

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составители

Л. Н. Меркушева
С. О. Шутов

**ПРОЦЕССЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ, ОКОМКОВАНИЯ
И СКЛАДИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

**Методические указания к самостоятельной работе
для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией специализации
130406.65 «Обогащение полезных ископаемых»
в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2015

Рецензенты:

Клейн М. С. – доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых

Удовицкий В. И. – доктор технических наук, профессор, председатель учебно-методической комиссии специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых»

Меркушева Людмила Николаевна, Шутов Станислав Олегович.
Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения: методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов специальности 130400.65 «Горное дело», образовательная программа 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», всех форм обучения / сост.: Л. Н. Меркушева, С. О. Шутов.– Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: PentiumIV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания содержат рекомендации по изучению тем, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

© КузГТУ, 2015
© Меркушева Л. Н.,
Шутов С. О.,
составление, 2015

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания для самостоятельной работы студентов составлены на основании требований федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки инженеров специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых».

1. Цели освоения дисциплины

Целью работы является оказание методической помощи при самостоятельной работе студентов во время изучения дисциплины «Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения».

Самостоятельная работа студентов (СРС) – неотъемлемое и важное звено в образовательном процессе. СРС помогает более углубленно изучать дисциплину в течение семестра, способствует закреплению полученных знаний, развитию навыков работы с литературой, формирует культуру умственного труда. Опыт самостоятельного поиска информации и приобретения знаний будет необходим на протяжении всей будущей профессиональной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения» относится к базовой части профессионального цикла С.3 и опирается на знания, полученные при изучении дисциплин согласно таблице.

Название дисциплины	Разделы
Физика	Свойства твердого тела, свойства кристаллов, физические свойства воды
Химия	Основные понятия и законы химии. Химические системы. Химическая связь
Флотация	Все разделы

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения»

Освоение дисциплины направлено на формирование профессиональных компетенций:

(ПК-6) – владением методами анализа, знанием закономерностей управления свойствами горных пород в процессах переработки твердых полезных ископаемых;

знать:

1) физические и химические основы, процессы, аппараты и технологии обогащения твердых полезных ископаемых;

2) принцип действия, устройство и технические характеристики аппаратов.

владеть:

1) научной терминологией в области обогащения;

(ПК-9) – способность выбирать технологию производства работ по обогащению полезных ископаемых, составлять необходимую документацию в соответствии с действующими нормативами;

знать:

1) процессы обезвоживания, окомкования и складирования минеральных продуктов и отходов обогащения.

(ПСК-6-3) – способность выбирать и рассчитывать основные технологические параметры эффективного и экологически безопасного производства работ по переработке и обогащению минерального сырья на основе знания принципов проектирования технологических схем обогатительного производства и выбора основного и вспомогательного обогатительного оборудования;

уметь:

1) Выбирать и рассчитывать оптимальный комплекс оборудования для реализации соответствующей технологической схемы обогащения и обосновывать оптимальные режимы ведения технологического процесса.

4. Структура и содержание дисциплины «Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (144 ч + 36 ч на экзамен).

4.1. Теоретическая часть дисциплины

№ недели	Раздел дисциплины, темы лекций и их содержание	Объем в часах	
		ОФ	ЗФ
1	1. Процессы обезвоживания, окомкования и складирования в технологических схемах обогащения полезных ископаемых. Классификация видов влаги. Показатели, характеризующие процесс обезвоживания. Классификация методов обезвоживания продуктов обогащения и осветления воды. Факторы, влияющие на эффективность обезвоживания [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–

№ недели	Раздел дисциплины, темы лекций и их содержание	Объем в часах	
		ОФ	ЗФ
2	2. Дренирование, как процесс обезвоживания. Факторы, влияющие на эффективность дренирования. Обезвоживание в бункерах и на дренажных складах. Обезвоживание на грохотах подвижных и неподвижных. Обезвоживание в ковшевых элеваторах. Назначение, устройство, принцип действия, основные показатели работы. Выбор и расчет производительности оборудования [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–
3	3. Теоретические основы процесса центрифугирования. Обезвоживание в фильтрующих центрифугах. Фактор разделения. Конструктивные особенности центрифуг ФВШ, ФВВ, ФГВ, ФВИ, Ведаг. Основные показатели работы. Конструктивные и технологические факторы, влияющие на работу центрифуг. Изменение показателей качества угля при центрифугировании [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	2
4	3.1. Осадительные центрифуги. Основные технологические параметры работы центрифуг. Осадительно-фильтрующие центрифуги [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–
5	4. Водно-угольные суспензии. Устойчивость суспензий. Влияние шламов на процессы обогащения. Способы управления устойчивостью суспензий [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–
6	Строение двойного электрического слоя. [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	2
7	4.1. Виды флокулянтов, классификация. Факторы, влияющие на эффективность действия флокулянтов. Приготовление растворов флокулянтов [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
8	4.2. Сгущение в цилиндрических сгустителях с центральным и периферическим приводом. Сгустители с осадкоуплотнителем. Сгущение в гидроциклонах. Осветление шламовых вод в наружных отстойниках [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
9	4.2. Влияние флокулянтов на процесс сгущения [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
10	5. Теоретические основы процесса фильтрования. Показатели, определяющие эффективность процесса. Конструктивные особенности вакуум-фильтров, технологические показатели работы [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
11	5. Дисковые вакуум-фильтры. Схемы отвода фильтрата, особенности компоновки [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	2
12	5.1. Фильтры избыточного давления. Пресс-фильтры. Конструктивные особенности, технологические показатели работы. Вакуум-фильтры. Схемы отвода фильтрата, особенности компоновки [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–
13	6. Теоретические основы процесса сушки. Свойства сушильных агентов. Факторы, влияющие на процесс сушки. Газовые барабанные сушилки. Газовые трубы сушилки. Сушилки кипящего слоя. [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	–
14	6. Тепловой расчет сушки. Скорость сушки [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
15	6.1. Топки. Системы пылеулавливания. Конструкции и технологические показатели. Правила безопасной сушки [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]	2/0,0555	
16	7. Процесс окомкования. Агрегатизация мелких угольных продуктов. Связующие. Аппаратурное и технологическое решение про-	2/0,0555	

№ недели	Раздел дисциплины, темы лекций и их содержание	Объем в часах	
		ОФ	ЗФ
	цесса [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]		
17	8. Складирование продуктов обогащения. Выбор и расчет бункеров. Дренажные склады. Укрытые склады [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]	2/0,0555	
ВСЕГО		34/0,9444	8

4.2. Лабораторные занятия

№ недели	№ раздела	Наименование работы	Объем в часах	
			ОФ	ЗФ
1	1	Лабораторная работа № 1 Исследование сгущения пульпы и осветления шламовой воды (I серия опытов).	4/0,1111	2
2	–	–	–	–
3	7	Лабораторная работа № 1 Исследование сгущения пульпы и осветления шламовой воды (II серия опытов).	4/0,1111	2
4	–	–	–	–
5	1,7	Текущий контроль по темам. Защита лабораторных работ. Лабораторная работа № 2. Изучение процесса фильтрования угольных шламов на вакуум-фильтрах (I, II серии опытов).	4/0,1111	–
6	–	–	–	–
7	4	Лабораторная работа № 2. Изучение процесса фильтрования угольных шламов на вакуум-фильтрах (III, IV серии опытов).	4/0,1111	2
8	–	–	–	–
9	4	Текущий контроль по темам. Защита лабораторной работы. Лабораторная работа № 3. Фильтрование суспензии под давлением (фильтрование отходов флотации).	4/0,1111	–
10	–	–	–	–
11	8	Лабораторная работа № 3. Фильтрование суспензии под давлением (фильтрование необогащенных шламов).	4/0,1111	2
12	–	–	–	–
13	8	Текущий контроль по темам. Защита лабораторной работы. Лабораторная работа № 4. Исследование процесса осветления в осадительных центрифугах (I серия опытов).	4/0,1111	–
14	–	–	–	–
15	9	Лабораторная работа № 4. Исследование процесса осветления в осадительных центрифугах (II и III серии опытов).	4/0,1111	2

№ недели	№ раздела	Наименование работы	Объем в часах	
			ОФ	ЗФ
16	–	–	–	
17	9	Текущий контроль по темам. Защита лабораторной работы.	2/0,0555	–
ВСЕГО			34/0,9444	10

4.3. Курсовое проектирование

Тема курсового проекта: «Выбор и расчет сушильных установок». Проект выполняют студенты всех форм обучения. Студенты заочной формы обучения получают задания на установочной лекции.

