

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
КОНТРОЛЬНО-СЕМЕСТРОВОЙ
РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ»



Волгоград
2018

УДК 66.02:504(075)

Рецензент

канд. биол. наук доцент *Н. О. Сиволобова*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Методические указания для выполнения контрольно-семестровой работы по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»: метод. указания / сост. А. А. Шагарова, М. И. Ламскова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 16 с.

В методических указаниях рассмотрена основная классификация газоочистного оборудования и конструктивные особенности мокрых газоочистных аппаратов. Приводится методика расчета скруббера Вентури. Методические указания содержат набор индивидуальных вариантов заданий для выполнения студентами контрольно-семестровой работы.

Предназначены для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

© Волгоградский государственный
технический университет, 2018

Составители:

Анжелика Анатольевна **Шагарова**
Мария Игоревна **Ламскова**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
КОНТРОЛЬНО-СЕМЕСТРОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

Методические указания

Темплан 2018 г. (учебно-методическая литература). Поз. № 614.
Подписано в печать 21.09.2018 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93.
Тираж 10 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.

Введение

Целью освоения учебной дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» является приобретение знаний, умений и навыков в области постановки решения инженерных задач и применения процессов и аппаратов для эффективной защиты окружающей среды от техногенных воздействий с учетом последних достижений науки и техники.

Одной из наиболее тревожных современных проблем стали локальные загрязнения атмосферы промышленными выбросами.

Основная масса загрязняющих веществ приходится на газообразные вещества и пылеватые материалы, которые могут перемещаться на большие расстояния и накапливаться. При высоких концентрациях на поверхности Земли они способны воздействовать на условия растительной и животной жизни, как в локальном, так и в глобальном масштабе. Поэтому развитие многих отраслей производства в сочетании с задачами охраны природы и рационального использования ее ресурсов часто оказываются тесно связанными с проблемой разделения пылесодержащих потоков. Актуальность ее решения возрастает с повышением территориальной концентрации промышленных предприятий и увеличением их единичных мощностей.

Проблема защиты окружающей среды от выбросов загрязненного газа чрезвычайно актуальна. По данным ООН, ежегодно в атмосферу выбрасывается 2,5 млн. т пыли. По мнению экологов, количество пыли, образующейся в промышленности, будет увеличиваться ежегодно на 4% за счет роста промышленного производства. Это потребует совершенствования существующего пылеулавливающего оборудования.

Целью контрольно-семестрового задания по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» является расчёт основных гидродинамических параметров и геометрических характеристик скруббера Вентури.

Настоящие методические указания предназначены для студентов очной и очно-заочной форм обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» при выполнении контрольно-семестровой работы по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» и призваны помочь студентам в приобретении ими нужных навыков проведения технологических расчётов, связанных с использованием аппаратов мокрой очистки газов.

1 Классификация пылеулавливающего оборудования

Пылеуловители в зависимости от способа отделения пыли от воздушного потока применяют следующих исполнений: оборудование для улавливания пыли сухим способом, при котором отделенные от воздуха частицы осаждаются на сухую поверхность; оборудование для улавливания пыли мокрым способом, при котором отделение частиц от воздушного потока осуществляется с использованием жидкостей.

Классификация пылеулавливающего оборудования показана на схеме (рисунок 1).

