

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра машин и аппаратов химических
и силикатных производств**

ПРОЦЕССЫ И АГРЕГАТЫ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Методические указания к курсовому проектированию
для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты
химических производств и предприятий строительных материалов»
специализации 1-36 07 01 02 «Машины и оборудование
предприятий строительных материалов» заочной формы обучения**

Минск 2013

УДК 66.02:691(075.8)

ББК 38.3 я73

П 84

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета

Составители:

В. С. Францкевич,

Э. И. Левданский

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры процессов
и аппаратов химических производств БГТУ

В. А. Марков

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 194.

Для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» специализации 1-36 07 01 02 «Машины и оборудование предприятий строительных материалов» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2013

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране с каждым годом увеличивается объем строительства, который требует резкого роста производства строительных материалов и изделий на их основе. Кроме того, перед промышленностью в данной области стоит задача по улучшению качества выпускаемой продукции и расширению ее ассортимента.

Производство строительных материалов состоит из различных технологических процессов, основными из которых являются механические, гидромеханические, тепловые, массообменные и химические. Для осуществления каждого из них используется большое количество специального оборудования. Следовательно, изучать процессы технологии производства строительных материалов наиболее целесообразно одновременно с изучением оборудования, применяемого для осуществления этих процессов. Таким образом, курс «Процессы и агрегаты производства строительных материалов» является дисциплиной, объединяющей общеинженерные и специальные курсы в единую систему.

Цель изучения курса «Процессы и агрегаты производства строительных материалов» – приобретение студентами знаний по процессам производства строительных материалов, методам их расчета, определению технологических и конструктивных параметров машин и оборудования, применяемых для осуществления этих процессов. Курсовой проект выполняется с целью систематизации, закрепления и расширения теоретических знаний, углубленного изучения одного из вопросов, поставленных в проекте, овладения навыками самостоятельного решения инженерных задач, выполнения технических расчетов и графического оформления проекта. Приступая к курсовому проектированию, студенты должны: изучить достижения науки и техники по выбранной теме; научиться самостоятельно применять полученные в университете теоретические знания при решении практических вопросов; уметь пользоваться специальной и справочной литературой при нахождении требуемых величин и значений, а также других необходимых технических сведений.

В данной работе содержатся методические указания только по расчету и подбору того вспомогательного оборудования, которое применяется в аппаратурно-технологических схемах процесса. Кроме того, приводится тематика курсовых проектов.

1. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект по дисциплине «Процессы и агрегаты производства строительных материалов» состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка включает: титульный лист, задание на проектирование, содержание (оглавление), введение, литературный обзор, описание технологической схемы установки, расчет основного аппарата (агрегата), расчет и подбор вспомогательного оборудования, заключение и список использованных литературных источников. При необходимости в пояснительную записку включают список условных обозначений и приложения (например, программу расчета установки на ЭВМ), который помещают после содержания (оглавления), а приложения – после списка использованной литературы.

Задание на проектирование выдает руководитель проекта.

Содержание (оглавление) включает перечень наименований разделов и подразделов, из которых состоит пояснительная записка.

Во введении кратко освещают перспективы развития промышленности строительных материалов, роль технологического процесса и назначение проектируемой установки. Объем введения не должен превышать 2 страниц.

В литературном обзоре приводят описание:

- теоретических основ разрабатываемого процесса;
- основных технологических схем для его проведения;
- типового оборудования для проектируемой установки.

По заданию преподавателя литературный обзор может быть дополнен патентным обзором по современному аппаратному оформлению процесса.

Описание технологической схемы включает обоснование ее выбора и обоснование выбора основного аппарата и вспомогательного оборудования с кратким описанием их конструкций и принципа действия, а также подробное описание принципа действия разрабатываемой установки.

Описание технологической схемы завершается кратким обоснованием мероприятий по охране окружающей среды, т. е. по предотвращению и обезвреживанию вредных промышленных выбросов.

Расчет основного аппарата производят с учетом его назначения, типа и конструкции. Он включает технологический и конструктивный расчеты по существующим методикам.

Подбор вспомогательного оборудования, обычно стандартизированного и нормализованного, производится на основе ориентировочных расчетов.

В заключении приводят характеристики установки, основного аппарата и вспомогательного оборудования.

Список использованных литературных источников включает перечень литературы, использованной при выполнении курсового проекта. Литературные источники заносятся в список в том порядке, в котором они упоминаются в тексте. По ходу текста должны приводиться ссылки на эти источники.

Оформление пояснительной записки выполняют по требованиям СТП 002-2007.

Графическая часть включает в себя три листа чертежей, выполненных с соблюдением норм и правил ЕСКД для каждого вида чертежей.

Первый лист графической части представляет собой технологическую схему установки (формат А3).

Второй лист представляет собой чертеж общего вида основного аппарата (формат А1).

На половине третьего листа располагают сборочный чертеж одного из узлов основного аппарата (формат А2), а на второй половине вычерчивают детали узла (формат А3 или А4).

2. РАСЧЕТ И ПОДБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1. Расчет циклона

Промышленная очистка газов от взвешенных в них твердых частиц является одной из важных технологических задач большинства предприятий промышленности строительных материалов. Из большого количества пылеулавливающего оборудования в промышленности наибольшее распространение получили циклоны как аппараты первой степени очистки газов, а также электрофильтры и рукавные фильтры, которые, как правило, устанавливаются после циклонов и являются аппаратами тонкой очистки газов. Однако правильно выбранный циклон может также обеспечить высокую степень очистки газов от пыли. Степень очистки газов в циклоне зависит от многих факторов, и прежде всего от дисперсного состава пыли, конструктивных особенностей аппарата (типа циклона), его диаметра, плотности пыли и газового потока. Так как с увеличением диаметра циклона эффективность очистки газов значительно понижается, то применять циклоны с диаметром более 1,2 м не рекомендуется. При больших расходах газа следует устанавливать группу параллельно работающих циклонов. Максимально допустимая запыленность газов на входе в циклон не должна превышать 400 г/м^3 .

Наибольшее распространение в нашей стране получили циклоны конструкции научно-исследовательского института очистки газов (НИИОГАЗ), в частности, циклоны ЦН-15, ЦН-15у и ЦН-24 (цифра при ЦН указывает величину угла (в градусах) наклона входного патрубка). Внутренний диаметр циклона, мм, может быть для ЦН-11, ЦН-15 – 40, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 550, 600, 700, 750, 800; ЦН-15у – 200–800 (с интервалом 50 мм); ЦН-24 – 400–1000 (с интервалом 50 мм). Основные параметры некоторых типов циклонов приведены в табл. 2.1.

Схематично конструкция циклона показана на рис. 2.1. Запыленный газовый поток вводится обычно в верхнюю часть корпуса циклона, представляющего собой чаще всего цилиндр, заканчивающийся в нижней части конусом. Патрубок входа газа в циклон, в основном прямоугольной формы, располагают по касательной к окружности цилиндрической части. Газ выходит из аппарата через круглую выхлопную трубу или отверстие, расположенные по оси циклона.

Таблица 2.1

Основные параметры циклонов (в долях диаметра аппарата)

| Параметр | Тип циклона | | | | | |
|--|-------------|-------|---------|-------|-----------|----------|
| | ЦН-11 | ЦН-15 | ЦН-15у | ЦН-24 | СДК-ЦН-33 | СК-ЦН-34 |
| Диаметр выхлопной трубы, d_T | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,334 | 0,340 |
| Диаметр пылевыпускного отверстия, d_1 | 0,3–0,4 | | 0,3–0,4 | | 0,334 | 0,229 |
| Ширина входного патрубка, b | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,264 | 0,214 |
| Высота входного патрубка, a | 0,48 | 0,66 | 0,66 | 1,11 | 0,535 | 0,2–0,3 |
| Высота цилиндрической части, h_1 | 2,08 | 2,26 | 1,51 | 2,11 | 0,535 | 0,515 |
| Высота конической части, h_2 | 2 | 2 | 1,50 | 1,75 | 3 | 2,14 |
| Общая высота циклона, H | 4,38 | 4,56 | 3,31 | 4,26 | 3,8 | 3,14 |
| Высота установки фланца, h_f | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,1 | 0,1 |
| Коэффициент сопротивления, ξ | 245 | 155 | 165 | 75 | 550 | 1050 |
| Оптимальная скорость на сечении циклона, $\omega_{\text{опт}}$ | 4,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 2 | 1,7 |

После входа в циклон газ движется сверху вниз, вращаясь в корпусе циклона и образуя внешний вращающийся вихрь. Развивающиеся центробежные силы отбрасывают частицы пыли или капли, взвешенные во вращающемся газовом потоке, к стенкам корпуса как цилиндрической, так и конической части циклона. Постепенно, преимущественно в конической части циклона, основной газовый поток поворачивается и движется вверх к выходу, образуя внутренний вращающийся вихрь. Частицы пыли, достигшие стенок циклона, перемещаются вместе с газами вниз и через пылеотводящий патрубок выносятся из циклона. Движение частиц пыли вниз к пылеотводящему патрубку обусловлено не только влиянием силы тяжести. В первую очередь оно вызвано тем, что газовый поток у стенок цилиндрической и конической частей корпуса циклона не только вращается, но и движется вдоль оси циклона к вершине его конуса. Поэтому циклон может работать, располагаясь не только вертикально конусом вниз, но и горизонтально, и даже вертикально конусом вверх.