Проект состоит из пояснительной записки, которая содержит разделы: тепловой расчет процесса сушки (раздел 1), выбор и расчет сушильного агрегата (раздел 2), выбор и расчет топки (раздел 3), выбор и расчет системы пылеулавливания (раздел 4). Меры безопасной сушки продуктов углеобогащения[3.2].

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выполнение курсового проекта является обязательным этапом закрепления раздела «Сушка продуктов обогащения полезных ископаемых», дисциплины «Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках», способствует углублению и закреплению полученных знаний.

Курсовой проект выполняется по заданию, выбранному по двум последним цифрам шифра зачетной книжки студента (прил. 1). Если число из двух последних цифр шифра больше 50, то из него следует вычесть 50; полученное число и будет номером варианта. Например, шифр зачетной книжки 033064, тогда вариант исходных данных $64 - 50 = 14$. При расчете курсового проекта следует использовать литературу [2, 3, 4].

Контроль правильности расчета проекта выполняется руководителем проекта.

Цель курсового проекта – выбор и расчет сушильных установок обогатительной фабрики. На основе заданных характеристик сушеного продукта, топлива для топки, кондиций на высушенный продукт, требований к безопасности процесса сушки, экологических требований, производится выбор и определение

количества топочных устройств, сушильных агрегатов и оборудования системы пылеулавливания.

Задачи курсового проекта

1. Выбрать тип сушильного агрегата, топки, схемы и оборудования пылеулавливания.

2. Определить необходимое количество и размеры сушильных агрегатов.

3. Определить необходимое количество тепла, размеры и количество топок.

4. Определить тип и количество оборудования на каждой стадии пылеулавливания.

5. Оформить пояснительную записку.

Курсовая работа состоит из пояснительной записки объемом 20-25 страниц текста оформленной на компьютере.

1. Пример расчета сушильных агрегатов

1.1. Газовая барабанная сушилка

Исходные данные для расчета:

Производительность сушилки по сырому материалу
 $M_1 = 160$, т/ч;

Начальная влажность материала $\omega_1 = 21$, %;

Конечная влажность материала $\omega_2 = 7$, %;

Максимальный кусок угля $d = 100$, мм;

Температура газов на входе в сушилку $t_1 = 600$, °С;

Температура газов при выходе из сушилки $t_2 = 120$, °С;

Температура воздуха поступающего в топку $t_3 = 21$, °С;

Влагосодержание воздуха $d_0 = 9,56$ г/кг;

Энтальпия воздуха $I_0 = 10,83$ кДж/кг;

Начальная температура материала $v_1 = 10$, °С;

Конечная температура материала $v_2 = 50$, °С;

Состав рабочей массы топлива:

углерод $C^P = 50 \%$;

водород $H^P = 3,5 \%$;

кислород $O^P = 3,0 \%$;

азот $N^P = 0,8 \%$;

сера $S^P = 1,5 \%$;

влажность топлива $W^P = 7,0 \%$;

зольность топлива $A^{dP} = 34,2 \%$.

1. Теплота сгорания топлива по Менделееву:

низшая

$$\begin{aligned} Q_p^H &= 339 \cdot C^P + 1030 \cdot H^P - 109 \cdot (O^P - S^P) - 251 \cdot W^P = \\ &= 339 \cdot 50 + 1030 \cdot 3,5 - 109 \cdot (3 - 1,5) - 251 \cdot 7,0 = \\ &= 18634,5, \text{ кДж/кг;} \end{aligned}$$

высшая

$$\begin{aligned} Q_p^B &= Q_p^H + 25,1 \cdot (9 \cdot H^P + W^P) = \\ &= 18634,5 + 25,1 \cdot (9 \cdot 3,5 + 7,0) = 19600,85, \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

2. Определяем количество испаряемой влаги

$$W = M_1 \cdot \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{(100 - \omega_2)} = 160000 \cdot \frac{(21 - 7)}{(100 - 7)} = 24086, \text{ кг,}$$

где ω_1 – начальная влажность материала, %;

ω_2 – конечная влажность материала, %;

M_1 – производительность сушилки по сырому материалу, т/ч.

3. Определяем количество подсушенного материала

$$M_2 = M_1 - W = 160000 - 24086 = 135913,98 \text{ кг.}$$

4. Теоретически необходимые масса и объем сухого воздуха, для сжигания 1 кг топлива

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 0,115 \cdot K^P + 0,342 \cdot H^P - 0,043 \cdot O^P = \\
 &= 0,115 \cdot 50,5625 + 0,342 \cdot 3,5 - 0,043 \cdot 3,0 = \\
 &= 6,88 \approx 7, \text{ кг/кг топлива};
 \end{aligned}$$

$$K^P = C^P + 0,375 \cdot S^P = 50 + 0,375 \cdot 1,5 = 50,5625, \text{ \%}.$$

$$\begin{aligned}
 V_0 &= 0,0899 \cdot C^P + 0,375 \cdot S^P - 0,0333 \cdot O^P + 0,265 \cdot H^P = \\
 &= 0,0899 \cdot 50 + 0,375 \cdot 1,5 - 0,0333 \cdot 3 + 0,265 \cdot 3,5 = 5,885, \text{ м}^3.
 \end{aligned}$$

5. Определяем коэффициент избытка воздуха α для состояния сушильного агента перед входом в сушильный барабан при $t_1 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$

энтальпия водяных паров определяется по формуле

$$i_{\text{в.п.}} = 2490 + C_{\text{в.п.}} \cdot t_1 = 2490 + 1,9 \cdot 600 = 3630, \text{ кДж/кг};$$

$$\begin{aligned}
 C_{\text{в.п.}} &= 0,45 + 0,00005 \cdot t_2 = 0,45 + 0,00005 \cdot 120 = \\
 &= 1,9, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)};
 \end{aligned}$$

теплоемкость сухих газов определяется по формуле

$$C'_{\text{с.г.}} = \frac{C_{\text{с.г.}}}{\rho_0} = \frac{1,764}{1,34} = 1,316, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)};$$

$$\begin{aligned}
 C_{\text{с.г.}} &= 1,314 + 0,000125 \cdot 6 \cdot t_1 = 1,314 + 0,000125 \cdot 6 \cdot 600 = \\
 &= 1,764, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C)},
 \end{aligned}$$

где $\rho_0 = 1,34 \text{ кг/м}^3$, плотность газов при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 760 ммрт.ст. [1, с. 180].

$$\alpha = \frac{Q_B^p \cdot \eta_T - \left(1 - \frac{(9 \cdot H^p + W^p + A^{dp})}{100}\right) \cdot C'_{с.г.} \cdot t_1}{L_0 \cdot \left(C'_{с.г.} \cdot t_1 + \frac{i_{в.п.} \cdot d_0}{1000} - I_0\right)} - \frac{\frac{(9 \cdot H^p + W^p)}{100} \cdot i_{в.п.}}{L_0 \cdot \left(C'_{с.г.} \cdot t_1 + \frac{i_{в.п.} \cdot d_0}{1000} - I_0\right)} =$$

$$= \frac{19600,85 \cdot 0,95 - \left(1 - \frac{(9 \cdot 3,5 + 7 + 34,2)}{100}\right) \cdot 1,316 \cdot 600}{7 \cdot \left(1,316 \cdot 600 + \frac{3672 \cdot 9,56}{1000} - 10,83\right)} - \frac{\frac{(9 \cdot 3,5 + 7,0)}{100} \cdot 3672}{7 \cdot \left(1,316 \cdot 600 + \frac{3672 \cdot 9,56}{1000} - 10,83\right)} = 2,98,$$

где $\eta_T = 0,95$ – КПД топки и камеры смешения, учитывающий потери тепла в окружающую среду [1, с. 180];

I_0 – энтальпия воздуха, кДж/кг (прил. 13);

d_0 – влагосодержание воздуха, г/кг сухих газов (прил. 13);