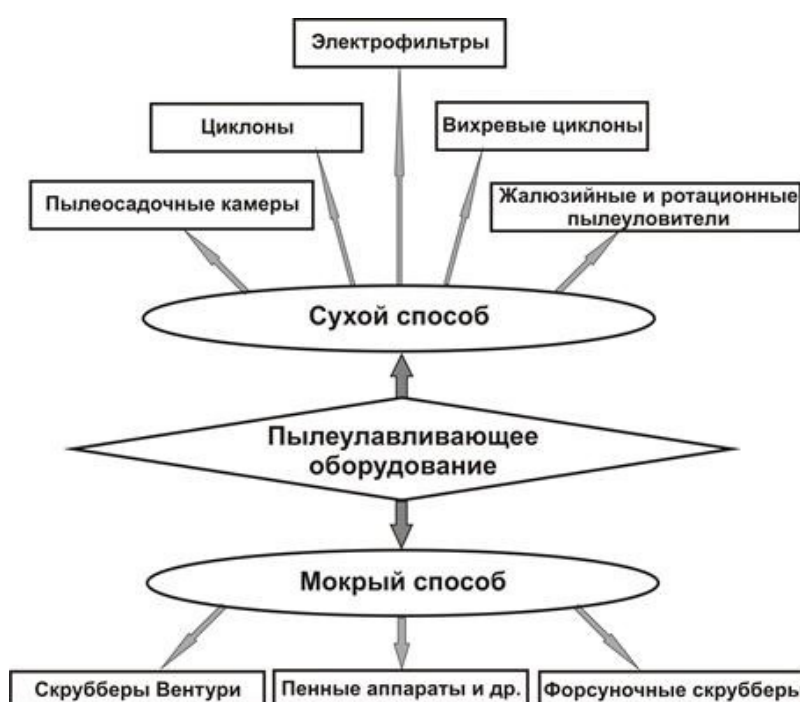


Рис. 1. - Схема классификации пылеулавливающего оборудования

Выбор конкретного способа и аппарата для очистки воздушного потока от пыли осуществляют с учетом требуемой степени очистки воздуха; количества содержащейся в нем пыли; характера пыли и размеров частиц; производительности и напора установки; сопротивления и пылеемкости пылеотделителя. Важно также учитывать другие физические свойства пыли: плотность, слипаемость и др.

Работа пылеулавливающих установок обычно основана на действии разных сил на частицу пыли при ее извлечении из газового потока. Такими силами являются сила тяжести, центробежная и инерционная силы. В зависимости от этого созданы различные конструкции пылеулавливающих

устройств (осадительные камеры, жалюзийные аппараты, центробежные и вихревые циклоны и т.д.).

Мокрые газоочистные аппараты применяют для предварительной очистки и подготовки (кондиционирования) газов, поступающих в газоочистные аппараты других типов, например в рукавные фильтры, электрофильтры. Мокрые пылеуловители широко применяются для очистки воздуха от пыли с размером частиц $d_p=0,3\div 2$ мкм, а также при высоких температурах очищаемого газа. В качестве орошаемой жидкости (абсорбента) чаще всего применяется вода.

Мокрая очистка эффективнее сухой очистки. Контакт пыли или газа с каплями жидкости увеличивает эффективность очистки. Принцип действия мокрых пылеуловителей заключается в осаждении частицы пыли на поверхность капель и пленки жидкости за счет сил инерции и броуновского движения. При мокрой очистке важную роль играет смачиваемость частиц жидкостью: чем лучше смачиваемость – тем эффективнее очистка.

В зависимости от способа диспергирования жидкости мокрые пылеуловители делят на три группы:

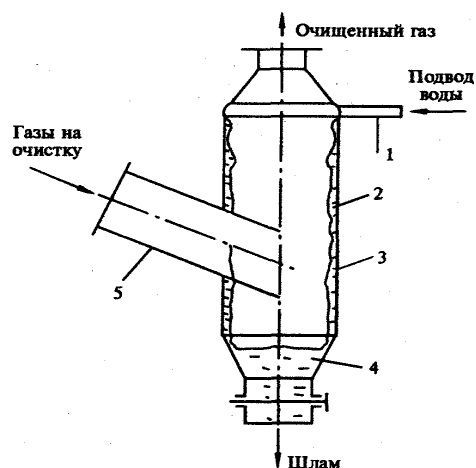
- форсуночные скрубберы, в которых диспергирование жидкости осуществляется с помощью форсунок, за счет энергии насоса;
- скрубберы Вентури, в которых дробление жидкости осуществляется за счет энергии турбулентного потока;
- динамические газопромыватели, где разбрызгивание жидкости осуществляется за счет механической энергии вращающегося ротора.

Скрубберы - мокрые пылеуловители с корпусом в виде вертикальной колонны, полые или с насадкой. Через скруббер проходит запыленный поток, и в аппарат вводится жидкость. В мокрых скрубберах реализуется тесный, бурный контакт газа и жидкости, сопровождающийся генерацией жидких капель. Захват капель газом может привести к уносу жидкости из скруббера в перегреватель, канал, вентилятор, дымовую трубу, а затем в атмосферу. Если не принять мер к отделению захваченной потоком жидкости то это может вызвать коррозию, эрозию, забивание повреждение вентиляторов и выбросы загрязнителя.

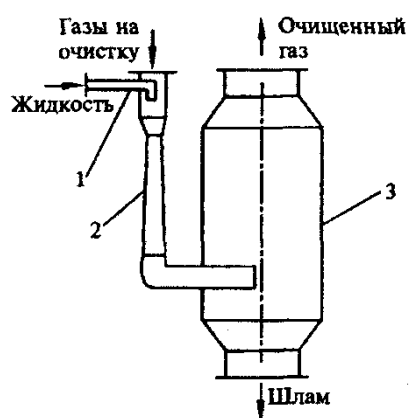
Загрязнитель, накапливающийся в жидкости, используемой для орошения скрубберов, следует удалять из системы. В мокрых скрубберах, предназначенных для пылезолоулавливания, в качестве орошающей жидкости чаще всего применяют воду. Ее расход для разных типов аппаратов может изменяться от 0,1 до 10 м³ на 1000 м³ обрабатываемых газов.