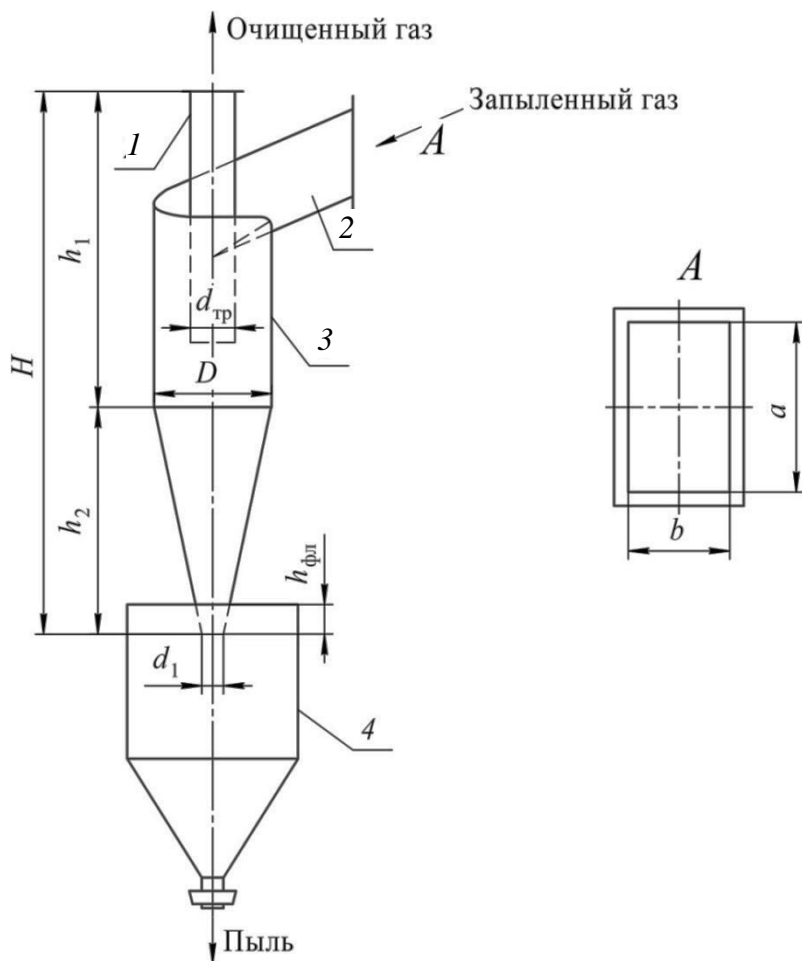


Рис. 2.1. Схема циклона:

1 – труба; 2 – входной патрубок; 3 – корпус; 4 – приемный бункер

При выборе и расчете циклона для очистки конкретного запыленного потока необходимо сравнить характеристики всех типов циклонов и определить оптимальный вариант, отвечающий технологическим условиям очистки. При этом следует учитывать следующие рекомендации.

Содержание твердой фазы (a , г/м³) в пылегазовой смеси в зависимости от слипаемости следует принимать: для слабослипающихся частиц согласно табл. 2.2; для частиц средней слипаемости величина a снижается в 2 раза; для сильно слипающихся – в 4 раза.

Таблица 2.2

| D , мм | 800 | 600 | 400 | 200 | 100 | 60 | 40 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Допустимое содержание твердой фазы a , г/м ³ | 400 | 300 | 200 | 150 | 60 | 40 | 20 |

Отношение сопротивления ΔP , Па, циклона к удельному весу газа ρg принимается в пределах $\Delta P/(\rho_g \cdot g) = 55-75$ м (где ρ_g – плотность газа, кг/м^3), причем для циклонов ЦН-15 принимать значение $\Delta P/(\rho_g \cdot g)$ меньше 55 м и для циклонов ЦН-11 менее 65 м не рекомендуется вследствие снижения степени очистки. При очистке пыли от крупной фракции пыли, при $\eta > 90\%$ отношение $\Delta P/(\rho_g \cdot g)$ можно принимать < 55 м при условии, что фиктивная скорость газового потока v (отнесенная к полному поперечному сечению циклона) будет выше 2,5 м/с во избежание забивки пылью циклона.

Очистка запыленных потоков циклонами обычно проводится при атмосферном и близком к нему давлениях и температурах до ~ 770 К.

Предварительно выбрать циклон можно по результатам, приведенным в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Приближенные величины коэффициентов извлечения твердой фазы для различных циклонов

| Циклон | Диаметр циклона, мм | Коэффициент извлечения частиц различных размеров, μ_k | | | Коэффициент гидравлического сопротивления, ξ |
|--------|---------------------|---|--------|--------|--|
| | | 5 мкм | 10 мкм | 20 мкм | |
| ЦН-15 | 800 | 50 | 85 | 97,5 | 105 |
| | 600 | 55 | 87 | 98,0 | |
| | 400 | 69 | 89 | 98,5 | |
| | 200 | 77 | 93 | 99,0 | |
| | 100 | 83 | 95 | 99,5 | |
| ЦН-15у | 800 | 40 | 81 | 97 | 110 |
| | 200 | 70 | 91 | 99 | |
| ЦН-24 | 1000 | 30 | 70 | 96 | 60 |
| | 500 | 41 | 79 | 67 | |
| ЦН-11 | 800 | 65 | 90 | 98 | 180 |
| | 100 | 86 | 97 | 99,8 | |

Основными параметрами технологического расчета циклонов являются степень очистки (коэффициент извлечения) η , %, а также потери давления (энергозатраты) на проведение процесса.

Степень очистки пылегазовой смеси представляет собой отношение количества твердой фазы, извлеченной из циклона, к количеству этой фазы на входе в циклон:

$$\eta = \frac{G_H - G_K}{G_H} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где G_n , G_k – количество твердой фазы в смеси на входе и выходе из циклона, кг.

Кроме формулы (2.1) используют также формулу фракционной степени очистки η_ϕ , %:

$$\eta_\phi = \frac{G_{нф} - G_{кф}}{G_{нф}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

где $G_{нф}$, $G_{кф}$ – количество данной фракции в смеси на входе и выходе из циклона, кг.

При известных η_ϕ для каждой фракции можно рассчитать общую степень очистки:

$$\eta = \frac{\eta_{\phi_1} m_1}{100} + \frac{\eta_{\phi_2} m_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\phi_n} m_n}{100}, \quad (2.3)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n – процентное содержание (массовая доля) каждой фракции твердой фазы в смеси.

Производительность ($V_{ц}$, м³/с) циклона определяют по формуле

$$V_{ц} = S\omega_y, \quad (2.4)$$

где S – площадь сечения циклона, м²; ω_y – скорость газового потока, отнесенная полному сечению циклона, м/с. Величина ω_y определяется по формуле:

$$\omega_y = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi \rho_T}}, \quad (2.5)$$

где ΔP – потери давления в циклоне, Па; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления. Для циклонов значения ξ представлены в табл. 2.3.

Для расчета циклонов должны быть известны: расход пылегазовой смеси (воздух + твердая фаза) V , м³/с; температура смеси на входе в циклон t , °С; давление, при котором происходит процесс P , Па; фракционный состав твердой фазы в смеси, содержание фракции в смеси (масс. %); плотность твердых частиц ρ_T , кг/м³; допускаемое гидравлическое сопротивление ΔP , Па.

Определив диаметр циклона, округляем его значение до ближайшего стандартного и, используя формулу (2.4), находим рабочую скорость газа (она не должна отличаться от оптимальной более чем на $\pm 15\%$).

Теоретический расчет циклонов весьма сложен, поскольку на процесс влияет множество факторов, как режимных, так и конструктивных.

Ниже приведена методика расчета циклонов НИИОГАЗ. Для расчета основных параметров циклона можно использовать графические зависимости, установленные НИИОГАЗом на основании экспериментальных данных (рис. 2.2–2.6).