6. Определяем количество сухих газов на 1 кг сжигаемого топлива

$$M_{с.г.} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \frac{(9 \cdot H^p + W^p + A^{dp})}{100} =$$

$$= 1 + 2,98 \cdot 7 - \frac{(9 \cdot 3,5 + 7 + 34,2)}{100} = 21,174, \text{ кг/кг топлива.}$$

7. Определяем вес водяных паров на 1 кг сжигаемого топлива

$$M'_{\text{в.п.}} = \frac{(9 \cdot H^{\text{P}} + W^{\text{P}})}{100} + \alpha \cdot \frac{d_0 \cdot L_0}{1000} =$$

$$= \frac{(9 \cdot 3,5 + 7,0)}{100} + 2,98 \cdot \frac{9,56 \cdot 7,0}{1000} = 0,58 \text{ кг/кг топлива.}$$

8. Определяем влагосодержание газов при входе в сушильный барабан

$$d_1 = 1000 \cdot \frac{M'_{\text{в.п.}}}{M_{\text{с.г.}}} = \frac{1000 \cdot 0,58}{21,14} = 27,461, \text{ г/кг сухих газов.}$$

9. Определяем энтальпию газов по диаграмме $I-d$ при $t_1 = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ и $d_1 = 27,461 \text{ г/кг}$ сухих газов

$$I_1 = 889,535 \text{ кДж/кг (213,488 ккал/кгс);}$$

расчет по формуле дает то же значение

$$I_1 = C'_{\text{с.г.}} \cdot t_1 + \frac{d_1}{1000} \cdot i_{\text{в.п.}} = 1,316 \cdot 600 + \frac{27,487}{1000} \cdot 3672 =$$

$$= 889,535 \text{ кДж/кг (213,488 ккал/кгс).}$$

10. Определяем величину

$$\Delta = C_{\text{в.п.}} \cdot v_1 + q_{\text{д}} - \sum q_{2,3,5},$$

где $q_{\text{д}} = 0$; $q_3 = 0$;

расход тепла на подогрев сушеного материала определяем по формуле

$$q_2 = \frac{M_2}{W} \cdot C_{\text{м}} \cdot (v_2 - v_1) = \frac{135913,98}{24086} \cdot 1,223 \cdot (50 - 10) =$$

$$= 276,116, \text{ кДж/кг (66,268 ккал/кгс),}$$

где $C_{\text{м}}$ – теплоемкость материала;

$$C_{\text{м}} = C_{\text{с.м.}} \cdot \frac{(100 - \omega_2)}{100} + C_{\text{вод}} \cdot \frac{\omega_2}{100} =$$

$$= 1 \cdot \frac{(100 - 7,0)}{100} + 4,19 \cdot \frac{7,0}{100} =$$

$$= 1,223, \text{ кДж/к (кк} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} (0,294 \text{ ккал/ (ккг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}),$$

где $C_{с.м.} = 1 \text{ кДж/ (кг} \cdot \text{°C)} = 0,24 \text{ ккал/ (кгс} \cdot \text{°C)}$ – теплоемкость сухого материала (прил.12);

$C_{вод} = 1 \text{ ккал/ (кгс} \cdot \text{°C)} = 4,19 \text{ кДж/ (кг} \cdot \text{°C)}$ – теплоемкость воды [1, с. 151].

Потери тепла через поверхность сушильного барабана определяем исходя из условий, что эти потери при соответствующей изоляции барабана не превышали бы 3 % от $q_1 + q_2$ [1, с. 181].

$$q_1 = i''_{в.п.} + C_{в.п.} \cdot v_1 = 2726,4 - 4,19 \cdot 10 = 2684,5, \text{ кДж/кг};$$

$$\begin{aligned} i''_{в.п.} &= 2490 + 1,97 \cdot t_2 = 2490 + 1,97 \cdot 120 = \\ &= 2726,4, \text{ кДж/кг (654,3 ккал)}; \end{aligned}$$

$$q_5 = \frac{(q_1 + q_2) \cdot 3}{100} = \frac{(2684,5 + 276,116) \cdot 3}{100} = 88,818, \text{ кДж/кг};$$

$$\begin{aligned} \Delta &= C_{в.п.} \cdot v_1 - \sum q_{2,5} = 4,19 \cdot 10 - 276,116 - 88,818 = \\ &= -323,035, \text{ кДж/кг (-77,528 ккал/кгс)}. \end{aligned}$$

11. Производим построение процесса сушки в диаграмме $I-d$, определяем положение точки C_2 при температуре $t_2 = 120 \text{ °C}$ (рис.1).

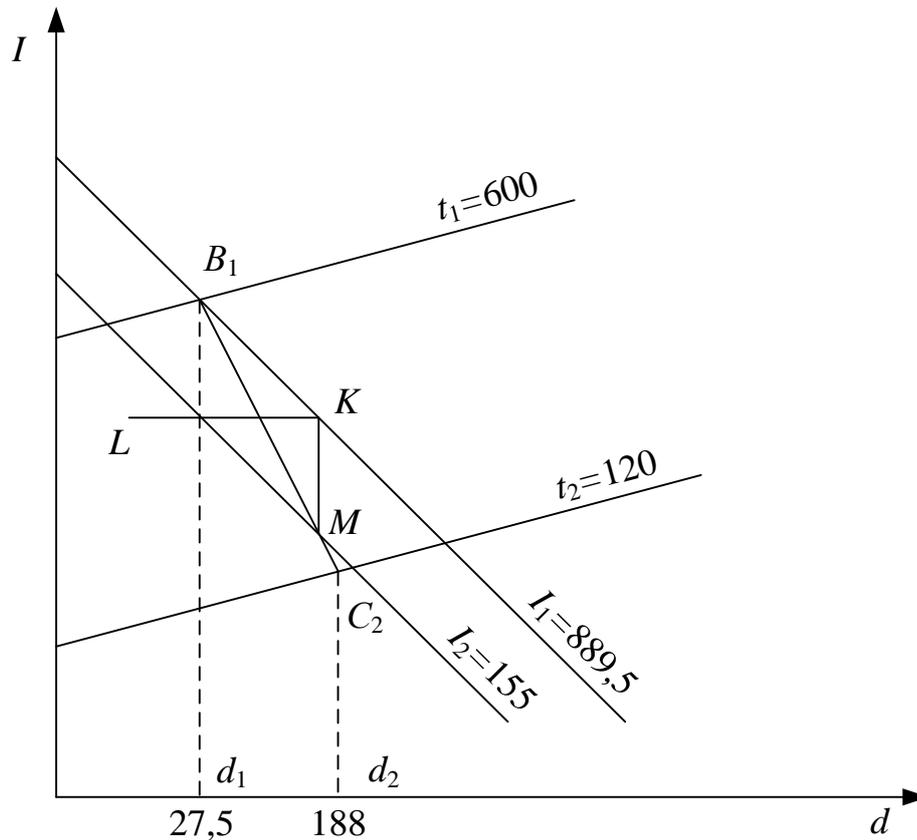


Рис.1. Диаграмма $I-d$ расчета газовой барабанной сушилки.

Для расчета применяем диаграмму $I-d$ построенную в системе координат МКГСС до $t = 1050$ °С. По формуле определяем KM , откладываем от выбранной точки K вертикально вниз прямую до пересечения с энтальпией I_2 и через полученную точку M из точки B_1 проводим прямую до пересечения в точке C_2 с изотермой $t_2 = 120$ °С.

По диаграмме получаем:

$I_2 = 155$, ккал/кг (649 кДж/кг), $d_2 = 188$, г/кг сухих газов;

$$KM = \frac{\Delta}{m} \cdot KL = \frac{-77,528}{500} \cdot 40 = -6,202,$$

12. Определяем расход сухих газов на 1 кг испаренной влаги

$$l = \frac{1000}{(d_2 - d_1)} = \frac{1000}{(188 - 27,49)} =$$

$$= 6,23, \text{ кг/кг испаренной влаги,}$$

где d_1 – влагосодержание газов при входе в сушильный барабан;
 d_2 – влагосодержание газов при выходе из сушильного барабана.