С учетом конструктивных особенностей мокрые газоочистные аппараты делят на следующие типы: скрубберы Вентури; форсуночные и центробежные скрубберы; ударно-инерционные аппараты; барботажно-пенные аппараты и др. [1-4].

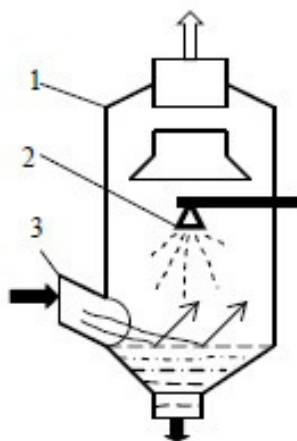
Схемы пылеуловителей для мокрой очистки газов показаны на рисунке 2.



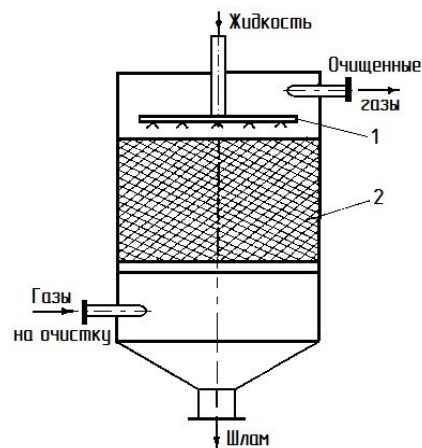
Центробежный скруббер:
1 - распределительное устройство;
2 - плёнка жидкости; 3 - корпус;
4 - бункер; 5 - входной патрубок



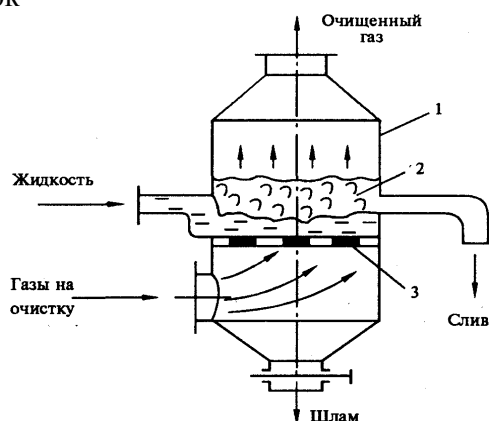
Скруббер Вентури:
1 - орошающая форсунка;
2 - труба Вентури;
3 - каплеуловитель



Полый форсуночный скруббер:
1 - корпус; 2 - форсуночные пояса;
3 - патрубок



Насадочный скруббер:
1 - орошающее устройство; 2 - насадка



Барботажно - пенный пылеуловитель с переливной решёткой:
1 - корпус; 2 - слой пены; 3 - переливная решётка

Рис. 2. – Схемы пылеуловителей для мокрой очистки газов

Мокрые пылеуловители имеют ряд преимуществ перед аппаратами других типов:

- отличаются сравнительно небольшой стоимостью и более высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями;

- могут быть применены для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм (например, скрубберы Вентури);

- могут не только успешно конкурировать с такими высокоэффективными пылеуловителями, как рукавные фильтры и электрофильтры, но и использоваться в тех случаях, когда эти аппараты обычно не применяются, например, при высокой температуре и повышенной влажности газов, при опасности возгорания и взрывов очищенных газов, в качестве теплообменников смешения.

Скоростные газопромыватели, к которым относятся скрубберы Вентури, объединяют большую группу аппаратов, общим для которых является наличие трубы-распылителя, в которой осуществляется интенсивное дробление газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 40÷150 м/с), орошающей его жидкости, и установленного за ней каплеуловителя. Первоначально в качестве трубы-распылителя использовалась труба Вентури в ее чистом виде, откуда и появилось название газопромывателей подобного типа.

Действие трубы-распылителя аналогично работе пневмофорсунки и применение трубы Вентури обеспечивало минимальные (не связанные с распылом) гидравлические потери при прохождении газом распыливающего устройства.

