которые чаще всего используются для предварительного подогрева, при этом при-

меняются различные теплообменники и рекуператоры теплоты для утилизации газов.

Системы утилизации теплоты удаляемого воздуха низкой температуры, как правило, не обеспечивают подогрев наружного воздуха с отрицательными температурами до расчетной температуры притока. Требуемая температура приточного воздуха должна поддерживаться за счет теплоты первичного централизованного источника тепла на подогрев:

- промежуточного теплоносителя в системе утилизации теплоты с подогревом промежуточного теплоносителя (СУПТ с подогревом);
- приточного воздуха в дополнительных водоподогревателях в системах утилизации теплоты без подогрева промежуточного теплоносителя (СУПТ без подогрева).

Целесообразность применения одной из этих схем определяется технико-экономическими расчетами. Обе системы утилизации теплоты требуют дополнительных капитальных вложений, величина которых весьма значительна и в ряде случаев сводит на нет экономический эффект, достигаемый за счет утилизации теплоты. Поэтому предварительно необходимо оценить целесообразность использования теплоты вентиляционных выбросов для нагрева приточного воздуха систем вентиляции и воздушного отопления.

2. Оценка экономической эффективности методом экспресс-анализа

Оценку осуществляют согласно методу экспресс-анализа экономической эффективности и целесообразности утилизации теплоты удаляемого воздуха. Целесообразность утилизации тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР) для нагревания приточного воздуха систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления не требует подтверждения технико-экономическим расчетом при

$$(t_y - t_{co}) \tau C_T (\varepsilon / \psi \varphi) 10^{-6} \geq A, \quad (18)$$

где t_y – средняя температура энергосистем ВЭР (температура удаляемого воздуха), °С; t_{co} – средняя начальная температура приточного воздуха (при отсутствии предварительного подогрева или смешении приточного воздуха с рециркуляционным принимается равной средней за отопительный период температуре наружного воздуха), °С; τ – число часов работы системы в течение отопительного периода, ч/год; C_T – стоимость тепловой энергии, р./ГДж; ε – коэффициент, учиты-

вающий коэффициент эффективности теплообмена в теплоутилизаторах: воздуховоздушный $\varepsilon = 0,5$; ψ – коэффициент, учитывающий относительную величину дополнительных капитальных затрат в зависимости от особенностей источников ВЭР: для жидких энергоносителей тепловых технологических установок (охлаждающая вода-конденсат), $\psi = 0,3$; для газовых носителей тепловых установок (отходящие газы печей, котлов и т. п.), $\psi = 2,0$; для воздуха, удаляемого системами вентиляции, $\psi = 0,5(1+100000/L)$, где L – средняя производительность вентиляционных систем, оборудованных теплоутилизаторами, $\text{м}^3/\text{ч}$; ϕ – коэффициент, учитывающий эффективность использования тепла источником теплоснабжения: для вариантов 1–8 при теплоснабжении от ТЭЦ в зависимости от удельной выработки электроэнергии на тепловом теплообменнике в пределах 0,3–0,6, соответственно, $\phi = 1,2–1,4$; для вариантов 9–12 при теплоснабжении от крупных районных и промышленных котельных, $\phi = 1$; для вариантов 13–25 при теплоснабжении от мелких котельных с КПД, равным 55–75 %, соответственно $\phi = 0,6–0,8$; A – постоянная, при односменной работе систем $A = 0,08$; при двухсменной работе $A = 0,12$; при трехсменной работе $A = 0,16$.

Микроклимат (метеорологические условия) на рабочем месте в производственных помещениях определяется температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением и интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей.

Чтобы создать в производственных помещениях нормальные метеорологические условия, удалить из них вредные газы и пары, пыль необходимо правильно спроектировать и надлежащим образом эксплуатировать вентиляционную систему.

Работа вентиляционных систем в комплексе с выбором технологических процессов и производственного оборудования должна создавать на постоянных рабочих местах, в рабочих и обслуживаемых зонах помещений метеорологические условия и чистоту воздушной среды, соответствующие действующим санитарным нормам.

Вместе с тем, вентиляция должна обеспечивать условия, отвечающие требованиям технологического процесса, сохранения оборудования и строительных конструкций зданий.

Вентиляция – это организованный воздухообмен в помещениях, по способу перемещения воздуха подразделяется на естественную и механическую, а также возможно их сочетание – смешанная вентиляция.