13. Определяем часовой расход сухих газов

$$L = l \cdot W = 6,23 \cdot 24086 = 150032,47, \text{ кг/ч,}$$

где W – количество испаряемой влаги.

14. Определяем часовой расход газов, поступающих в сушилку

$$M'_T = \frac{(M_{\text{с.г.}} + M'_{\text{в.п.}})}{M_{\text{с.г.}}} \cdot L = \frac{(21,174 + 0,58)}{21,174} \cdot 150032,47 =$$

$$= 15415,555, \text{ кг/ч,}$$

где $M_{\text{с.г.}}$ – количество сухих газов на 1 кг сжигаемого топлива;
 $M'_{\text{в.п.}}$ – вес водяных паров на 1 кг сжигаемого топлива.

15. Определяем необходимое количество топлива на испарение влаги

$$B = \frac{L}{M_{\text{с.г.}}} = \frac{150032,47}{21,174} = 7085,696, \text{ кг/ч.}$$

16. Определяем расход топлива с учетом потерь тепла от химической и механической неполноты сгорания, принимая $q_3 + q_4 = 20, \%$ [1, с. 182].

$$B_d = \frac{B}{0,8} = \frac{7085,696}{0,8} = 8857,12, \text{ кг/ч.}$$

17. Определяем расход тепла на 1 кг испаряемой влаги

$$q = \frac{B \cdot Q_p^B \cdot \eta}{W} = \frac{7085,696 \cdot 19600,85 \cdot 0,95}{24086} =$$

$$= 5477,924, \text{ кДж/кг (1314,702 ккал/кгс);}$$

с учетом потерь тепла

$$q_{\text{д}} = \frac{q}{0,8} = \frac{5477,924}{0,8} =$$

$$= 6847,405, \text{ кДж/кг испаренной влаги (1643,377 ккал/кгс).}$$

18. Определяем состав газов при входе в сушильный барабан на 1 кг сжигаемого топлива при коэффициенте воздуха $\alpha = 2,98$

$$M_{CO_2} = 3,67 \cdot \frac{C^P}{100} = 3,67 \cdot \frac{50}{100} = 1,835, \text{ кг};$$

$$M_{N_2} = 0,768 \cdot \alpha \cdot L_0 + \frac{N^P}{100} = 0,768 \cdot 2,98 \cdot 7 + \frac{0,8}{100} = 16,037, \text{ кг};$$

$$M_{O_2} = 0,232 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 = 0,232 \cdot (2,98 - 1) \cdot 7 = 3,218, \text{ кг};$$

$$M_{SO_2} = 2 \cdot \frac{S^P}{100} = 2 \cdot \frac{1,5}{100} = 0,03, \text{ кг};$$

$$M_{\text{в.п.}} = \frac{(9 \cdot H^P + W^P)}{100} + \alpha \cdot L_0 \cdot \frac{d_0}{1000} = \frac{(9 \cdot 3,5 + 7,0)}{100} +$$

$$+ 2,98 \cdot 7 \cdot \frac{9,56}{1000} = 0,585, \text{ кг.}$$

где C^P, N^P, S^P, H^P – состав рабочей массы топлива, углерод, азот, сера, водород соответственно;

W^P – влажность топлива;

L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива;

d_0 – влагосодержание воздуха.

19. Определяем объем газов на 1 кг топлива при выходе из сушилки

$$V_{CO_2} = \frac{M_{CO_2} \cdot 22,4}{\mu_{CO_2}} = \frac{1,835 \cdot 22,4}{44} = 0,934, \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2} \cdot 22,4}{\mu_{O_2}} = \frac{3,218 \cdot 22,4}{32} = 2,253, \text{ м}^3/\text{ кг};$$

$$V_{N_2} = \frac{M_{N_2} \cdot 22,4}{\mu_{N_2}} = \frac{16,037 \cdot 22,4}{28} = 12,829, \text{ м}^3/\text{ кг};$$

$$V_{SO_2} = \frac{M_{SO_2} \cdot 22,4}{\mu_{SO_2}} = \frac{0,03 \cdot 22,4}{64} = 0,0105, \text{ м}^3/\text{ кг};$$

$$V_{H_2O} = \frac{M_{H_2O} \cdot 22,4}{\mu_{H_2O}} \cdot \left(M_{\text{в.п.}} + \frac{W}{B} \right) =$$

$$= \frac{1 \cdot 22,4}{18} \cdot \left(0,62 + \frac{24086}{7095,309} \right) = 4,952, \text{ м}^3/\text{ кг};$$

$$V'_\Gamma = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{SO_2} =$$

$$= 0,934 + 4,952 + 2,253 + 12,829 + 0,0105 = 21,008, \text{ м}^3/\text{ кг}.$$

20. Определяем часовой объем газов при выходе из сушилки при $t_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$

$$V_\Gamma = \frac{(t_2 + 273)}{273} \cdot B \cdot V'_\Gamma = \frac{(120 + 273)}{273} \cdot 7085,696 \cdot 21,008 =$$

$$= 214288,794, \text{ м}^3/\text{ ч}.$$

21. Определяем диаметр сушильного барабана

$$D = \frac{0,188}{\sqrt{100 - \beta}} \cdot \sqrt{V_\Gamma} = \frac{0,188}{\sqrt{100 - 18}} \cdot \sqrt{\frac{214288,794}{2,5}} = 6,079, \text{ м},$$

где β – коэффициент заполнения барабана [1, с. 183];

ω – скорость выхода газов [1, с. 183].

Принимаем 2 сушильных барабана диаметром 3,2 м (прил. 3).

22. Определяем объем сушильного барабана

$$V_6 = \frac{W}{A} = \frac{24086}{800} = 30,1075, \text{ м}^3,$$

где A – напряжение по испаренной влаге (800–1000), кг/ (м³ · ч) [1, с. 183].

23. Определяем длину сушильного барабана

$$L = \frac{4 \cdot V_6}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 30,1075}{3,14 \cdot 3,2^2} = 3,745, \text{ м.}$$

Принимаем стандартный размер длины барабана $L = 22$ м (прил. 3).

1.2. Газовая труба сушилка

Расчет первых 20 пунктов аналогичен расчету газовой барабанной сушилки.

21. Определяем диаметр трубы сушилки

Скорость (м/с) витания частиц рассчитывается по формуле

$$\omega_{\text{вит.}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot \rho}{\rho_{\Gamma}}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{13 \cdot 1,3}{0,549}} = 28,967, \text{ м/с,}$$

где ρ – плотность частицы, кг/м³ (для угля $\rho = 1,3$ кг/м³);

d – максимальный кусок угля (прил. 1);

ρ_{Γ} – плотность газового потока, кг/м³;

$$\begin{aligned} \rho_{\Gamma} = \gamma_{\Gamma} &= \frac{P \cdot (1 + d_2)}{(d_2 + 0,622) \cdot 3,461 \cdot T} = \frac{745 \cdot (1 + 188)}{(188 + 0,622) \cdot 3,461 \cdot 393} = \\ &= 0,549, \text{ кг/м}^3, \end{aligned}$$

где P – атмосферное давление, мм рт. Ст.

$$T = t_2 + 273 = 120 + 273 = 393 \text{ К,}$$

где t_2 – температура газов при выходе из сушилки;

Рабочая скорость витания частиц определяется по формуле

$$\omega_p = \psi \cdot \omega_{\text{внт}} = 1,3 \cdot 28,967 = 37,657, \text{ м/с},$$

где ψ – коэффициент запаса (1,2–1,5) [1, с. 183].

Диаметр трубы-сушилki

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{V_1}{3600 \cdot \omega_r},$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_1}{(3600 \cdot \pi \cdot \omega_r)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 214317,41}{(3600 \cdot 3,14 \cdot 37,657)}} = 1,419 \text{ м};$$

Принимаем 2 трубы-сушилki – с диаметром трубы 900 мм (прил. 2).

22. Определяем объем сушильной трубы

$$V_{\text{б}} = \frac{W}{A} = \frac{24086}{800} = 30,108, \text{ м}^3,$$

где A – напряжение по испаренной влаге (800–1000), кг/ (м³ · ч) [1, с. 183].