Скорость газа в сужении трубы (горловине скруббера) составляет 100÷200 м/с. При такой скорости очищаемый газ разбивает на мельчайшие капли завесу жидкости, впрыскиваемой по периметру трубы. Это приводит к интенсивному столкновению частиц аэрозоля с каплями и улавливанию частиц под действием сил инерции. Скруббер Вентури – универсальный малогабаритный аппарат, обеспечивающий улавливание тумана на 99 - 100%, частиц пыли с $d = 0,01 \div 0,35$ мкм – на 50÷85% и частиц пыли с $d = 0,5 \div 2$ мкм – на 97%.

В связи с непрерывно возрастающими требованиями к глубине очистки газовоздушных выбросов промышленных предприятий скрубберы Вентури постепенно становятся доминирующим видом мокрых пылеуловителей. Основные элементы скруббера, труба-распылитель и каплеуловитель, могут монтироваться как раздельно, так и в одном корпусе.

Существует большое число конструкций скрубберов Вентури, отличающихся сечением и длиной горловины, способом подвода орошающей жидкости, компоновкой и т. д. Трубы Вентури по конфигурации поперечного сечения подразделяются на: круглые; щелевые; кольцевые.

Круглые трубы Вентури имеют преимущественное распространение при малых объемах очищаемых газов. При больших объемах газов целесо-

образно применять трубы Вентури с кольцевой горловиной с центральным подводом орошения или щелевые с пленочным орошением.

Иногда при больших объемах очищаемых газов применяются батарейные или групповые компоновки скрубберов Вентури. Достоинством батарейной и групповой компоновок является возможность отключения части труб при переменных расходах газов, т. е. ступенчатого регулирования. Однако вопрос регулирования может решаться также с помощью труб с переменным сечением горловины, байпасированием части газов и изменением удельного орошения.

По гидродинамическим характеристикам скрубберы Вентури можно условно подразделить на: высоконапорные и низконапорные.

Первые применяются для тонкой очистки газов от микронной и субмикронной пыли и характеризуются высоким гидравлическим сопротивлением (до $20000 \div 30000$ Па); вторые используются главным образом для подготовки (кондиционирования) газов перед другими пылеулавливающими аппаратами и для очистки аспирационного воздуха; их гидравлическое сопротивление не превышает $3000 \div 5000$ Па. Для работы в низконапорном режиме иногда используются трубы Вентури с удлинёнными горловинами, в этом случае более глубоко протекают процессы охлаждения газов.

В зависимости от способа подвода орошающей жидкости можно выделить следующие основные типы аппаратов:

- с центральным (форсуночным) подводом жидкости в конфузор (или перед ним);
- с периферийным орошением (в конфузоре или в горловине);
- с пленочным орошением;
- с подводом жидкости за счет энергии газового потока;
- с комбинированным орошением.

Для надежной работы скрубберов Вентури важно обеспечение равномерного и полного перекрытия сечения трубы-распылителя орошающей жидкостью. Поэтому выбор способа орошения оказывает наибольшее влияние на конструктивные признаки скруббера Вентури, и соответственно классификация газопромывателей строится обычно по этому принципу.

Во всех мокрых пылеуловителях в той или иной степени происходит брызгоунос, интенсивность которого определяется скоростью газового потока в свободном сечении аппарата и способом подвода орошающей жидкости. При форсуночном распыле жидкости или дроблении жидкости за счет газового потока, которое имеет место в трубах Вентури, размер образующихся капель составляет от 50 до 500 мкм.

Чаще всего в качестве каплеуловителей за трубами Вентури устанавливают центробежные циклоны, основными достоинствами которых является высокая эффективность и меньшая, по сравнению с инерционными каплеуловителями, склонность к образованию отложений.

3. Методика расчёта контрольно-семестровой работы

- 1) Определение размера частицы, который в данном аппарате с данными параметрами будет улавливаться с эффективностью 50%, d_{50} .

По таблице 2 (Приложение) вероятности распределения частиц пыли для требуемой эффективности пылеулавливания $\Phi(x)=\eta$ определяется параметр x .

Из формулы (1) для расчета параметра x выражаем искомую величину d_{50} :

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\varphi}} \quad (1)$$

Для скрубберов Вентури $\lg \sigma_\eta = 0,29$.