Естественная вентиляция подразделяется на аэрацию и проветривание.

Механическая вентиляция в зависимости от направления воздушных потоков бывает вытяжной (отсасывающей), приточной (нагнетающей) и приточно-вытяжной.

3. Расчет систем утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем

Продолжительность отопительного периода определяется по формуле

$$\tau_{от} = 24 n T, \quad (19)$$

где $\tau_{от}$ – продолжительность отопительного периода, ч; T – продолжительность отопительного сезона, ч; n – коэффициент; для трехсменной работы $n = 0,69$; для двухсменной работы $n = 0,46$; для односменной работы $n = 0,23$.

Степень суровости наружного климата в холодный период года оценивается произведением (табл. 12):

$$\tau = \tau_{от} \Theta, \quad (20)$$

где Θ – среднегодовая температура наружного воздуха, °С.

Определяется средняя температура двух потоков воздуха вытяжной и приточной установок по формуле

$$t_{в}^{cp} = (t_{в.н2} + t_{в.н1})/2, \quad (21)$$

где $t_{в.н1}$, $t_{в.н2}$ – температура наружного и внутреннего воздуха соответственно, °С.

Таблица 12

Климатические данные по областям Беларуси

Область	Среднегодовая температура наружного воздуха Θ , °С	Средняя температура за отопительный период t_{cp} , °С		Продолжительность отопительного периода T , сут	
		при $t_{сут} < 6$ °С	при $t_{сут} < 10$ °С	при $t_{сут} < 6$ °С	при $t_{сут} < 10$ °С
Брестская	7,3	0,2	0,8	187	205
Гомельская	6,2	-1,6	-0,8	194	212
Витебская	5,1	-2,0	-1,4	207	222
Гродненская	6,5	-0,5	0,4	194	213
Минская	5,5	-1,6	-0,9	202	220
Могилевская	5,4	-1,9	-1,2	204	221

Если $t_B^{cp} \geq 2 \text{ }^\circ\text{C}$, то в качестве промежуточного теплоносителя используется вода плотностью $\rho_B = 998,2 \text{ кг/м}^3$ и теплоемкостью $c_B = 1,9 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; если $t_B^{cp} < 2 \text{ }^\circ\text{C}$, то в качестве промежуточного теплоносителя принимается незамерзающий раствор CaCl_2 плотностью $\rho_{н.р} = 1489 \text{ кг/м}^3$ и теплоемкостью $c_{н.р} = 71,88 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Температура замерзания раствора CaCl_2 принимается равной $t_{ж}^{зам} = t_{в.н1}$.

Расход промежуточного теплоносителя определяется по формуле

$$G = \frac{G_{B1} c}{G_{B2} W}, \quad (22)$$

где G_{B1} и G_{B2} – массовый расход воздуха, кг/ч; c – теплоемкость воздуха, $c = 1,009 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; W – отношение водяных эквивалентов для большего расхода воздуха, $W = 1 \text{ м/(с} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Скорость движения промежуточного теплоносителя в трубках теплоутилизатора приточной и вытяжной установок определяется по формулам:

$$w_1 = \frac{G}{3600\rho f_{ж1}}; \quad w_2 = \frac{G}{3600\rho f_{ж2}}, \quad (23)$$

где ρ – плотность воздуха, $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $f_{ж1}$ и $f_{ж2}$ – сечение прохода по первому и второму теплоносителю соответственно, м^2 .

Массовые скорости движения воздуха во фронтальном сечении теплообменников приточной и вытяжной установок рассчитываются по формулам:

$$(v\rho)_1 = \frac{G}{3600 f_{фр1}}; \quad (v\rho)_2 = \frac{G}{3600 f_{фр2}}, \quad (24)$$

где $f_{фр1}$ и $f_{фр2}$ – сечение фронтального прохода по воздуху первого и второго теплоносителя соответственно, м^2 .

Расход воздуха определяется по формулам:

$$L_1 = w_1 F_1; \quad L_2 = w_2 F_2, \quad (25)$$

где F_1 и F_2 – поверхность нагрева первого и второго теплоносителя соответственно, м^2 .

Температура промежуточного теплоносителя на входе в теплоутилизационный блок (ТУБ) (рис. 3) приточной установки вычисляется по формуле

$$t_{ж.к1} = t_B^{cp} + (t_{cp} - t_{в.н1}) / \Theta, \quad (26)$$

где Θ – средние относительные перепады температур для условных приточной и вытяжной установок, °С.