23. Определяем длину сушильной трубы

$$L = \frac{4 \cdot V_{\text{б}}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 30,108}{3,14 \cdot 0,9^2} = 47,351, \text{ м};$$

Принимаем размер длины трубы $L = 25$ м (прил. 2).

1.3. Сушилка кипящего слоя

Исходные данные:

Производительность термоаэроклассификатора – $M_1 = 130$, т/ч;

Начальная влажность материала $\omega_1 = 25$, %;

Конечная влажность материала $\omega_2 = 7$, %;

Максимальный кусок сушеного материала $d = 30$, мм;

Температура газов на входе в сушилку $t_1 = 700$, °С;

Температура газов при выходе из сушилки $t_2 = 120$, °С;

Температура воздуха, поступающего в топку $t_3 = 21$, °С;

Влагосодержание воздуха $d_0 = 9,56$, г/кг сухих газов;

Энтальпия воздуха $I_0 = 10,83$, кДж/кг;

Начальная температура материала $v_1 = 10$, °С;

Конечная температура материала $v_2 = 50$, °С;

Состав рабочей массы топлива:

углерод $C^P = 53$, %;

водород $H^P = 3,5$, %;

кислород $O^P = 4,0$, %;

азот $N^P = 0,7$, %;

сера $S^P = 3,0$, %;

влажность топлива $W^P = 7,5$, %;

зольность топлива $A^{d_p} = 28,3$, %;

I. Материальный баланс термоаэроклассификатора.

1. Производительность по испаренной влаге

$$W = M_1 \cdot \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{(100 - \omega_2)} = 130 \cdot \frac{(25 - 7)}{(100 - 7)} = 25,161, \text{ т/ч.}$$

где ω_1 – начальная влажность материала, %;

ω_2 – конечная влажность материала, %;

M_1 – производительность термоаэроклассификатора, т/ч.

2. Производительность по высушенному углю

$$M_2 = M_1 - W = 130 - 25,161 = 104,839, \text{ т/ч.}$$

II. Расчет процесса горения.

1. Теплота сгорания топлива по Менделееву:

низшая

$$\begin{aligned}
 Q_p^H &= 339 \cdot C^P + 1030 \cdot H^P - 109 \cdot (O^P - S^P) - 251 \cdot W^P = \\
 &= 339 \cdot 53 + 1030 \cdot 3,5 - 109 \cdot (4 - 3) - 251 \cdot 7,5 = \\
 &= 19580,5, \text{ кДж/кг};
 \end{aligned}$$

ВЫСШАЯ

$$\begin{aligned}
 Q_p^B &= Q_p^H + 25,14 \cdot (9 \cdot H^P + W^P) = \\
 &= 19580,5 + 25,161 \cdot (9 \cdot 3,5 + 7,5) = 20561,79, \text{ кДж/кг}.
 \end{aligned}$$

2. Теоретически необходимые масса и объем сухого воздуха, для сжигания 1 кг топлива

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 0,115 \cdot C^P + 0,375 \cdot S^P - 0,0431 \cdot 2,7 \cdot O^P + 0,342 \cdot H^P = \\
 &= 0,115 \cdot 53 + 0,375 \cdot 3 - 0,0431 \cdot 2,7 \cdot 4 + 0,342 \cdot 3,5 = 7,952, \text{ кг};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_0 &= 0,0899 \cdot C^P + 0,375 \cdot S^P - 0,0333 \cdot O^P + 0,265 \cdot H^P = \\
 &= 0,0899 \cdot 53 + 0,375 \cdot 3 - 0,0333 \cdot 4 + 0,265 \cdot 3,5 = 6,684, \text{ м}^3.
 \end{aligned}$$

3. Энтальпия водяного пара в газах на входе в термоаэроклассификатор

$$\begin{aligned}
 C_{в.п.} &= 0,45 + 0,00005 \cdot t_2 = 0,45 + 0,00005 \cdot 120 = \\
 &= 1,9, \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C};
 \end{aligned}$$

$$i_{в.п.} = 2493 \cdot C_{в.п.} \cdot t_1 = 2493 \cdot 1,9 \cdot 700 = 3823, \text{ кДж/кг}.$$

4. Коэффициент избытка воздуха в газах на входе в термоклассификатор теплоемкость сухих газов определяется по формуле

$$\begin{aligned}
 C_{с.г.} &= 1,314 + 0,000125 \cdot 6 \cdot t_1 = 1,314 + 0,000125 \cdot 6 \cdot 700 = \\
 &= 1,839, \text{ кДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{C};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha &= \frac{Q_B^p \cdot \eta_T - \left(1 - \frac{(9 \cdot H^p + W^p + A^{dp})}{100}\right) \cdot C'_{c.g.} \cdot t_1}{L_0 \cdot \left(C'_{c.g.} \cdot t_1 + \frac{i_{в.п.} \cdot d_0}{1000} - I_0\right)} - \\
&\quad - \frac{\frac{(9 \cdot H^p + W^p)}{100} \cdot i_{в.п.}}{L_0 \cdot \left(C'_{c.g.} \cdot t_1 + \frac{i_{в.п.} \cdot d_0}{1000} - I_0\right)} = \\
&= \frac{20788,24 \cdot 0,95 - \left(1 - \frac{(9 \cdot 3,5 + 7,5 + 28,3)}{100}\right) \cdot 1,839 \cdot 700}{7,952 \cdot \left(1,839 \cdot 700 + \frac{3823 \cdot 9,56}{1000} - 10,83\right)} - \\
&\quad - \frac{\frac{(9 \cdot 3,5 + 7,5)}{100} \cdot 3823}{7,952 \cdot \left(1,839 \cdot 700 + \frac{3823 \cdot 9,56}{1000} - 10,83\right)} = 1,688,
\end{aligned}$$

где $\eta_T = 0,95$, КПД топки и камеры смешения, учитывающий потери тепла в окружающую среду [1, с. 180];

I_0 – энтальпия воздуха, кДж/кг (прил. 13);

d_0 – влагосодержание воздуха, г/кг сухих газов (прил. 13);

5. Масса водяных паров на входе в термоаэроклассификатор, получаемых в результате сжигания 1 кг топлива

$$\begin{aligned}
G_{в.п.} &= \alpha \cdot L_0 \cdot \frac{d_0}{100} + \frac{(9 \cdot H + W^p)}{100} = 1,687 \cdot 7,952 \cdot \frac{9,56}{100} + \\
&\quad + \frac{(9 \cdot 3,5 + 7,5)}{100} = 1,673, \text{ кг.}
\end{aligned}$$

6. Масса сухих газов на входе в термоаэроклассификатор, получаемых в результате сжигания 1 кг топлива

$$G_{с.г.} = 1 - \frac{(9 \cdot H^p + W^p + A^{d_p})}{100} + \alpha \cdot L_0 =$$

$$= 1 - \frac{(9 \cdot 3,5 + 7,5 + 28,3)}{100} + 1,688 \cdot 7,952 = 13,748, \text{ кг.}$$

7. Влагосодержание газов на входе в термоаэроклассификатор

$$d_1 = \frac{G_{в.п.}}{G_{с.г.}} \cdot 1000 = \frac{1,673 \cdot 1000}{13,748} = 121,694, \text{ г/кг сухих газов.}$$

III. Тепловой баланс термоаэроклассификатора

1. Расход тепла на испарение из угля 1 кг влаги

$$q_0 = 2490 + C_{в.п.} \cdot (v_2 - v_1) = 2490 + 1,9 \cdot (50 - 10) =$$

$$= 2569, \text{ кДж/кг.}$$

2. Расход тепла на нагрев угля

$$q_M = \frac{G_2}{W} \cdot C_M \cdot (v_2 - v_1) = \frac{102,84}{25,16} \cdot 1,223 \cdot (50 - 10) =$$

$$= 203,883, \text{ кДж/кг.}$$

$$C_M = C_{с.м.} \cdot \frac{(100 - \omega_2)}{100} + C_{вод} \cdot \frac{\omega_2}{100} = 1 \cdot \frac{(100 - 7)}{100} + 4,19 \cdot \frac{7}{100} =$$

$$= 1,223, \text{ кДж/кг.}$$

где $C_{с.м.} = 1 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C} = 0,24 \text{ ккал/кгс} \cdot ^\circ\text{C}$ – теплоемкость сухого материала (прил. 12);

$C_{вод} = 1 \text{ ккал/кгс} \cdot ^\circ\text{C} = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ – теплоемкость воды [1, с. 151].