Затем зная величину d_{50} , определяем энергетические затраты K_φ , кДж/1000 м³ газов:

$$d_{50} = 5945 \cdot K_\varphi^{-0,645} \cdot \rho_\varphi^{-0,5} \quad (2)$$

- 2) Определение влагосодержания газов

В составе запыленного газа находится 27% об. H_2O , следовательно, зная расход газа при нормальных условиях, определяем расход влаги при нормальных условиях:

$$V_{H_2O}^{н.у.} = 0,27 \cdot V_{г.}^{н.у.} \quad (3)$$

Из объемного расхода влаги при нормальных условиях найдем массовый расход влаги при нормальных условиях, г/ч:

$$m_{H_2O}^{н.у.} = \rho_{H_2O}^{н.у.} \cdot V_{H_2O}^{н.у.} \quad (4)$$

Найдем влагосодержание влажного газа при нормальных условиях, г/м³:

$$x = \frac{m_{H_2O}^{н.у.}}{V_{г.}^{н.у.}} \quad (5)$$

По табл. влагосодержания газов отыщем температуру точки росы газа на выходе из трубы Вентури для рассчитанного значения x .

- 3) Определение плотности газов при температуре точки росы

Найдем плотность газов при нормальных условиях:

$$\rho_0 = a_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + a_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} + a_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + a_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$$

Затем приведем плотность газов к реальным условиям, которые соответствуют температуре точки росы и заданному разрежению перед трубой Вентури:

$$\rho_{г.}'' = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{бар} + P)}{(273 + t_{г.}'') \cdot 101325} \quad (6)$$

- 4) Определение объемного расхода газа на выходе

Найдем массу газов:

$$m_{г.} = V_{г.0}' \cdot \rho_0$$

Поскольку масса газов в процессе очистки не меняется, то

$$V''_{z.} = \frac{m_{z.}}{\rho''_{z.}}$$

Приведем объемный расход газов на выходе к нормальным условиям, $\text{нм}^3/\text{ч}$:

$$V''_{z.0} = \frac{0,0027 \cdot V''_{z.} (P_{\text{бар}} + P)}{(273 + t''_{z.})} \quad (7)$$

5) Определение гидравлического сопротивления трубы Вентури, Па

$$K_q = \Delta p_p + P_g \cdot m$$

$$\Delta p_p = K_q - P_g \cdot m$$

6) Определение скорости газов в горловине

Гидравлическое сопротивление скрубберов Вентури складывается из гидравлических сопротивлений трубы Вентури и каплеуловителя. Гидравлическое сопротивление трубы Вентури при подаче в нее орошающей жидкости:

$$\Delta p_p = \Delta p_{z.} + \Delta p_{ж.}, \quad (8)$$

где $\Delta p_{z.}$ – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное движением газов без подачи орошения;

$\Delta p_{ж.}$ – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное вводом орошающей жидкости.

Гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури определяется по формуле:

$$\Delta p_{z.} = \zeta_{\text{сух.}} \cdot \frac{v_{z.}^2 \cdot \rho''_{z.}}{2}, \quad (9)$$

где $\zeta_{\text{сух.}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури; $v_{z.}$ – скорость газов в горловине при условиях по температуре и давлению на выходе из трубы Вентури;

$\rho''_{z.}$ – плотность газов при тех же условиях.

Для трубы Вентури с круглой и прямоугольной горловиной длиной $0,15 \cdot d$, принимают $\zeta_{\text{сух.}} = 0,12 \div 0,15$.

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури, обусловленное вводом орошающей жидкости, рассчитывается по формуле:

$$\Delta p_{ж.} = \zeta_{ж.} \cdot \frac{v_{z.}^2 \cdot \rho_{ж.}}{2} \cdot m, \quad (10)$$

где $\zeta_{ж.}$ – коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий ввод в трубу Вентури орошающей жидкости; m – удельный расход орошающей жидкости; $\rho_{ж.}$ – плотность орошающей жидкости.

Коэффициент $\zeta_{ж.}$ определяется из выражения:

$$\zeta_{ж.} = 0,63 \cdot \zeta_{\text{сух.}} \cdot m^{-0,3} \quad (11)$$

Подставляя все известные величины в формулу для определения гидравлического сопротивления скруббера Вентури, решим уравнение относительно скорости газов в горловине.

7) Определение диаметра горловины трубы Вентури, м.

$$V''_{г.} = \frac{\pi \cdot d_{горл.}^2}{4} \cdot v_{г.} \quad (12)$$

8) Выбор трубы Вентури из типоразмерного ряда

По диаметру горловины $d_{горл.}$ и расходу орошающей жидкости $V_{ж.}$ выбираем трубу Вентури ГВПВ (таблица 2) (газопромыватель Вентури, прямоточный, высоконапорный).