Сущность использования графоаналитического способа заключается в следующем:

- 1) определяем средний диаметр частиц пыли каждой фракции;
- 2) по графику (рис. 2.2) по среднему диаметру частиц d , мм, определяем степень улавливания пыли $\eta_{фр}$, %, для каждой фракции в циклоне ЦН-15 при определенных условиях: $D = 600$ мм; $\rho_{т} = 1930$ кг/м³; $\frac{\Delta P}{\rho_0 g} = 75$ м; $t = 210^\circ\text{C}$; $\rho_0 = 1,32$ кг/м³ (при нормальных условиях); начальная концентрация пыли 1,7 г/м³;

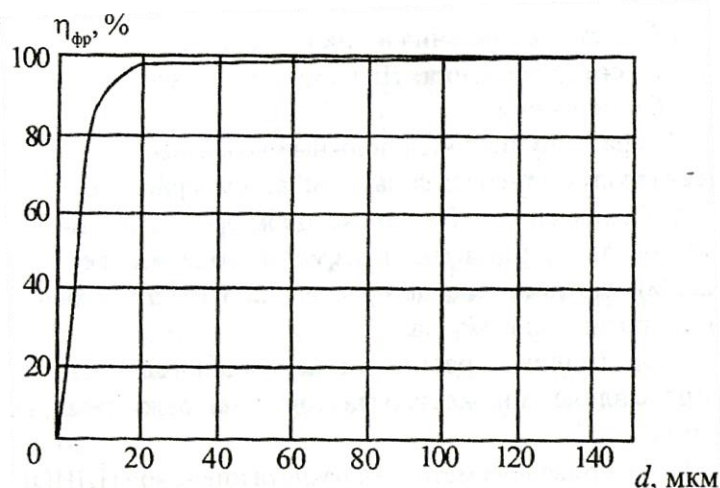


Рис. 2.2. Степень улавливания пыли в циклоне ЦН-15

3) по известному процентному содержанию каждой фракции и найденной из графика (рис. 2.2) степени улавливания в циклоне каждой из них по формуле (2.3) определяем общую эффективность улавливания;

4) согласно графику (рис. 2.3) делаем поправку общей степени очистки газа с учетом типа циклона. *Пример:* для циклона ЦН-15 найдено $\eta = 90\%$ (точка A). Чтобы определить значение η для циклона ЦН-24, из точки A проводим вертикаль до пересечения с линией ЦН-24. В точке B находим $\eta \approx 83\%$;

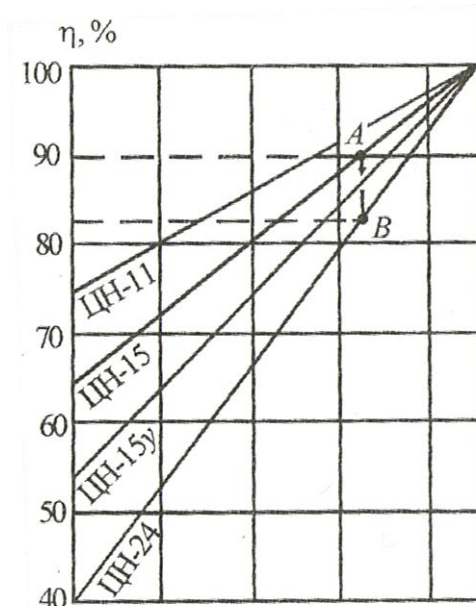


Рис. 2.3. Изменение степени очистки газа η в зависимости от типа циклона

5) согласно графику (рис. 2.4) делаем поправку общей степени очистки газа с учетом диаметра циклона. *Пример:* для циклона с $D = 600$ мм найдено $\eta = 87\%$ (точка A). Чтобы определить значение η для $D = 900$ мм, находим на той же кривой точку B , ордината которой дает искомое значение $\eta = 85\%$;

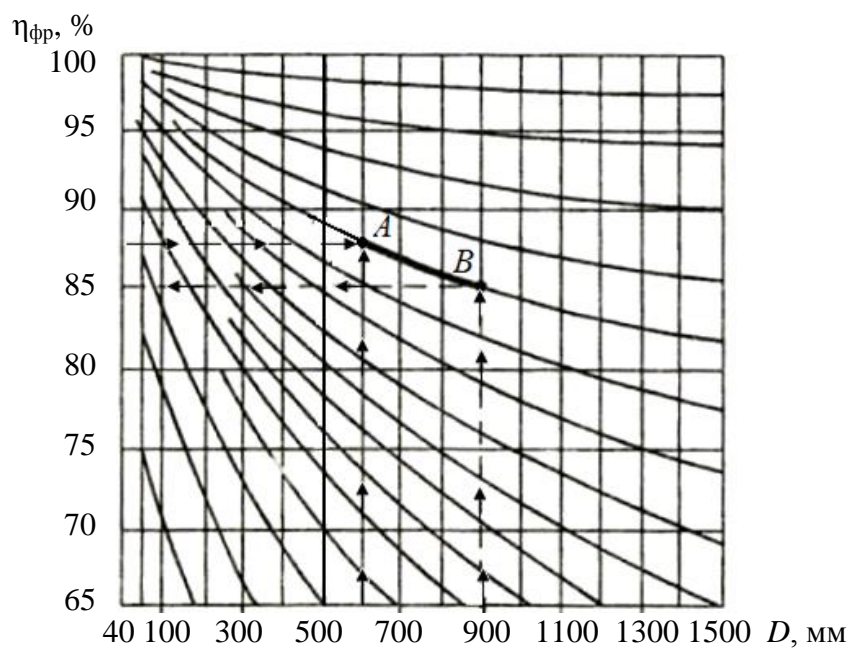


Рис. 2.4. Изменение степени очистки газа η в зависимости от диаметра циклона ЦН

б) согласно графику (рис. 2.5) делаем поправку степени очистки газа с учетом плотности твердой фазы. *Пример:* при $\rho_T = 1930 \text{ кг/м}^3$ найдено $\eta = 64\%$ (точка *A*). Чтобы определить значение η при $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$, находим точку *B* на пересечении соответствующей кривой с вертикалью $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$. Ордината точки *B* дает искомое значение $\eta = 70\%$;

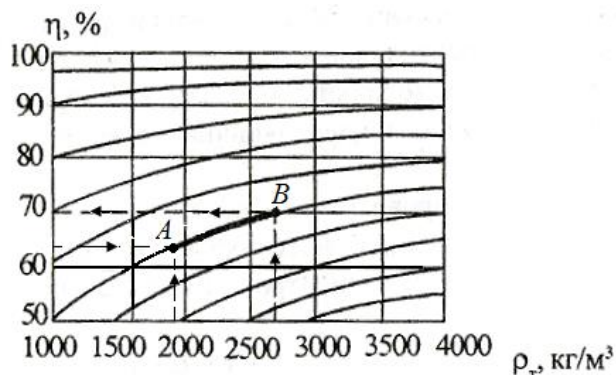


Рис. 2.5. Изменение степени очистки газа η в зависимости от плотности пыли ρ_T для циклонов ЦН

7) согласно графику (рис. 2.6) делаем поправку степени очистки газа на фактор скорости. *Пример:* при $\frac{\Delta P}{\rho_T g} = 75 \text{ м}$ найдено $\eta = 85\%$

(точка *A*). Чтобы определить значение η при $\frac{\Delta P}{\rho_T g} = 40 \text{ м}$, находим точку

B на пересечении соответствующей кривой с вертикалью $\frac{\Delta P}{\rho_T g} = 40 \text{ м}$.

Ордината точки *B* дает искомое значение $\eta = 80\%$;

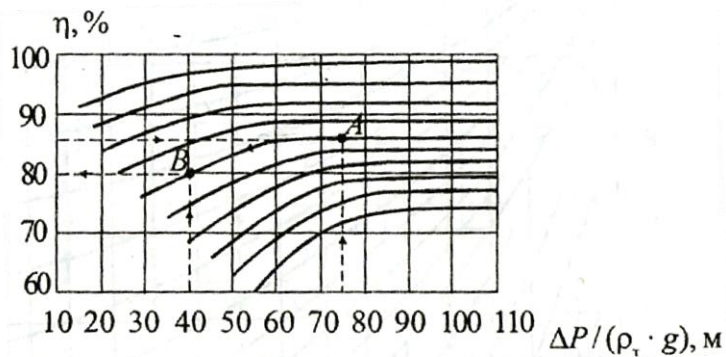


Рис. 2.6. Изменение степени очистки газа η в зависимости от отношения $\frac{\Delta P}{\rho_T g}$ для циклонов ЦН

8) сравниваем полученную степень очистки с требуемой.

Если требуемая степень очистки газов будет равна или ниже полученной при графоаналитическом расчете, то далее согласно табл. 2.1, приступаем к расчету геометрических размеров циклона. Если расчетная степень очистки газов оказалась ниже требуемой, то следует выбрать другой тип циклона и повторить расчет снова или установить группу параллельно работающих циклонов меньшего диаметра.

2.2. Расчет и выбор электрофильтров

Одним из основных элементов электрофильтра является осадительная камера (рис. 2.7), в которой размещены осадительные электроды, выполненные в виде труб (цилиндрических или шестигранных) или пластин.