3. Потери тепла в окружающую среду

$$q_{II} = 0,05 \cdot (q_0 + q_M) = 0,05 \cdot (2569 + 203,883) =$$

$$= 118,256, \text{ кДж/кг.}$$

4. Расход сухих газов на 1 кг испаренной влаги

$$e = \frac{(q_0 + q_M + q_{II})}{(C'_{\text{ВЛГ.}} \cdot t_1 - C''_{\text{ВЛГ.}} \cdot t_2)} =$$

$$= \frac{(2569 + 203,883 + 118,256)}{(1,379 \cdot 700 - 1,319 \cdot 120)} = 3,583, \text{ кг/кг испаренной влаги.}$$

$$C'_{\text{ВЛГ.}} = C_{\text{ВОД}} \cdot \frac{(0,314 + 0,00003 \cdot t_1)}{C_M} + C_{\text{В.П.}} \cdot \frac{d_1}{1000} =$$

$$= 4,19 \cdot \frac{(0,314 + 0,00003 \cdot 700)}{1,223} + 1,9 \cdot \frac{121,694}{1000} = 1,379, \text{ кДж/ (кг} \cdot \text{°C)};$$

$$C''_{\text{ВЛГ.}} = C_{\text{В.П.}} \cdot \frac{(0,314 + 0,00003 \cdot t_1)}{C_M} + C_{\text{В.П.}} \cdot \frac{d_1}{1000} =$$

$$= 4,19 \cdot \frac{(0,314 + 0,00003 \cdot 120)}{1,223} + 1,9 \cdot \frac{121,694}{1000} = 1,319, \text{ кДж/ (кг} \cdot \text{°C)};$$

5. Потери тепла с отходящими газами

$$q_2 = e \cdot (C'_{\text{ВЛГ.}} \cdot t_1 - C'_{\text{В.П.}} \cdot t_3) = 3,583 \cdot (1,378 \cdot 120 - 1,9 \cdot 21) =$$

$$= 449,523, \text{ кДж/кг.}$$

Суммарные затраты тепла на испарение 1 кг влаги

$$\sum q = q_0 + q_M + q_{II} + q_2 = 2569 + 203,883 + 118,256 + 449,523 =$$

$$= 3340,662, \text{ кДж/кг.}$$

Часовой расход топлива

$$B = \frac{\sum q \cdot W}{Q_p^H \cdot \eta} = \frac{3340,662 \cdot 25161}{19580,5 \cdot 0,95} = 4518,747, \text{ кг/ч.}$$

6. Влагосодержание газов на выходе из термоаэроклас-сификатора

$$d_2 = d_1 + \frac{1000}{e} = 121,694 + \frac{1000}{3,583} = 400,743, \text{ г/кг сухих газов.}$$

7. Среднее влагосодержание газов

$$d_{\text{ср}} = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{(121,694 + 400,743)}{2} = 261,218, \text{ г/кг сухих газов.}$$

8. Средняя разность температур между газом и материалом

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(t_1 - v_1) - (t_2 - v_2)}{2,3 \cdot \lg \frac{(t_1 - v_1)}{(t_2 - v_2)}} = \frac{(700 - 10) - (120 - 50)}{2,3 \cdot \lg \frac{(700 - 10)}{(120 - 50)}} = 267,881, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя температура газов в термоаэроклассификаторе

$$t_{\text{cp}} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} + \Delta t_{\text{cp}} = \frac{(10 + 50)}{2} + 267,881 = 297,881, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

9. Средний расход смеси сухих газов и водяного пара, отнесенный к 1 кг сухих газов

$$\begin{aligned} V_{0\text{cp}} &= 4,64 \cdot 10^{-6} \cdot (622 + d_{\text{cp}}) \cdot (273 + t_{\text{cp}}) = \\ &= 4,64 \cdot 10^{-6} \cdot (622 + 261,218) \cdot (273 + 297,881) = 2,339, \text{ м}^3 / \text{ кг}. \end{aligned}$$

10. Средний расход газов в термоаэроклассификаторе

$$\begin{aligned} V_{\Gamma} &= (1 + \alpha_{\text{тп}}) \cdot e \cdot W \cdot V_{0\text{cp}} = \\ &= (1 + 0,2) \cdot 3,583 \cdot 25161 \cdot 2,339 = 253143,1, \text{ м}^3 / \text{ ч}. \end{aligned}$$

11. Средняя плотность газов в термоаэроклассификаторе

$$\gamma_{\Gamma\text{cp}} = \frac{(1 + 0,001 \cdot d_{\text{cp}})}{V_{0\text{cp}}} = \frac{(1 + 0,001 \cdot 261,218)}{2,339} = 0,54, \text{ кг/м}^3.$$

12. Средний объемный расход газов в термоаэроклассификаторе

$$\begin{aligned} V_{\Gamma\text{cp}} &= \frac{e \cdot W \cdot \left(1 + \frac{d_{\text{cp}}}{1000}\right)}{\gamma_{0\text{cp}}} = \frac{3,583 \cdot 25161 \cdot \left(1 + \frac{261,218}{1000}\right)}{0,54} = \\ &= 167263,3, \text{ м}^3 / \text{ ч}. \end{aligned}$$

IV. Определение габаритных размеров термоаэроклассификатора

1. Скорость витания частиц материала максимальных размеров

$$V_{\text{вит.м}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot d}{\gamma_{\Gamma \text{cp}}}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 30}{0,54}} = 44,399, \text{ м/с,}$$

где ρ – плотность частицы, кг/м^3 (для угля $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$);
 d – максимальный кусок угля, мм (прил. 1);

2. Скорость витания частиц материала граничного размера

$$V_{\text{вит.м}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot d_{\text{м}}}{\gamma_{\Gamma \text{cp}}}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 6}{0,54}} = 19,856, \text{ м/с.}$$

где $d_{\text{м}}$ – минимальный кусок угля, мм (6–10 мм);

3. Активная скорость газов

$$V_{\text{акт}} = 3 \cdot V_{\text{вит.м}} = 3 \cdot 44,399 = 133,197, \text{ м/с.}$$

4. Плотность газов на входе в термоаэроклассификатор

$$\gamma_{\Gamma 1} = \frac{1,3 \cdot 273}{273 + t_1} = \frac{1,3 \cdot 273}{273 + 700} = 0,365, \text{ кг/м}^3.$$

5. Объем газов на входе в термоаэроклассификатор

$$V_{\Gamma 1} = \frac{e \cdot W_t \cdot \left(1 + \frac{d_1}{1000}\right)}{\gamma_{\Gamma 1}} = \frac{3,583 \cdot 25161 \cdot \left(1 + \frac{121,694}{1000}\right)}{0,365} =$$

$$= 277290,4, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

6. Площадь живого сечения газораспределительной решетки термоаэроклассификатора

$$F = \frac{V_{\Gamma 1}}{3600 \cdot V_{\text{акт}}} = \frac{277290,4}{3600 \cdot 133,197} = 0,578, \text{ м}^2.$$

Площадь газораспределительной решетки термоаэроклассификатора

$$F_p = \frac{F}{\omega_p} = \frac{0,578}{0,16} = 4,131, \text{ м}^2,$$

где ω_p – живое сечение термоаэроклассификатора (0,12–0,16) [5, с. 91].

7. Диаметр прутка газораспределительной решетки

$$d_{\text{пр}} = \frac{h_3 \cdot (1 - \omega_p)}{\omega_p} = \frac{3 \cdot (1 - 0,16)}{0,16} = 15,75, \text{ мм},$$

где h_3 – зазор между прутками, мм [5, с. 91].

8. Объем термоаэроклассификатора (от газораспределительной решетки до выхода термоаэроклассификатора)

$$V_{\text{кам}} = \frac{W}{A} = \frac{25161}{550} = 45,75 \text{ м}^3.$$

где A – напряжение по испаренной влаге (500–800), кг/ (м³ · ч) [5, с. 91].