Труба Вентури (круглого сечения) включает в себя: диффузор, горловину, конфузор и штуцера подвода орошающей жидкости с цельнофакельными форсунками, устанавливаемые над конфузором под углом к оси трубы, равным 60° . Предназначена для очистки газов с температурой до 400°C и начальной концентрацией пыли до 30 г/м^3 , содержание взвеси в оборотной воде, подаваемой на орошение, не должно превышать 500 мг/л .

9) Расчет каплеуловителя

Скорость газа в свободном сечении аппарата принимают в интервале $3,5 \div 5 \text{ м/с}$.

Определяем диаметр каплеуловителя:

$$d_{капл.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V''_{г.}}{3600 \cdot \pi \cdot v_{г.}}} \quad (13)$$

Гидравлическое сопротивление каплеуловителя рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = \zeta_{г.} \cdot \frac{v_{г.}^2 \cdot \rho''_{г.}}{2}, \quad (14)$$

где $\zeta_{г.}$ – коэффициент гидравлического сопротивления каплеуловителя;

$v_{г.}$ – скорость газов в каплеуловителе при условиях по температуре и давлению на выходе из трубы Вентури;

$\rho''_{г.}$ – плотность газов при тех же условиях.

Для каплеуловителя типа КЦТ принимают $\zeta_{сух.} = 18$.

10) Выбор каплеуловителя из типоразмерного ряда

По диаметру каплеуловителя $d_{капл.}$ выбираем каплеуловитель КЦТ из типоразмерного ряда (таблица 3, Приложение).

Каплеуловитель представляет собой малогабаритный прямоточный циклон с входным патрубком прямоугольного сечения и выходным патрубком круглого сечения.

11) Расчет гидрозатвора

Расход орошающей жидкости:

$$V_{ж.} = m \cdot V''_{г.} \quad (15)$$

Оптимальная скорость слива жидкости из аппарата – $0,2 \div 0,3 \text{ м/с}$.

Находим диаметр сливной трубы:

$$d_{сл.тр.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{ж.}}{3600 \cdot \pi \cdot v_{ж.}}} \quad (16)$$

Если пренебречь гидравлическими потерями при движении жидкости по гидрозатвору, необходимая высота гидрозатвора равна:

$$h = \frac{P_{бар.} - P_{з.}}{g \cdot \rho_{ж.}} \quad (17)$$

$$P_{з.} = P_{бар.} - \Delta p_{ан.} = 101325 - (\Delta p_{в} + \Delta p_{к} + \Delta p_{ex.}) \quad (18)$$

Все расчёты необходимо выполнять в соответствии с международной системой единиц измерения СИ. Оформление работы производить в соответствии с требованиями СТП ВолгГТУ.

4. Задание контрольно-семестровой работы

- 1) Рассчитать и спроектировать скруббер Вентури, опираясь на типовые ряды труб Вентури типа ГВПВ и циклонов-каплеулавителей типа КЦТ;
- 2) Рассчитать и спроектировать гидрозатвор для отвода жидкости из пылеулавителя.
- 3) Скруббер Вентури предназначен для очистки дымовых газов до заданной эффективности и орошается водой из оборотной системы водоснабжения, температура которой соответствует точке росы газов на входе в аппарат.

Параметры дымовых газов, оборотной воды и улавливаемой пыли

Состав газов, % объёмн.: $N_2 - 60$; $CO_2 - 10$; $O_2 - 3$; $H_2O - 27$

Объёмный расход газов при нормальных условиях V , $нм^3/ч$

Температура газов на входе в аппарат t , $^{\circ}C$

Избыточное давление (разрежение) газов перед трубой Вентури P , $Па$

Давление оборотной воды $P_{в}$, $МПа$

Удельное орошение m , $л/м^3$

Медианный диаметр частиц пыли d_m , $мкм$

Среднеквадратичное отклонение размеров частиц пыли $lg\sigma_{\phi}$

Плотность пыли ρ_{ϕ} , $кг/м^3$

Требуемая эффективность пылеулавливания η , %

Живое сечение газораспределительной решётки $\phi = 0,015$.

Составить эскиз аппарата.