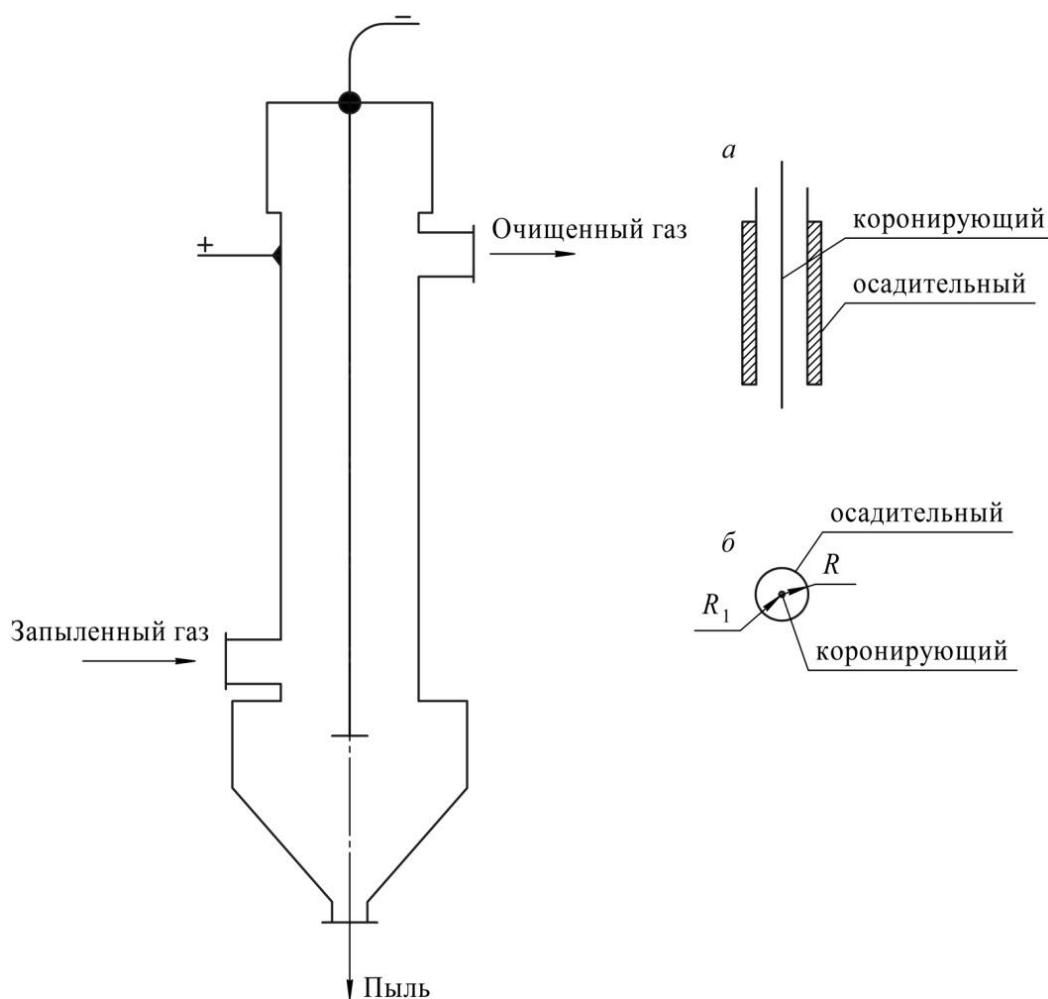


Рис. 2.7. Схема электрофильтра с пластинчатым (а) или трубчатым (б) электродом

По образованным этими электродами каналам снизу вверх или горизонтально движется запыленный газ. Внутри каналов размещены коронирующие электроды, выполненные из нихромовой проволоки диаметром 2–3 мм. При создании между электродами разности потенциалов в 55–70 кВ газ ионизируется и заряженные ионами твердые частицы переносятся к осадительному электроду.

Электрофильтры устанавливаются как аппараты второй ступени очистки, обеспечивающие эффективность улавливания до 99% при начальной запыленности газа до $0,05 \text{ кг/м}^3$, они работают при разряжении в системе от 2 до 5 кПа, создавая гидравлическое сопротивление 150–200 Па. Основные параметры электрофильтров, применяемых в промышленности строительных материалов, приведены в табл. 2.4.

Подбор электрофильтра производится в соответствии с заданными условиями его работы по площади сечения активной зоны с последующим проверочным расчетом степени очистки.

Площадь сечения активной зоны электрофильтра f , м^2 , рассчитывается по следующей зависимости:

$$f = \frac{K \cdot V_{\Gamma}}{v_{\Gamma}}, \quad (2.6)$$

где V_{Γ} – объемный расход газа при температуре очистки, $\text{м}^3/\text{с}$; v_{Γ} – скорость газа в электрофильтре, м/с ($v_{\Gamma} = 0,8\text{--}2 \text{ м/с}$); K – коэффициент запаса, учитывающий подсосы атмосферного воздуха ($K = 1,1$).

Степень очистки газов в электрофильтре η , %, вычисляется по формуле:

$$\eta = 1 - \exp(-v_{\text{ч}} \cdot a), \quad (2.7)$$

где $v_{\text{ч}}$ – скорость дрейфа заряженных частиц по направлению к осадительному электроду, м/с ; a – коэффициент, характеризующий геометрические размеры аппарата и скорость газа в нем:

$$a = \frac{L\Pi}{f_{\text{э}}v_{\text{ч}}}, \quad (2.8)$$

где L – длина электрода, м ; Π – активный периметр осадительного электрода, м ; $f_{\text{э}}$ – площадь сечения активной зоны, ограниченной стенками осадительного электрода, м^2 (для пластинчатых электродов $\Pi / f_{\text{э}} = 7,7$).

Реальная скорость дрейфа заряженных частиц зависит как от их размера, так и от напряженности поля. Ориентировочно скорость дрейфа для частиц различных диаметров можно принять по табл. 2.5.

Таблица 2.4

Основные параметры электрофильтров

| Марка фильтра | Площадь активного сечения, м ² | Количество полей, шт. | Шаг между одноименными электродами, мм | Активная высота электродов, м | Активная длина поля, м | Общая площадь осаждения осадительных электродов, м ² | Габариты электрофильтра, м | | |
|---------------|---|-----------------------|--|-------------------------------|------------------------|---|----------------------------|--------|-------------------------------|
| | | | | | | | длина | высота | ширина (по осям крайних опор) |
| УГ 1-2-10 | 10 | 2 | 275 | 4,20 | 2,51 | 420 | 9,6 | 12,3 | 3,0 |
| УГ 1-3-10 | 10 | 3 | 275 | 4,20 | 2,51 | 630 | 14,1 | 12,3 | 3,0 |
| УГ 1-2-15 | 15 | 2 | 275 | 4,20 | 2,51 | 630 | 9,6 | 12,3 | 4,5 |
| УГ 2-4-74 | 74 | 4 | 275 | 7,46 | 2,51 | 6300 | 18,6 | 15,4 | 12,0 |
| УГ 3-3-88 | 88 | 3 | 275 | 12,16 | 3,95 | 9200 | 18,8 | 21,8 | 9,0 |
| УГ 3-4-88 | 88 | 4 | 275 | 12,16 | 3,95 | 12 300 | 24,8 | 21,8 | 9,0 |
| УГ 1-3-15 | 15 | 3 | 275 | 4,20 | 2,51 | 940 | 14,1 | 12,3 | 4,5 |
| УГ 2-3-26 | 26 | 3 | 275 | 7,46 | 2,51 | 1690 | 14,1 | 15,4 | 4,5 |
| УГ 2-4-26 | 26 | 4 | 275 | 7,46 | 2,51 | 2250 | 18,6 | 15,4 | 4,5 |
| УГ 2-3-37 | 37 | 3 | 275 | 7,46 | 2,51 | 2360 | 14,1 | 15,4 | 6,0 |
| УГ 2-4-37 | 37 | 4 | 275 | 7,46 | 2,51 | 3150 | 18,6 | 15,4 | 6,0 |
| УГ 2-3-53 | 53 | 3 | 275 | 7,46 | 2,51 | 3370 | 14,1 | 15,4 | 9,0 |
| УГ 2-4-53 | 53 | 4 | 275 | 7,46 | 2,51 | 4500 | 18,6 | 15,4 | 9,0 |
| УГ 2-3-74 | 74 | 3 | 275 | 7,46 | 2,51 | 4700 | 14,1 | 15,4 | 12,0 |
| УГ 3-4-115 | 115 | 4 | 275 | 12,16 | 3,95 | 16 100 | 24,8 | 21,8 | 12,0 |
| УГ 3-3-177 | 177 | 3 | 275 | 12,16 | 3,95 | 18 400 | 18,8 | 21,8 | 18,0 |
| УГ 3-4-177 | 177 | 4 | 275 | 12,16 | 3,95 | 24 600 | 24,8 | 21,8 | 18,0 |
| УГ 3-3-230 | 230 | 3 | 275 | 12,16 | 3,95 | 24 200 | 18,8 | 21,8 | 24,0 |
| УГ 3-3-265 | 265 | 3 | 275 | 12,16 | 3,95 | 27 600 | 18,8 | 21,8 | 27,0 |
| УГ 3-4-265 | 265 | 4 | 275 | 12,16 | 3,95 | 36 900 | 24,8 | 21,8 | 27,0 |

Таблица 2.5

| | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| $d_{\text{ч}}$, мкм | 0,2 | 0,5 | 1 | 5 | 10 |
| $v_{\text{ч}}$, м/с | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,075 | 0,15 |

Так как скорость дрейфа, а следовательно, и степень очистки зависят от диаметра частиц пыли, общую степень очистки электрофильтра следует рассчитывать по фракционным их значениям в соответствии с формулой (2.3).