Температура промежуточного теплоносителя после теплоутилизационного блока приточной установки определяется по формуле

$$t_{ж.к1}^* = t_B^{cp} - w_1 (t_{cp} - t_{в.н1}). \quad (27)$$

Коэффициент наружного теплообмена для ТУБ вытяжной установки определяется по формуле

$$a_{в2} = 1046 + 2100w_1. \quad (28)$$

Коэффициент внутреннего теплообмена для условной вытяжной установки определяется по формуле

$$a_{ж2} = 1046 + 2100w_2. \quad (29)$$

Коэффициент теплопередачи для ТУБ вытяжной установки определяется по формуле:

– для CaCl_2

$$k_1 = 406 + 2100\sqrt{w_2}; \quad (30)$$

– для воды

$$k_1 = 350 + 2100\sqrt{w_2}. \quad (31)$$

Относительный перепад температур, соответствующий температуре точки росы удаляемого воздуха, рассчитывается по формуле

$$\Theta_p = \frac{k_1}{a_{в2}} (1 - \Theta) + \Theta. \quad (32)$$

Температура точки росы, ниже которой ТУБ вытяжной установки работает в режиме с выпадением конденсата, определяется по формуле

$$\Theta_{p.c} = t_{в.н2} - \Theta_p (t_{в.н1} + t_{ж.к1}). \quad (33)$$

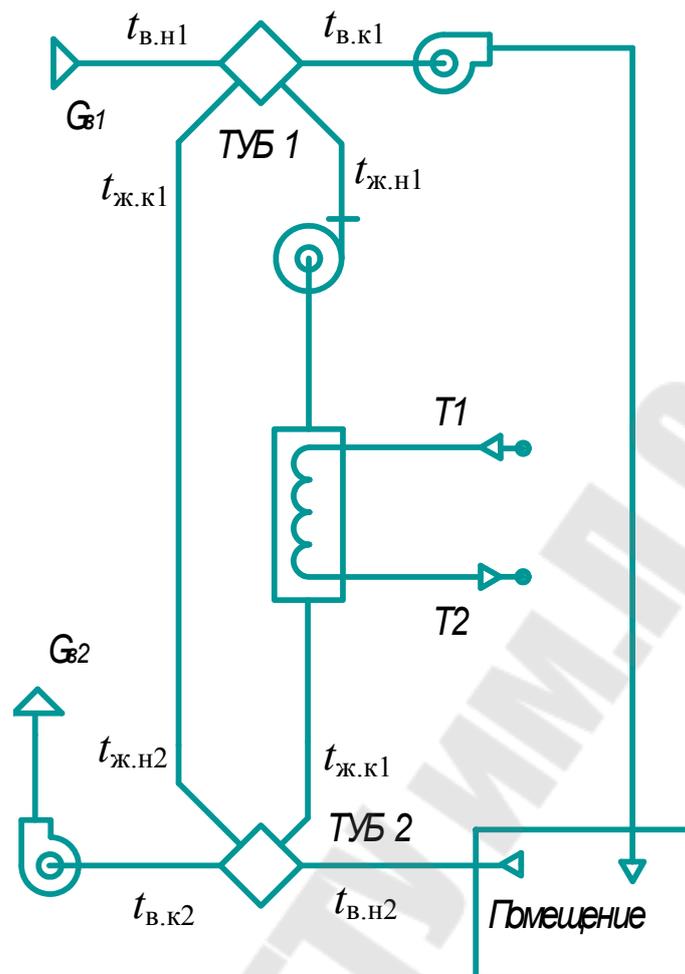


Рис. 3. Схема системы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем

Величина относительного перепада температур потока удаляемого воздуха

$$\Theta_y = \xi \Theta_{p,c}, \quad (34)$$

где ξ – поправочный коэффициент, учитывающий выпадение конденсата (выбирается по табл. 13).