Таблица 1

**Индивидуальные варианты задания для выполнения
контрольно-семестровой работы**

№ вар	Объем- ный рас- ход газов при нормаль- ных ус- ловиях, $V_{нм}^3/ч$	Тем- пера- тура газов на входе в ап- парат, $t^{\circ}C$	Избы- точное давление (разреже- ние) га- зов перед трубой Вентури $P, Па$	Давле- ние обо- рот- ной воды $P_{в.},$ $МПа$	Удель- ное ороше- ние, $т, л/м^3$	Медиан- ный диа- метр частиц пыли $d_m, мкм$	Средне- квадра- тичное откло- нение размеров частиц пыли $lg\sigma_ч$	Плот- ность пыли $\rho_ч,$ $кг/м^3$	Эффек- тив- ность пыле- улавли- вания, $\eta, \%$
1	10000	110	-100	0,4	0,55	5	0,2	2500	97
2	12000	120	-120	0,45	0,60	10	0,25	2700	98
3	14000	130	-140	0,5	0,65	15	0,3	2900	99
4	16000	140	-160	0,4	0,7	20	0,2	3100	97
5	18000	150	-180	0,45	0,75	25	0,25	3300	98
6	20000	160	-200	0,5	0,8	5	0,3	3500	99
7	8000	170	-110	0,3	0,5	10	0,35	2600	97
8	9000	180	-130	0,35	0,55	15	0,4	2800	98
9	10000	190	-150	0,4	0,6	20	0,5	3000	99
10	11000	200	-170	0,45	0,65	25	0,2	3200	97
11	12000	150	-190	0,5	0,7	5	0,25	3400	98
12	13000	160	-200	0,55	0,75	10	0,3	2500	99
13	14000	170	-150	0,6	0,8	15	0,35	2600	97
14	15000	180	-160	0,3	0,85	20	0,4	2700	98
15	16000	110	-170	0,35	0,9	25	0,45	2800	99
16	17000	120	-180	0,4	0,5	5	0,5	2900	97
17	18000	130	-190	0,45	0,6	10	0,2	3000	98
18	19000	140	-200	0,5	0,7	15	0,3	3100	99
19	20000	150	-210	0,55	0,8	20	0,4	3200	98
20	21000	160	-220	0,6	0,9	25	0,5	3300	99
21	22000	120	-230	0,4	0,5	10	0,2	3100	97
22	23000	130	-240	0,5	0,6	15	0,3	3200	98
23	24000	140	-250	0,6	0,7	20	0,4	3300	99
24	25000	150	-200	0,4	0,8	25	0,5	3400	97
25	26000	160	-210	0,5	0,9	30	0,6	3500	98

Список рекомендуемой литературы для самостоятельного изучения

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под общ. ред. А.А. Руса-
нова. М., Энергоатомиздат, 1983 г.

2. Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. “Процессы и аппараты защиты
окружающей среды. Защита атмосферы” М., МГУИЭ, 2004 г. 3. Гельпе-
рин, Н. И. Основы техники псевдоожижения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айн-
штейн, В. Г. Кваша; под ред. Н. И. Гельперина. – М.: Химия, 1967. – 664 с.

3. Газоочистное оборудование. Каталог. МП “НИИОГАЗ – Фильтр”,
М., 1992 г.

4. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное посо-
бие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 201 с.

Значение нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6	7	8
-2,70	0,0035	-1,06	0,1446	0,00	0,500	1,08	0,8599
-2,60	0,0047	-1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
-2,50	0,0062	-1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
-2,40	0,0082	-1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729
-2,30	0,0107	-0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
-2,20	0,0139	-0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
-2,10	0,0179	-0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
-2,00	0,0228	-0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
-1,98	0,0239	-0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
-1,96	0,0250	-0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
-1,94	0,0262	-0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
-1,92	0,0274	-0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
-1,90	0,0288	-0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
-1,88	0,0301	-0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
-1,86	0,0314	-0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
-1,84	0,0329	-0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
-1,82	0,0344	-0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
-1,80	0,0359	-0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
-1,78	0,0375	-0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
-1,76	0,0392	-0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279
-1,74	0,0409	-0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,72	0,0427	-0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
-1,70	0,0446	-0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
-1,68	0,0465	-0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
-1,66	0,0485	-0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
-1,64	0,0505	-0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
-1,62	0,0526	-0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
-1,60	0,0548	-0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
-1,58	0,0571	-0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
-1,56	0,0594	-0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
-1,54	0,0618	-0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
-1,52	0,0643	-0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
-1,50	0,0668	-0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
-1,48	0,0694	-0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
-1,46	0,0721	-0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
-1,44	0,0749	-0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
-1,42	0,0778	-0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
-1,40	0,0808	-0,32	0,3745	0,74	0,7703	1,82	0,9656
-1,38	0,0838	-0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
-1,36	0,0869	-0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
-1,34	0,0901	-0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,32	0,0934	-0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
- 1,30	0,0968	- 0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
- 1,28	0,1003	- 0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
- 1,26	0,1038	- 0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
- 1,24	0,1075	- 0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
- 1,22	0,1112	- 0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9761
- 1,20	0,1151	- 0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
- 1,18	0,1190	- 0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
- 1,16	0,1230	- 0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
- 1,14	0,1271	- 0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
- 1,12	0,1314	- 0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
- 1,10	0,1357	- 0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953
- 1,08	0,1401	- 0,00	0,5000	1,06	0,8554	2,70	0,9965