2.3. Расчет и выбор рукавных фильтров

Рукавные фильтры, как и электрофильтры, используются в качестве второй ступени при комплексной очистке газов. Они представляют собой вертикально расположенные секции рукавов, помещенные в стальной герметичный корпус прямоугольного или круглого сечения (рис. 2.8). Отношение длины рукавов к диаметру составляет 16–20 мм, а диаметр рукавов колеблется в пределах 125–300 мм.

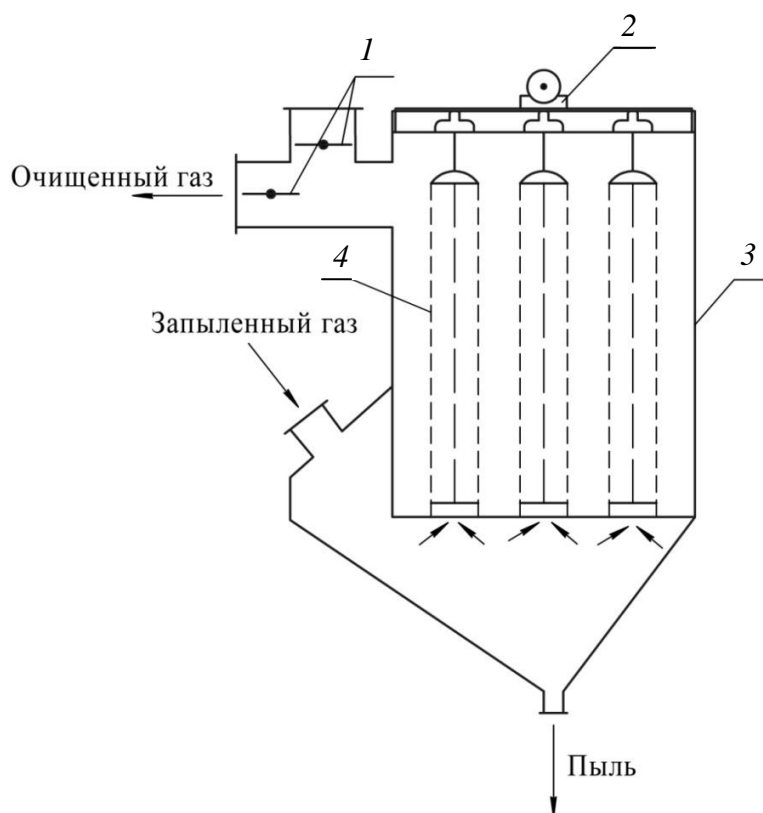


Рис. 2.8. Схема устройства рукавного фильтра:
 1 – клапан для очищенного газа и продувочного воздуха;
 2 – встряхивающий механизм; 3 – корпус; 4 – рукав

При прохождении запыленного газа через фильтровальную ткань твердые частицы постепенно осаждаются в порах между волокнами, соединяются друг с другом, образуя пористую перегородку, обеспечивающую совместно с тканью хорошую степень очистки газов. При образовании слоя пыли определенной толщины, когда резко увеличивается сопротивление фильтра (до 500–2000 Па), производят удаление пыли встряхиванием или обратной продувкой рукавов.

Рукавные фильтры работают в диапазоне температур, верхний предел которых определяется температуростойкостью материала, а нижний – точкой росы очищаемого газа. Степень очистки газа в рукавных фильтрах определяется экспериментальным методом.

Основные параметры наиболее распространенных рукавных фильтров приведены в табл. 2.6 (индексация фильтров: Ф – фильтр; Р – рукавный; О – обратная продувка; К – каркасный; И – с импульсной продувкой; римские цифры – количество секций; цифры после тире – поверхность фильтрации).

Таблица 2.6

Основные параметры рукавных фильтров

| Марка фильтра | Общая поверхность фильтрации, м ² | Число секций, шт. | Общее число рукавов, шт. | Диаметр рукава, мм | Длина рукава, м |
|---------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| ФРКИ-30 | 30 | 1 | 36 | 135 | 2,0 |
| ФРКИ-60 | 60 | 2 | 72 | 135 | 2,0 |
| ФРКИ-180 | 180 | 4 | 714 | 135 | 3,0 |
| ФРУ П-15 | 15 | 2 | 28 | 130 | 1,5 |
| ФРУ П-20 | 20 | 2 | 28 | 130 | 2,0 |
| ФРУ П-25 | 25 | 2 | 2 | 130 | 2,5 |
| ФРО-1250-1 | 1266 | 6 | 252 | 200 | 8,0 |
| ФРО-2500-1 | 2530 | 12 | 504 | 200 | 8,0 |
| ФРО-6000-2 | 3150 | 12 | 648 | 300 | 10,0 |
| ФРО-2000-3 | 20 520 | 10 | 2160 | 300 | 10,0 |

Общая поверхность фильтровальных рукавов F , м²:

$$F = z\pi dl, \quad (2.9)$$

где z – общее число рукавов в аппарате; l и d – длина и диаметр рукавов, м.

Так как во время работы фильтра с обратной продувкой часть его рукавов z_p отключается на регенерацию, рабочая поверхность рукавного фильтра F_p , m^2 , будет равна:

$$F_p = \frac{F(z - z_p)}{z}. \quad (2.10)$$

Для односекционных фильтров можно принять:

$$z_p = z(0,15 \div 0,20). \quad (2.12)$$

Расчетная рабочая поверхность фильтрации F_ϕ , m^2 :

$$F_\phi = \frac{V_\Gamma + V_{пр} + V_{п.в.}}{v_\Gamma}, \quad (2.13)$$

где V_Γ – расход запыленного газа, поступающего в аппарат, m^3/c ; $V_{пр}$ – расход продувочного воздуха, m^3/c ($V_{пр} = (0,1 \div 0,2)V_\Gamma$); $V_{п.в.}$ – расход подсосываемого воздуха, m^3/c ; v_Γ – допустимая удельная скорость газа, отнесенная к $1 m^2$ поверхности фильтра, $m^3/(m^2 \cdot c)$ ($v_\Gamma = (0,8 \div 1,0) \cdot 10^{-2}$).

Расход подсосываемого воздуха зависит от температуры запыленного газа, поступающего в фильтр. Если запыленный газ подходит к фильтру с высокой температурой t_Γ , которую необходимо снизить за счет разбавления холодным воздухом до температуры $t_{см}$, ниже допустимой t_d для данной ткани, то количество холодного воздуха V_B , m^3/c , можно рассчитать по формуле:

$$V_B = V_\Gamma \frac{\rho_\Gamma(t_\Gamma - t_{см})}{\rho_0(t_{см} - t_B)}. \quad (2.14)$$

2.4. Выбор тягодутьевых машин

Определяющими параметрами для подбора тягодутьевых машин (вентиляторов, дымососов, газодувок) являются объемный расход газов и гидравлическое сопротивление технологической линии, по которой эти газы перемещаются. Технологическая линия, как правило, состоит из трубопроводов и аппаратов. При выборе типа, марки и исполнения тягодутьевых машин следует учитывать температуру газа и наличие в нем механических примесей. Расход газа в технологической линии обычно определяют из расчета материального и теплового балансов установки в целом или отдельного аппарата либо берут из за-

дания на проектирование. Объемный расход газа определяют при его температуре и давлении на входе во всасывающий патрубок вентилятора.

Гидравлическое сопротивление технологической линии ΔP , Па, в общем случае определяется как сумма сопротивлений аппаратов $\Delta P_{\text{ап}}$ и трубопроводов $\Delta P_{\text{тр}}$ данной линии

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ап}} + \Delta P_{\text{тр}}. \quad (2.15)$$

Гидравлическое сопротивление аппаратов зависит от их конструкции, назначения, расхода газа. Расчет его величины производится по индивидуальным методикам либо определяется по справочным данным.

Гидравлическое сопротивление трубопровода $\Delta P_{\text{тр}}$, Па, в общем случае складывается из потерь давления на трение $\Delta P_{\text{т}}$, на местные сопротивления $\Delta P_{\text{м}}$, создание скоростного напора $\Delta P_{\text{ск}}$, преодоление разности статических давлений между конечной и начальной точками трубопроводов $\Delta P_{\text{ст}}$:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ск}} + \Delta P_{\text{ст}}. \quad (2.16)$$

Полное давление, создаваемое вентилятором, должно быть на 5–10% больше сопротивления технологической линии при заданном расходе среды. При наличии в технологической линии разветвлений, в которые газ подается или из которых отсасывается одним вентилятором, за расчетное значение сопротивления принимают потери давления в технологической линии той ветви, которая имеет наибольшее сопротивление из всех ветвей разветвления. Если плотность транспортируемого газа на входе во всасывающий патрубок вентилятора отлична от стандартного значения плотности воздуха для испытаний вентиляторов ($\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$), то полное давление вентилятора $P_{\text{в}}$, Па, при этом определяют по следующей зависимости:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{в.с}} \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (2.17)$$

где $P_{\text{в.с}}$ – полный напор вентилятора по справочным данным, Па.