Таблица 13

Коэффициент выпадения конденсата

Температура точки росы, °С	Поправочный коэффициент ξ
0–1	1,2
1–2	1,1
2–3	1,0
3–4	0,8
4–5	0,6

Конечная температура удаляемого воздуха определяется по формуле

$$t_{в.к1} = t_{в.н1} - \Theta_y (t_{в.н2} - t_{в}^{cp}). \quad (35)$$

Конечная температура промежуточного теплоносителя после ТУБ вытяжной установки рассчитывается по формуле

$$t_{ж.н2} = t_{в.н2} - w_2 (t_{в.н2} - t_{cp}). \quad (36)$$

При $t_{ж.н2} < t_{жк1}$ требуется дополнительный нагрев промежуточно-го теплоносителя в водоподогревателе.

Часовой расход теплоты от первичного источника теплоты в водоподогревателе в расчетном режиме определяется по формуле

$$Q_{ч} = G c (t_{ж.к1}^* - t_{ж.н2}) / 3600. \quad (37)$$

Часовой расход утилизированной теплоты

$$Q_{уч} = G c (t_{в.н2} - t_{ж.н2}) / 3600. \quad (38)$$

Определить количество подаваемого воздуха в помещение

$$L = 3600L_1 + Q_{ч} - \frac{0,69L_2 (t_{ж.к1} - t_{ж.н2})}{0,29(t_{ж.к1}^* - t_{ж.н2})}, \quad (39)$$

где L_1 – количество воздуха, подаваемого в помещение от ТУБ, м³/ч; L_2 – количество воздуха, удаляемого из помещения, м³/ч; $Q_{ч}$ – расход тепла в помещении, Дж.

Для СУПТ, в которой ТУБ вытяжной установки работает в режиме с выпадением конденсата, находят критическую температуру, ниже которой начинается обмерзание теплообменной поверхности ТУБ вытяжной установки

$$t_{в.н2}^{кр} = \frac{A(I - 963) + t_{в.н2} (AB - C)}{1 + AB - C}, \quad (40)$$

где I – энтальпия, $I = 268$ кДж/кг; A , B , C – коэффициенты, которые можно определить по формулам:

$$A = \frac{\Psi a_{в2}}{a_{ж2} c}; \quad B = \frac{\Theta_p G_{в1} c}{G_{в2}}; \quad C = \frac{\Theta_{п.с}}{\Theta_p} - w_1 \Theta_{п.с}. \quad (41)$$

Средняя температура теплоносителя

$$t_y = (t_{в.н1} - t_{в.н2}^{кр}) / 2. \quad (42)$$

Средняя начальная температура приточного воздуха

$$-t_{co} = 1/[1/\Theta + (G_{в1} c)/(\Theta_p G_{в2}) - w_2]$$

Дать оценку целесообразности утилизации тепловых вторичных энергоресурсов по формуле (18).

Исходные данные по вариантам для расчета утилизации вторичных энергоресурсов представлены в таблице 14.

Таблица 14

Исходные данные

Вариант	$t_{в.н1}, ^\circ\text{C}$	$t_{в.н2}, ^\circ\text{C}$	$G_{в1}, \text{кг/ч}$	$G_{в2}, \text{кг/ч}$	$F_1, \text{м}^2$	$F_2, \text{м}^2$
1	-15	18	40	10	150,64	171,96
2	-16	17	45	11	171,96	225,96
3	-17	16	50	12	149,92	168,66
4	-18	15	55	13	168,66	224,88
5	-19	14	60	14	211,05	277,38
6	-20	15	65	15	184,92	211,05
7	-21	16	70	16	225,96	257,94
8	-22	17	75	17	257,94	338,94
9	-23	18	80	18	252,99	337,32
10	-24	19	85	19	149,92	168,66
11	-25	20	90	20	168,66	224,88
12	-24	19	95	21	252,99	337,32
13	-23	18	90	22	332,50	375,81
14	-22	17	85	23	375,81	481,47
15	-21	16	80	24	320,98	361,08
16	-20	15	75	25	361,98	481,47
17	-19	14	70	26	481,47	511,53
18	-18	15	60	27	452,12	511,53
19	-17	16	65	28	511,53	678,18
20	-16	17	70	29	552,60	678,60
21	-15	18	75	30	535,14	625,17
22	-14	19	80	31	552,60	625,17
23	-13	20	85	32	544,08	615,00
24	-12	21	90	33	615,00	816,12
25	-11	22	95	34	625,17	665,00