Таблица 3

Техническая характеристика типоразмерного ряда каплеуловителей

Типоразмер каплеуловителя	Диаметр аппарата, мм	Производитель- ность, м ³ /ч	Размеры, мм
КЦТ-400	400	1700	670× 670×1210
КЦТ-500	500	3100 - 3890	770× 770× 1750
КЦТ-600	600	3890 - 5600	770× 770× 1750
КЦТ-700	700	5600 - 7625	970× 970× 2220
КЦТ-800	800	7625 - 9960	1070× 1070× 2462
КЦТ-900	900	9960 - 12600	1180× 1180× 2754
КЦТ-1000	1000	12600 - 15560	1270× 1270× 3004
КЦТ-1200	1200	15560 - 22410	1480× 1480× 3557
КЦТ-1400	1400	22410 - 30500	1670× 1670× 4107
КЦТ-1600	1600	30500 - 39840	1870× 1870× 4607
КЦТ-1800	1800	39840 - 50420	2390× 2130× 5208
КЦТ-2000	2000	50420 - 62245	2570× 2320× 5758
КЦТ-2200	2200	62245 - 75315	2770× 2520× 6408
КЦТ-2400	2400	75315 - 84000	2970× 2720× 6908

Таблица 4

Основные характеристики скрубберов Вентури типа ГВПВ

Типоразмер аппарата ГВПВ	Площадь сечения горловины Вентури, м ²	Диаметр горловины D, м	Производительность (по выходным параметрам газа), м ³ /с	Расход жидкости на орошение, л/с	Давление жидкости перед форсункой, кПа	Габариты, мм	Масса, кг
0,006	0,006	85	0,47...0,97	$\frac{0,33...1,89}{0,6...1,39}$	$\frac{180...370}{80...410}$	$445 \times \frac{560}{575} \times 1850$	$\frac{64}{70}$
0,010	0,010	115	0,86...1,81	$\frac{0,6...1,39}{1,33...3,5}$	$\frac{80...410}{63...400}$	$540 \times \frac{670}{685} \times 2500$	$\frac{117}{120}$
0,014	0,014	135	1,15...2,33	$\frac{0,8...1,33}{1,33...1,94}$	$\frac{80...410}{60...700}$	$575 \times \frac{700}{720} \times 2940$	$\frac{148}{150}$
0,019	0,019	155	1,55...3,15	$\frac{1,08...3,55}{3,61...6,31}$	$\frac{80...980}{420...710}$	$645 \times \frac{785}{795} \times 3140$	$\frac{178}{180}$
0,025	0,025	180	2,08...4,20	$\frac{1,44...3,61}{3,61...8,33}$	$\frac{150...980}{80...450}$	$775 \times \frac{925}{985} \times 3790$	$\frac{244}{257}$
0,030	0,030	200	2,59...5,25	$\frac{1,81...3,61}{3,61...10,50}$	$\frac{60...250}{100...910}$	$790 \times \frac{1325}{1355} \times 4025$	$\frac{305}{310}$
0,045	0,045	240	3,83...7,78	$\frac{8,33...15,56}{2,71...8,33}$	$\frac{60...570}{110...390}$	$880 \times 1420 \times 4620$	$\frac{400}{420}$
0,060	0,062	280	5,18...10,50	$\frac{3,61...8,33}{8,33...21,0}$	$\frac{100...570}{110...710}$	$1075 \times 1630 \times 5425$	$\frac{535}{560}$
0,080	0,080	320	6,52...13,22	$\frac{4,21...12,5}{12,5...26,44}$	$\frac{75...570}{110...500}$	$1545 \times 1480 \times 5940$	$\frac{645}{675}$
0,100	0,107	370	9,01...18,28	$\frac{6,28...12,5}{12,5...36,56}$	$\frac{80...32}{63...540}$	$\frac{1835 \times 1835}{1860} \times 7240$	$\frac{935}{975}$
0,140	0,138	420	11,50...23,33	$\frac{8,0...12,5}{12,5...46,67}$	$\frac{130...320}{63...880}$	$\frac{2015 \times 2015}{2060} \times 8140$	$\frac{1160}{1200}$