При подборе вентиляторов следует учитывать, что в условиях работы на данную технологическую линию КПД (η) должен составлять не менее 90% от максимального значения при заданном числе оборотов.

Мощность электродвигателя привода вентилятора (дымососа) $N_{\text{вент}}$, кВт, определяется по формуле

$$N_{\text{вент}} = \frac{V_{\text{г}} P_{\text{в.с}}}{3600 \cdot 102 g \eta_{\text{г}} \eta_{\text{м}}}, \quad (2.18)$$

где $\eta_{\text{г}}$ и $\eta_{\text{м}}$ – КПД вентилятора (гидравлический и механический).

Характеристику и тип вентилятора выбирают по каталогам и справочникам.

2.5. Расчет рекуперативного теплообменника

При обжиге изделий строительной керамики, керамзита, цементного клинкера, получении силикатных расплавов дымовые газы, покидая рабочее пространство печи, уносят значительное количество теплоты, которая тем больше, чем выше температура газов и чем ниже коэффициент использования теплоты в печи. Утилизация теплоты отходящих газов позволяет достичь значительной экономии топлива, что является одним из путей снижения себестоимости выпускаемой продукции.

Теплообменные аппараты по способу передачи теплоты делятся на рекуперативные, регенеративные и контактные.

В рекуперативных аппаратах, наиболее распространенных в химической промышленности и промышленности строительных материалов, теплоносители проходят по различным объемам, разделенным твердой (обычно металлической) стенкой, через которую происходит теплообмен. Такие теплообменники в зависимости от конструктивного исполнения бывают трубчатые, пластинчатые, спиральные, теплообменники с рубашкой, с оребренной поверхностью и др.

В промышленности наибольшее применение получили *кожухотрубные* теплообменники благодаря простоте конструкции и надежности в работе.

Кожухотрубчатый теплообменник жесткой конструкции (рис. 2.9), состоит из корпуса (или кожуха) 1 и приваренных к нему трубных решеток 2 с пучком труб 3. Выступающие из корпуса части решеток являются одновременно фланцами 5, к которым на прокладках и болтах 6 крепятся днища 4. Теплообменники крепятся на лапах 7. Кожухотрубчатые теплообменники располагаются вертикально или горизонтально.

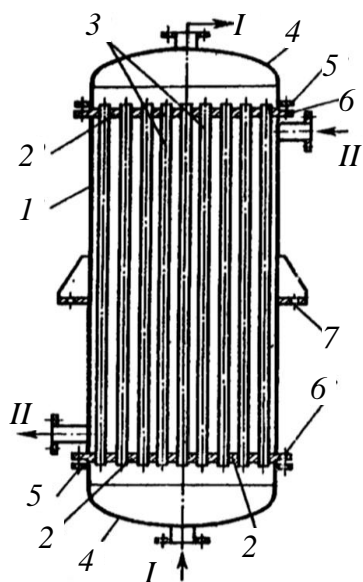


Рис. 2.9. Кожухотрубчатый теплообменник:

- 1 – корпус; 2 – трубные решетки; 3 – трубы;
4 – днища; 5 – фланцы;
6 – болты; 7 – лапы;
I, II – движение теплоносителей

В кожухотрубчатом теплообменнике один теплоноситель (I) движется внутри труб в трубном пространстве, а второй (II) – в межтрубном, омывая пучок труб снаружи. При этом нагреваемую среду направляют снизу вверх (в вертикальных аппаратах), а среду, отдающую теплоту, – в противоположном направлении.

Для увеличения скорости протекания в трубном и межтрубном пространствах устанавливают перегородки, уменьшая сечение потока жидкости. Вследствие меньшей площади сечения скорость жидкости в многоходовом теплообменнике возрастает (по отношению к скорости в одноходовом теплообменнике) в число раз, равное числу ходов.

При большой разности температур за счет неодинаковых температурных удлинений в местах заделки труб в решетках и сварочных швах присоединения кожухов к фланцам возникают значительные напряжения, которые могут превысить предел прочности материала. Для предотвращения разрушения аппарата применяются конструкции, в которых пучок труб перемещается относительно кожуха, компенсируя температурные удлинения (с линзовым компенсатором; с плавающей головкой; с U-образными трубами). Такие конструкции применяются при разности температур пучка труб и кожуха, превышающей 40–50°C.

Теплотехнический расчет рекуператоров заключается в определении поверхности нагрева и определении температуры отходящих газов на выходе из теплообменника.

Поверхность теплообмена в рекуперативном теплообменнике при стационарном теплообмене определяется из основного уравнения теплопередачи:

$$Q = KF\Delta t_{cp}, \quad (2.19)$$

где Q – тепловой поток, Вт; K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · °С); F – поверхность теплопередачи, м²; Δt_{cp} – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителей, °С.

Тепловой поток для рекуперативного теплообменника, использующего в качестве теплоносителей дымовые газы и атмосферный воздух, находится из уравнения теплового баланса:

$$Q = \psi \left[V_{0д.г} \cdot \rho_{0д.г} (C'_{д.г} \cdot t'_{д.г} - C''_{д.г} \cdot t''_{д.г}) \right] = \\ = V_{0в} \cdot \rho_{0в} (C''_{в} \cdot t''_{в} - C'_{в} \cdot t'_{в}), \quad (2.20)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий потери тепла от дымовых газов в окружающую среду ($\psi \approx 0,9$); $V_{0д.г}$, $V_{0в}$ – расход соответственно дымовых газов и воздуха при нормальных условиях, м³/с; $\rho_{0д.г}$, $\rho_{0в}$ – плотность соответственно дымовых газов и воздуха, кг/м³; $C'_{д.г}$, $C''_{д.г}$ – теплоемкость дымовых газов соответственно на входе и на выходе из теплообменника, Дж/(кг · °С); $t'_{д.г}$, $t''_{д.г}$ – температура дымовых газов на входе и на выходе из теплообменника соответственно, °С; $C''_{в}$, $C'_{в}$ – теплоемкость воздуха на выходе и на входе в теплообменник соответственно, Дж/(кг · °С); $t''_{в}$, $t'_{в}$ – соответственно температура воздуха на выходе и на входе в теплообменник, °С.

При известных значениях коэффициентов теплоотдачи горячего и холодного теплоносителей $\alpha_{г}$ и $\alpha_{х}$, Вт/(м² · °С), соответственно, разделенных плоской теплопередающей стенкой толщиной $\delta_{ст}$, м, при стационарном теплообмене коэффициент теплопередачи рассчитывают по уравнению:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{г}} + r_{з.г} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{з.х} + \frac{1}{\alpha_{х}}}, \quad (2.21)$$

где $r_{з.г}$ и $r_{з.х}$ – термические сопротивления загрязнений поверхностей стенки со стороны горячего и холодного теплоносителей соответственно, (м² · °С)/Вт; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м · °С).

При использовании уравнения (2.21) с достаточной точностью рассчитывается значение K при теплопередаче через цилиндрическую стенку, если $\delta_{ст} < 0,15d_{вн}$, где $d_{вн}$ – внутренний диаметр цилиндрической стенки (трубы), м. При этом

$$\delta_{ст} = \frac{d_{н} - d_{вн}}{2}, \quad (2.22)$$

где $d_{н}$ – наружный диаметр стенки (трубы), м.

Поверхность теплопередачи при использовании в формуле (2.19) значения K для цилиндрической стенки, рассчитанного по упрощенной методике, определяется для среднего диаметра этой стенки:

$$F = \pi \cdot L \frac{d_{\text{н}} + d_{\text{вн}}}{2}, \quad (2.23)$$

где L – длина стенки (трубы), м.

Значения термических сопротивлений загрязнений поверхностей стенки в основном зависят от природы теплоносителя и его качества (чистоты). Тепловая проводимость – величина, обратная термическому сопротивлению, т. е. $\frac{1}{r}$, Вт/(м² · °С). Если величину $\frac{1}{K}$ характеризовать как общее термическое сопротивление процессу теплопередачи R , (м² · °С)/Вт, а $\frac{1}{\alpha_{\text{г}}}$ и $\frac{1}{\alpha_{\text{х}}}$ – как термические сопротивления теплоотдаче в горячем и холодном теплоносителях $r_{\text{г}}$ и $r_{\text{х}}$, (м² · °С)/Вт, соответственно, то термическое сопротивление определяется по следующей зависимости:

$$R = r_{\text{г}} + r_{3.\text{г}} + r_{\text{ст}} + r_{3.\text{х}} + r_{\text{х}}, \quad (2.24)$$

где $r_{\text{ст}} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$ – термическое сопротивление теплопередающей стенки, (м² · °С)/Вт.