9. Высота термоаэроклассификатора (от газораспределительной решетки до выходного окна)

$$H_{\text{кам}} = \frac{V_{\text{кам}}}{F_p} = \frac{45,75}{4,131} = 11,075, \text{ м}.$$

2. Расчет топki сушильной установки

Для примера расчета используем значения необходимых параметров, полученных при расчете газовой барабанной сушилки.

Размеры растопочных труб определяются объемом пропускаемых через них газов.

Производим расчет топki типа ТЧЗ, так как топki этого типа являются наиболее высокопроизводительными и универсальными.

1. Находим расход тепла на испарение из материала 1 кг влаги

$$q = 2493 + 1,91 \cdot (v_2 - v_1) = 2493 + 1,91 \cdot (50 - 10) = 2569,4, \text{ кДж/кг.}$$

2. Определяем количество теплоты необходимое для испарения всей влаги

$$Q = W \cdot q = 24086 \cdot 2569,4 = 61886623,66, \text{ кДж/ч.}$$

3. Рассчитываем размер колосниковой решетки выбранного типа топок.

$$S = \frac{Q}{R} = \frac{61886623,66}{5447000} = 11,362, \text{ м}^2.$$

Принимаем размер колосниковой решетки $S = 13,4 \text{ м}^2$ (прил. 5)

где R – тепловое напряжение площади колосниковой решетки $(1200–1400) \cdot 10^3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ [2, с. 253].

Принимаем

$$R = 1300 \cdot 10^3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} = 1300 \cdot 10^3 \cdot 4,19 = 5447000 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Принимаем топку типа ТЧЗ 2700 х 5600 (прил. 5).

4. Рассчитываем теплонапряжение топочного объема

$$R_1 = \frac{Q}{h \cdot S}$$

где R – тепловое напряжение для топки с цепной решеткой обратного хода или пневмо-забрасывателем $(150–240) \cdot 10^3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ [2, с. 254].

Принимаем

$$R = 160 \cdot 10^3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} = 160 \cdot 10^3 \cdot 4,19 = 670400 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Высота топки:

$$h = \frac{Q}{R_1 \cdot S} = \frac{61886623,66}{670400 \cdot 13,4} = 6,889, \text{ м.}$$

5. Рассчитываем площадь сечения трубы

$$F_{\text{тр}}^{\text{р}} = \frac{K \cdot B \cdot V_{\text{г}} \cdot (t_1 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot v_{\text{г}}} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 7085,697 \cdot 17,572 \cdot (600 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 7} = 6,32, \text{ м}^2,$$

где K – коэффициент, характеризующий пропускную способность растопочной трубы ($K = 0,4$) [2, с. 258].;

B – расход топлива, кг/ч;

t_1 – температура газов на входе в трубу, °С;

$v_{\text{г}}$ – скорость газов в трубе (4 – 10 м/с) [2, с. 259], принимаем $v_{\text{г}} = 7$ м/с;

$V_{\text{г}}$ – полный объем газов на 1 кг сжимаемого топлива,

$$V_{\text{г}} = \alpha \cdot V_0 = 2,98 \cdot 5,885 = 17,572, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где α – коэффициент избытка воздуха в топке;

V_0 – объем теоретически необходимого воздуха, требующегося для сжигания 1 кг топлива, м³/ч.

6. Рассчитываем диаметр трубы

$$D_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{тр}}^{\text{р}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,32}{3,14}} = 2,837, \text{ м},$$

принимаем трубы диаметром 1200 мм, сечением 1,13 м². Количество труб в установке должно обеспечивать скорость газов в пределах допустимой. Для наших условий это будет 4 трубы.

При принятой компоновке газовый поток разделится на 4 потока и составит

$$C = \frac{B \cdot V_{\text{г}}}{4} = \frac{7085,696 \cdot 17,572}{4} = 31127,463, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Проверяем скорость в каждой трубе

$$v_{\text{г}} = \frac{K \cdot C \cdot (t_1 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 1,13} = \frac{0,4 \cdot 31127,463 \cdot (600 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 1,13} = 9,788, \text{ м/с};$$

что не превышает допустимой скорости газов в трубе равной 10 м/с.

3. Выбор и расчет оборудования системы пылеулавливания

Очистка дымовых газов происходит в 3 стадии:

1. в пылеосадительных камерах или циклонах;
2. в батарейных циклонах различной конструкции;
3. в мокрых пылеуловителях типа МПР.

3.1. Расчет пылеосадительной камеры

Для примера расчета используем значения необходимых параметров, полученных при расчете газовой барабанной сушилки.

1. Скорость осаждения частиц (прил. 6)

$$V_{\text{осажд.}} = 0,051, \text{ м/с.}$$

2. Скорость газа находим по формуле

$$V_{\text{газа}} = \frac{V_{\Gamma}}{S} = \frac{59,525}{8,29} = 7,18, \text{ м/с;}$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,25^2}{4} = 8,29, \text{ м}^2.$$

3. Площадь поперечного сечения

$$S_{\text{п.к.}} = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\text{газа}}} = \frac{59,525}{7,18} = 8,29, \text{ м}^2.$$

Принимаем $B = 5, \text{ м}$; $H = 2, \text{ м}$.

4. Длина камеры

$$L = \frac{H \cdot V_{\text{газа}}}{V_{\text{осажд.}}} = \frac{2 \cdot 7,18}{0,051} = 218,6, \text{ м.}$$

5. Производительность пылеосадительной камеры

$$Q_{\text{камеры}} = B \cdot H \cdot V_{\text{осажд.}} = 5 \cdot 2 \cdot 0,051 = 0,51, \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$Q_{\text{камеры}} = 3600 \cdot 0,51 = 1836, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

3.2. Расчет циклонов

Для примера расчета используем значения необходимых параметров, полученных при расчете газовой трубы сушилки.

1. Задаемся типом циклона (прил. 7). В данном примере принимаем циклон типа ЦН–15

2. Рассчитываем необходимую площадь сечения циклонов

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{W_{\text{опт}}} = \frac{59,525}{3,5} = 17,007, \text{ м}^2,$$

где V_{Γ} – общий расход газа, м³/с;

$W_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость газа в аппарате (прил. 8).

3. Определяем диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}} = \sqrt{\frac{17,007}{0,785 \cdot 10}} = 1,47, \text{ м},$$

где N – количество циклонов, при котором W не должно превышать $W_{\text{опт}}$ более чем на 15 %.

4. Рассчитываем действительную скорость газов в циклоне

$$W = \frac{Q_p}{0,785 \cdot N \cdot D^2} = \frac{59,525}{0,785 \cdot 10 \cdot 1,47^2} = 3,5, \text{ м}^2,$$

5. Определяем коэффициент гидравлического сопротивления

$$\xi_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_1 + K_3 = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 155 + 0 = 118,575,$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона (прил. 8);

K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа (прил. 8);

K_3 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу;

ξ_1 – коэффициент гидравлического сопротивления (прил. 8).

6. Рассчитываем потери давления в циклоне

$$P = \frac{\xi_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{газа}} \cdot W^2}{2} = \frac{118,575 \cdot 1,31 \cdot 3,5^2}{2} = 951,416, \text{ Па.}$$

где $\rho_{\text{газа}}$ – плотность газа, кг/м^3 [1, с. 180].

3.3. Расчет батарейного циклона

Для примера расчета используем значения необходимых параметров, полученных при расчете газовой барабанной сушилки.

1. Определяем расход газов, при котором обеспечиваются оптимальные условия работы циклонного элемента

$$G_{\text{опт}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot W_{\text{опт}} = 0,785 \cdot 0,25^2 \cdot 3,5 = 0,172, \text{ м}^3/\text{с},$$

где D – внутренний диаметр элемента, м ($D = 250$ мм, наиболее применяемые на практике);

$W_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость потока в элементе, м/с (прил. 9, 11).

2. Рассчитываем число циклонных элементов, необходимых для оптимальных условий работы батарейного циклона

$$N_{\text{опт}} = \frac{V_{\text{г}}}{G_{\text{опт}}} = \frac{59,525}{0,172} = 346,074,$$

где $V_{\text{г}}$ – общий расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$.

Применяем 2 батарейных циклона типа ПБЦ с числом циклонных элементов 192 (прил. 9, 11).