Вариант	$f_{\text{фр1}}, \text{М}^2$	$f_{\text{ж1}}, \text{М}^2$	$f_{\text{фр2}}, \text{М}^2$	$f_{\text{ж2}}, \text{М}^2$
1	1,162	0,0014	1,758	0,0011
2	1,162	0,0009	1,856	0,0017
3	1,162	0,0012	1,755	0,0035
4	1,162	0,0011	1,755	0,035
5	1,162	0,0011	1,743	0,0033
6	1,755	0,0026	1,743	0,0025
7	1,743	0,0025	2,499	0,0078
8	1,743	0,0033	2,499	0,0078
9	1,743	0,0035	2,488	0,0052
10	1,162	0,0017	2,488	0,0059
11	1,743	0,0035	4,167	0,0087
12	1,743	0,0035	4,167	0,0065
13	2,488	0,0039	4,148	0,0043
14	2,488	0,0059	4,148	0,0059
15	2,488	0,0039	4,178	0,0086
16	2,488	0,0059	4,178	0,0047
17	4,167	0,0065	4,998	0,0104
18	4,167	0,0065	4,998	0,0078
19	4,167	0,0087	4,976	0,0103
20	4,148	0,0043	4,976	0,0078
21	4,178	0,0047	8,334	0,0118
22	4,178	0,0065	8,334	0,0078
23	4,998	0,0078	8,296	0,0174
24	4,998	0,0104	8,296	0,0131
25	4,976	0,0103	8,296	0,0171

4. Контрольные вопросы

1. Перечислите группы вторичных энергетических ресурсов.
2. Чем определяется микроклимат рабочего места?
3. Оценка экономической эффективности по методу экспресс-анализа.
4. Как определяется продолжительность отопительного периода?
5. Как выбирается промежуточный теплоноситель?
6. Как определить скорость движения воздуха в теплоносителе?
7. Какие коэффициенты теплообмена и теплопередачи используются в расчетах?

8. При какой температуре происходит выпадение конденсата?
9. При каких условиях требуется подогрев в теплоносителе?
10. Как определить часовой и утилизированный расход теплоты?
11. Как определить критическую температуру в теплообменнике?
12. Как определить необходимое количество подаваемого воздуха в помещение?

Литература

1. Охрана окружающей среды : учеб. пособие для студентов вузов / С. В. Белов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – Москва : Высш. шк., 1983. – 264 с.
2. Полонский, В. М. Энергосбережение : учеб. пособие / В. М. Полонский, М. С. Трутнева. – Ассоциации строительных вузов, 2005. – 160 с.
3. Паневчик, В. В. Основы энергосбережения : практикум / В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев, М. В. Самойлов. – Минск : БГЭУ, 2007. – 195 с.
4. Мищенко, К. П. Краткий справочник физико-химических величин / К. П. Мищенко, А. А. Равделя ; под ред. К. П. Мищенко. – Ленинградское отделение : Химия, 1967. – 184 с.
5. Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : учеб. пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Минск : Выш. шк., 2001. – 343 с.
6. Сибикин, Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА, 2006. – 352 с.
7. Лазаренков, А. М. Охрана труда : учебник / А. М. Лазаренков. – Минск : БНТУ, 2004. – 497 с.
8. Колесников, А. И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях : учеб. пособие / А. И. Колесников, М. Н. Федоров, Ю. М. Варфоломеев ; под общ. ред. М. Н. Федорова. – Москва : ИНФРА-М, 2005. – 124 с.
9. Гридэл, Т. Е. Промышленная экология : учеб. пособие для вузов / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алленби ; пер. с англ. под. ред. Э. В. Гирусова. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 527 с.

Содержание

Введение.....	3
<i>Практическая работа № 1. Определение технических характеристик циклона</i>	<i>5</i>
1. Загрязнение атмосферы выбросами машиностроительных предприятий.....	5
2. Параметры процесса пылеулавливания.....	11
3. Характеристики и типы циклонов	13
4. Расчет циклона цилиндрического и конического типа.....	16
5. Контрольные вопросы.....	22
<i>Практическая работа № 2. Утилизация теплоты производственных выбросов.....</i>	<i>22</i>
1. Вторичные энергетические ресурсы.....	22
2. Оценка экономической эффективности методом экспресс-анализа.....	24
3. Расчет систем утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем	26
4. Контрольные вопросы.....	32
Литература	34

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Дмитриченко Эдуард Иванович
Дмитриченко Евгений Эдуардович

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Практикум
по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения»
заочной формы обучения

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 22.04.11.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,9.

Изд. № 100.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.