Для цилиндрической стенки (толстостенной трубы) уравнение взаимосвязи коэффициента теплопередачи K , Вт/(м² · °С), отнесенного к 1 м² наружной поверхности стенки, с коэффициентами теплоотдачи теплоносителей, находящимися с наружной и внутренней стороны стенки, $\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{вн}}$, Вт/(м² · °С), соответственно, имеет вид

$$K = \frac{1}{\frac{d_{\text{н}}}{\alpha_{\text{вн}} d_{\text{вн}}} + \frac{r_{3.\text{вн}} d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{d_{\text{н}}}{2\lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} + r_{3.\text{н}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}}, \quad (2.25)$$

где $r_{3.\text{вн}}$ и $r_{3.\text{н}}$ – термические сопротивления загрязнений на внутренней и наружной поверхностях стенки соответственно, (м² · °С)/Вт; $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м · °С).

В случае если вдоль всей поверхности теплопередачи температуры горячего и холодного теплоносителей $t_{\text{г}}$ и $t_{\text{х}}$, °С, постоянны (напри-

мер, горячий теплоноситель – насыщенный пар, конденсирующийся при постоянном давлении; холодный теплоноситель – жидкость, поступающая в теплообменник при температуре насыщения и кипящая в нем при постоянном давлении), то:

$$\Delta t_{\text{cp}} = t_{\text{r}} - t_{\text{x}}. \quad (2.26)$$

При прямотоке или противотоке теплоносителей, изменяющих свою температуру в процессе теплообмена и при этом не изменяющих фазового состояния, а также в случае, когда только один теплоноситель вдоль поверхности теплообмена имеет постоянную температуру, при определении Δt_{cp} сначала рассчитывают разности температур теплоносителей на концах теплообменника $\Delta t'$ и $\Delta t''$, °С. В нашем случае $\Delta t'$ – разность температур теплоносителей на входе горячего теплоносителя; $\Delta t''$ – разность температур теплоносителей на выходе горячего теплоносителя. Для прямотока:

$$\Delta t' = t'_{\text{r}} - t'_{\text{x}}; \quad (2.27)$$

$$\Delta t'' = t''_{\text{r}} - t''_{\text{x}}, \quad (2.28)$$

а для противотока:

$$\Delta t' = t'_{\text{r}} - t''_{\text{x}}; \quad (2.28)$$

$$\Delta t'' = t''_{\text{r}} - t'_{\text{x}}, \quad (2.30)$$

где t'_{r} и t''_{r} – температуры горячего теплоносителя на входе и выходе его из теплообменника, °С; t'_{x} и t''_{x} – температуры холодного теплоносителя на входе и выходе его из теплообменника, °С.

В общем случае средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}. \quad (2.31)$$

Если величина $\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} \leq 2$, где $\Delta t_{\text{б}}$ и $\Delta t_{\text{м}}$ – большая и меньшая разности температур из $\Delta t'$ и $\Delta t''$, то средняя разность температур рассчитывается по упрощенной формуле:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2}. \quad (2.32)$$

При изменении температур обоих теплоносителей вдоль поверхности теплообмена и перекрестной или смешанной схеме их движения средняя разность температур рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \Delta t_{\text{cp. лог}} \varepsilon_t, \quad (2.33)$$

где $\Delta t_{\text{cp. лог}}$ – средняя логарифмическая разность температур теплоносителей, °С; ε_t – поправочный коэффициент.

Значение $\Delta t_{\text{cp. лог}}$ вычисляют по формуле (2.31), приняв при тех же начальных и конечных температурах теплоносителей противоточную схему их движения. Величину ε_t определяют (рассчитывают) по специальным графическим и аналитическим зависимостям, учитывающим конкретную схему движения теплоносителей и их начальные и конечные температуры. Для теплообменников с четным числом ходов в трубном пространстве и одним ходом в межтрубном средняя разность температур

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{A}{\ln \frac{\Delta t' + \Delta t'' + A}{\Delta t' + \Delta t'' - A}}, \quad (2.34)$$

где A – коэффициент, °С.

В данном случае $\Delta t'$ и $\Delta t''$ вычисляют по формулам (2.29) и (2.30) при тех же конечных температурах теплоносителей, что и в расчетном теплообменнике.

При вычислении A используют следующие формулы:

$$A = \sqrt{(\delta t_{\text{r}}^2 + \delta t_{\text{x}}^2)}; \quad (2.35)$$

$$\delta t_{\text{r}} = t_{\text{r}}' - t_{\text{r}}''; \quad (2.36)$$

$$\delta t_{\text{x}} = t_{\text{x}}'' - t_{\text{x}}'. \quad (2.37)$$

При теплопередаче расчетными температурами теплоносителей являются их средние температуры. Для теплоносителя, температура которого в процессе теплообмена изменяется в меньшей мере, средняя температура t , °С:

$$t = 0,5(t' + t''), \quad (2.38)$$

где t' и t'' – температуры этого теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С.

Если теплоноситель, меняющий свою температуру меньше, является горячим, то средняя температура холодного теплоносителя t_x , °С:

$$t_x = t_r - \Delta t_{cp}, \quad (2.39)$$

где t_r – средняя температура горячего теплоносителя, вычисленная по формуле (2.38), °С.

Если холодный теплоноситель изменяет свою температуру меньше, чем горячий, то средняя температура горячего теплоносителя t_r , °С:

$$t_r = t_x + \Delta t_{cp}, \quad (2.40)$$

где t_x – средняя температура холодного теплоносителя, вычисленная по формуле (2.38), °С.

Определив поверхность нагрева, подбираем количество трубок. После того как мы конструктивно собрали теплообменник, проверяем скорости воздуха и дымовых газов в трубках и межтрубном пространстве. Если скорости совпадают с расчетными (определяемыми по расходу), то расчет закончен, если отличаются более чем на 15%, то расчет повторяется.

3. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Тема 1. Разработать проект барабанной сушилки для сушки глины. Рассчитать габаритные размеры, расход топлива, расход воздуха, объем отходящих газов. Подобрать вентилятор для подачи воздуха в топку, дымосос для отвода газов в дымовую трубу, циклон для очистки выхлопных газов от пыли. Исходные данные – по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|---|----------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность по влажной глине, т/ч | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 |
| Начальная влажность, % | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 |
| Конечная влажность, % | 5 | 5,5 | 5,2 | 6 | 7 |
| Температура дымовых газов на входе в сушилку, °С | 600 | 620 | 650 | 640 | 600 |
| Скорость газов при выходе из барабана, м/с | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,5 |
| Применяемое топливо | Мазут 20 | Мазут 40 | Мазут 60 | Мазут 80 | Мазут 20 |
| Концентрация пыли в газе на выходе из сушилки, г/м ³ | 20 | 15 | 10 | 15 | 25 |
| Фракционный состав пыли, %: | | | | | |
| до 10 мкм | 5 | 4 | 6 | 5,5 | 4,5 |
| 10–20 мкм | 15 | 20 | 25 | 18 | 16 |
| 20–40 мкм | 40 | 45 | 45 | 50 | 35 |
| 40–80 мкм | 40 | 31 | 24 | 26,5 | 44,5 |
| Коэффициент улавливания пыли после сушилки, не менее, % | 89 | 90 | 91 | 88 | 87 |

Примечание. Состав мазута см. в прил.

Тема 2. Разработать проект пневматической сушилки для сушки песка. Рассчитать габаритные размеры пневмотрубы, циклона, расход топлива, расход воздуха, объем отходящих газов. Подобрать вентилятор для подачи воздуха в топку, дымосос для отвода газов в дымовую

трубу, циклон для дополнительной очистки газов от пыли. Исходные данные – по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|---|----------------------------|-----|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность по высушенному песку, т/ч | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Начальная влажность песка, % | 7 | 6 | 5 | 6,5 | 5,5 |
| Конечная влажность песка, % | 1 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 1,3 |
| Температура газов на входе в трубу, °С | 400 | 410 | 420 | 380 | 440 |
| Применяемое топливо | Природный газ (состав № 1) | | | | |
| Концентрация пыли в газе после 1-го циклона, г/м ³ | 45 | 50 | 48 | 55 | 60 |
| Фракционный состав пыли, %: | | | | | |
| до 10 мкм | 4 | 5 | 6 | 5,5 | 4,5 |
| 10–20 мкм | 15 | 20 | 25 | 18 | 16 |
| 20–40 мкм | 40 | 45 | 35 | 36 | 50 |
| 40–70 мкм | 20 | 25 | 26 | 28 | 27 |
| 70–100 мкм | 31 | 5 | 8 | 12,5 | 22,5 |
| Коэффициент улавливания пыли вторым циклоном | 90 | 91 | 89 | 90 | 90 |

Примечания: 1. В графической части: первый лист (формат А3) – технологическая схема установки; на половине второго листа (формат А2) – общий вид пневматической сушилки, а на второй половине (формат А2) – сборочный чертеж рассчитанного и подобранного циклона; третий лист представляет собой детализовку циклона (в сумме – формат А1). 2. Состав природного газа см. в прил.

Тема 3. Разработать проект распылительной сушилки для сушки кормового мела. Рассчитать габаритные размеры, расход топлива, расход воздуха, объем отходящих газов. Подобрать дымосос для отвода газов в дымовую трубу, циклон для очистки выхлопных газов от пыли. Исходные данные – по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----|----|-----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность по суспензии, т/ч | 8 | 8,5 | 9 | 9,5 | 10 |
| Начальная влажность суспензии, % | 48 | 49 | 50 | 52 | 54 |

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|---|----------------------------|----|-----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Влажность порошка, % | 3 | 5 | 3,5 | 4 | 4,5 |
| Применяемое топливо | Природный газ (состав № 2) | | | | |
| Концентрация пыли в газе на выходе из сушилки, г/м ³ | 20 | 21 | 23 | 26 | 27 |
| Фракционный состав пыли, %: | | | | | |
| до 10 мкм | 5 | 4 | 6 | 3 | 4 |
| 10–20 мкм | 16 | 18 | 19 | 25 | 20 |
| 20–40 мкм | 35 | 36 | 34 | 37 | 33 |
| 40–60 мкм | 26 | 25 | 24 | 23 | 27 |
| 60–80 мкм | 18 | 17 | 17 | 12 | 16 |
| Коэффициент улавливания пыли после сушилки, не менее, % | 90 | 92 | 92 | 90 | 91 |

Примечание. Состав природного газа см. в прил.

Тема 4. Разработать проект вращающейся печи для обжига клинкера. Составить материальный и тепловой балансы. Рассчитать необходимое количество топлива, определить основные габаритные размеры печи, подобрать по полученным данным одну из нормализованных печей. Исходные данные – по табл. 3.4.

Таблица 3.4

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|--|----------------|-------------|----------------|--------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность печи по клинкеру, т/ч | 25 | 35 | 50 | 75 | 125 |
| Вид топлива, применяемого для обжига клинкера – каменный уголь | Донецкий | Кемеровский | Карагандинский | Воркутинский | Канский |

Примечание. Состав каменного угля см. в прил.

Тема 5. Разработать проект туннельной печи для обжига керамического кирпича. Составить материальный и тепловой балансы печи. Рассчитать материальный и тепловой балансы. Рассчитать необходимое количество топлива, определить основные габаритные размеры печи, подобрать на основании расчетов одну из нормализованных печей. Исходные данные – по табл. 3.5.

Таблица 3.5

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|--|----------------------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность кирпича в год, млн. шт. | 25 | 30 | 25 | 50 | 75 |
| Продолжительность обжига, ч | 24 | 32 | 24 | 32 | 24 |
| Вид топлива, применяемого для обжига кирпича | Природный газ (состав № 3) | | | | |

Примечание. Состав природного газа см. в прил.

Тема 6. Спроектировать установку для пропаривания газобетонных панелей. Подобрать стандартизированный автоклав и рассчитать необходимое количество аппаратов по заданной производительности. Составить тепловой баланс аппарата. Сделать расчет теплоизоляции автоклава. Рассчитать и подобрать рекуперативный теплообменник. Исходные данные – по табл. 3.6.

Таблица 3.6

Исходные данные к курсовому проекту

| Исходные данные | Номер варианта | | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Производительность в год, тыс. м ³ | 90 | 100 | 110 | 130 | 140 |
| Плотность панелей, кг/м ³ | 720 | 650 | 690 | 700 | 780 |
| Размеры панелей, м×м×м | 6,0×2,6×0,5 | 6,2×2,5×0,5 | 6,1×2,6×0,7 | 6,1×2,6×0,6 | 6,0×2,4×0,6 |
| Влажность бетона, % | 10,5 | 9 | 9,5 | 10 | 11 |
| Максимальное давление пара в автоклаве, МПа | 1,2 | | | | |

Примечание. Режим автоклавной обработки принять, ч: выгрузка-загрузка – 0,5; повышение температуры от 40 °С до 100 °С – 1,1; от 100 °С до 183 °С – 1,4; изотермический прогрев при 183 °С – 8,0; снижение давления – 4,0; охлаждение – 1,0; вакуумирование – 1,0; всего – 17,5.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Состав и теплотворная способность мазутов

| Марка мазута | Элементный состав, % | | | | | | $Q_n^p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ |
|--------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| | C ^r | H ^r | S ^r | N ^r + O ^r | A ^p | W ^p | |
| Мазут 20 | 87,2 | 11,7 | 0,5 | 0,6 | 0,1 | 2,0 | 40 400 |
| Мазут 40 | 87,4 | 11,2 | 0,5 | 0,9 | 0,2 | 3,0 | 39 440 |
| Мазут 60 | 87,6 | 10,7 | 0,7 | 1,0 | 0,2 | 3,0 | 39 020 |
| Мазут 80 | 87,6 | 10,5 | 0,9 | 1,0 | 0,3 | 4,0 | 38 690 |

Таблица 2

Состав и теплотворная способность природных газов

| Условный тип газа | Состав сухого газа, % (по объему) | | | | | | | $Q_n^p, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$ |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|--|
| | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | C ₂ H ₁₀ | C ₅ H ₁₂ | CO ₂ | N ₂ | |
| Состав 1 | 93,2 | 4,4 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,8 | 35 800 |
| Состав 2 | 85,9 | 3,1 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 9,4 | 33 370 |
| Состав 3 | 94,0 | 1,2 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 3,3 | 35 720 |

Таблица 3

Состав и теплотворная способность каменных углей

| Наименование | W ^p , % | A ^p , % | Состав горючей массы, % (по весу) | | | | | $Q_n^p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| | | | S ^r | C ^r | H ^r | N ^r | O ^r | |
| Донецкий | 13,0 | 19,6 | 5,9 | 75,0 | 5,5 | 1,5 | 12,0 | 20 265 |
| Кемеровский | 9,0 | 16,0 | 0,7 | 86,0 | 5,0 | 2,0 | 6,3 | 21 186 |
| Карагандинский | 7,5 | 27,0 | 1,2 | 85,0 | 5,1 | 1,4 | 7,3 | 22 421 |
| Воркутинский | 8,0 | 23,0 | 1,3 | 85,0 | 5,3 | 2,2 | 6,2 | 23 740 |
| Канский | 33,0 | 16,0 | 1,0 | 72,0 | 5,0 | 1,3 | 20,7 | 14 360 |

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП 002-2007. – Введ. 01.06.2007. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 751 с.
3. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 ч. / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – Ч. 1: Теоретические основы процессов и аппаратов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – 400 с.
4. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 ч. / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 2002. – Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты. – 368 с.
5. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М.: Альянс, 2007. – 576 с.
6. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков [и др.]. – СПб.: Химия, 1993. – 496 с.
7. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник: в 3 т. / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – Т. 2. – 1028 с.
8. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
9. Левченко, П. В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности / П. В. Левченко. – М.: Альянс, 2007. – 356 с.
10. Мазуров, Д. Я. Теплотехническое оборудование заводов вяжущих материалов / Д. Я. Мазуров. – М.: Стройиздат, 1975. – 283 с.
11. Павлов, В. Ф. Основы проектирования тепловых установок / В. Ф. Павлов, С. Н. Павлов. – М.: Высшая школа, 1987. – 143 с.
12. Мечай, А. А. Теплотехнические расчеты в технологии вяжущих веществ / А. А. Мечай, С. В. Плышевский. – Минск: БГТУ, 2007. – 178 с.
13. Левицкий, И. А. Расчет тепловых процессов, установок и агрегатов керамического производства / И. А. Левицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 178 с.

14. Коузов, П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности / П. А. Коузов, А. Д. Мальгин, Г. М. Скрябин. – М.: Химия, 1982. – 255 с.

15. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов [и др.]. – М.: Химия, 1981. – 392 с.

16. Левданский, Э. И. Расчет промышленных установок для сушки сыпучих и кусковых материалов / Э. И. Левданский. – Минск.: БГТУ, 1992. – 83 с.

17. Соломахова, Т. С. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики. Справочник / Т. С. Соломахова, К. В. Чебышева. – М.: Машиностроение, 1980. – 176 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Структура курсового проекта | 4 |
| 2. Расчет и подбор вспомогательного оборудования | 6 |
| 2.1. Расчет циклона | 6 |
| 2.2. Расчет и выбор электрофильтров | 14 |
| 2.3. Расчет и выбор рукавных фильтров..... | 17 |
| 2.4. Выбор тягодутьевых машин | 19 |
| 2.5. Расчет рекуперативного теплообменника | 21 |
| 3. Тематика курсовых проектов..... | 28 |
| Приложение | 32 |
| Рекомендуемая литература | 33 |

ПРОЦЕССЫ И АГРЕГАТЫ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Составители: **Францкевич** Виталий Станиславович
Левданский Эдуард Игнатъевич

Редактор *Е. К. Лабоха*
Компьютерная верстка *Я. Ч. Болбот*
Корректор *Е. К. Лабоха*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.