3. Определяем действительную скорость потока в элементе

$$W = \frac{V_{\text{г}}}{N \cdot 0,785 \cdot D^2} = \frac{59,525}{384 \cdot 0,785 \cdot 0,25^2} = 3,159, \text{ м/с.}$$

4. Рассчитываем потери давления в батарейном циклоне

$$P = \frac{R \cdot \rho_{\text{газа}} \cdot W^2}{2} = \frac{150 \cdot 1,31 \cdot 3,159^2}{2} = 980,764, \text{ Па,}$$

где $\rho_{\text{газа}}$ – плотность газа, кг/м^3 [1, с. 180].

R – коэффициент гидравлического сопротивления батарейных циклонов (прил. 9, 11).

5. Рассчитывают рабочую производительность батарейного циклона ПБЦ

$$V_p = \frac{3600 \cdot N \cdot \pi \cdot D^2 \cdot W}{4} =$$

$$= \frac{3600 \cdot 384 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 3,159}{4} = 214289, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3.4. Расчет мокрого пылеулавливателя

Для примера расчета используем значения необходимых параметров, полученных при расчете газовой барабанной сушилки.

Принимаем мокрый пылеуловитель типа МПР, т. к. он отличается высокой эффективностью и производительностью.

$$V_{\Gamma} = 214288,794, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Выбираем 2 мокрых пылеулавливателя типа МПР–100 с производительностью 100000–125000 м³/ч (прил. 10).

Приложение 1

Задание на курсовой проект

Вариант	Производительность, т/ч	Начальная влажность материала, %	Конечная влажность материала, %	Сушильный агрегат	Температура газов на входе в сушилку, °С	Температура воздуха, поступающего в топку, °С	Влажность воздуха, %	Состав рабочей массы топлива, %						Зольность топлива, %	Максимальный кусок угля, мм
								углерод	водород	кислород	азот	сера	влага		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01	50	19	6	КС	650	22	50	48	3,5	3,5	0,9	2,5	8	33,6	30
02	70	20	7	ТС	850	20	51	49	3	3	0,9	2	8,5	33,6	13
03	60	21	6,3	ТС	800	21	52	48,5	3,5	3,5	0,9	2	8,5	33,6	13
04	140	22	7,5	ТС	900	22	53	50	2,5	4	0,9	0,5	4	38,1	13
05	70	20	6,5	СБ	725	20	55	50	2,5	5	0,9	0,5	5	36,1	100
06	90	22	7,3	СБ	720	17	54	51	2,5	4	0,9	1,5	4	36,1	100
07	90	23	6,7	СБ	700	15	53	51	2,5	5	0,9	1,5	5	34,1	100
08	150	21	6,9	ТС	820	18	58	50	3,5	5	0,9	1,5	5	34,1	13
09	100	22	7	СБ	750	19	60	52	3	3	0,9	3,5	6,5	31,1	100
10	180	21	7,1	ТС	800	15	63	51	3,5	3,5	0,9	3,5	6,5	31,1	13
11	120	20	7,2	СБ	700	18	57	50	3	3	0,9	3,5	6,5	33,1	100
12	140	22	7,7	СБ	750	20	68	48	3,5	3,5	0,9	4	7	33,1	13
13	150	22	7,5	СБ	775	17	65	45	3,6	4,5	0,9	0,6	7,5	37,9	100
14	160	21	7,4	ТС	800	19	68	47	2,5	3,6	0,9	0,6	7,5	37,9	13
15	180	21	7,3	КС	630	20	67	49	3,6	2,5	0,9	0,6	4,5	35,9	30
16	170	22	7,2	ТС	800	18	65	50	3,5	3,5	0,8	4	7	31,2	13
17	200	23	7	ТС	800	15	70	51	4	4	0,7	4	6,5	29,8	13
18	190	20	7	ТС	750	17	60	52	4,5	4,5	0,9	3,8	7	27,3	13
19	140	21	7,2	СБ	650	19	55	45	4	3	0,8	4	5,5	37,7	100
20	140	22	7,5	ТС	700	20	60	46	3,5	4	0,7	3	5	37,8	13

21	100	21	7,5	KC	550	19	65	47	3	3,5	0,9	2	6	37,6	30
22	70	19	6	KC	600	19	70	48	2,5	3	0,7	0,5	6	29,3	30
23	90	20	6,5	KC	650	20	66	49	3	3,5	0,75	1	6,5	26,3	30
24	160	21	7	KC	600	21	60	50	3,5	3	0,8	1,5	7	33,2	30
25	180	22	7,5	TC	750	22	55	51	4	4,5	0,85	2	7,5	30,2	13
26	90	22	8	TC	800	23	50	52	4,5	5	0,9	2,5	8	27,1	30
27	110	21	6	KC	600	19	50	53	4,5	5	0,95	3	8,5	26,1	30
28	130	20	6,5	KC	650	20	55	54	4	4,5	0,95	3,5	9	24,1	30
29	200	19	7	CB	700	21	60	48	3,5	4	0,9	0,5	9,5	33,6	100
30	110	22	7,5	CB	750	22	65	49	3	3,5	0,85	1	9,5	33,2	100
31	130	23	8	TC	800	23	70	50	2,5	3	0,8	1,5	9	33,2	13
32	150	24	6	KC	600	19	70	51	2,5	5	0,75	2	8,5	30,3	30
33	450	25	6,5	KC	580	20	65	52	3	4,5	0,7	2,5	8	29,3	30
34	130	25	7	CB	700	21	60	53	3,5	4	0,7	3	7,5	28,3	13
35	150	24	7,5	TC	750	22	55	54	4	3,5	0,75	3,5	7	27,3	13
36	170	23	8	TC	800	23	50	48,5	4,5	3	0,8	0,5	6,5	36,2	13
37	500	22	6	KC	600	19	72	49,5	4,5	3	0,81	1	7	34,2	30
38	150	21	6,5	KC	650	20	67	50,5	4	4,5	0,9	1,5	7,5	31,1	30
39	170	19,5	7	TC	780	21	62	51,5	3,5	5	0,95	2	8	29,1	13
40	190	20,5	7,5	CB	750	22	57	52,5	3	4,5	0,9	2,5	8,5	28,1	100
41	600	21,5	8	CB	800	23	52	53,5	2,5	4	0,85	3	9	27,2	13
42	170	22,5	6	KC	600	19	52	53,5	2,5	3,5	0,8	3,5	9,5	26,7	30
43	190	23,5	6,5	KC	650	20	57	53	3	3	0,75	3,5	9,5	27,3	30
44	210	24,5	7	CB	700	21	62	52,5	3,5	3	0,7	3	9	28,3	13
45	450	23,5	7,5	CB	750	22	67	52	4	3,5	0,7	2,5	8,5	28,8	100
46	190	22,5	8	CB	800	23	72	51,5	4,5	4	0,75	2	8	29,3	100
47	210	21,5	6	KC	600	19	70	51	4,5	4,5	0,8	1,5	7,5	30,2	30
48	230	20,5	6,5	KC	650	20	65	52	4	5	0,8	0,5	7	30,7	30

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
49	500	19,5	7	СБ	700	21	60	53	3,5	4,5	0,9	1	7,5	29,6	100
50	200	19	7,5	СБ	750	22	55	54	3	4	0,9	1,5	8	28,6	100

Примечание: КС – сушилка кипящего слоя, СБ – газовая барабанная сушиллка, ТС – газовая труба сушиллка.

Приложение 2

Технические характеристики труб-сушилок

Параметры	ТС-9	ТС-11	ТС-12,5	ТС-15
Диаметр трубы, мм	900	1100	1250	1500
Производительность, т/ч: – по влажному углю – по испаренной влаге	100 10	150 15	200 20-25	300 30-35
Температура сушильного агента, °С: – на входе – на выходе	700-1000 80-110	900-1000 80-110	700-1000 80-110	700-1000 80-110

Технические характеристики сушильных барабанов

Параметры	СБ 2,8-14ЛС	СБ 3,2-18ЛС	СБ 3,5-18ЛС	СБ 3,5-22ЛС	СБ 3,5-27ЛС
Диаметр, м	2,8	3,2	3,5	3,5	3,5
Длина, м	14	18	18	22	27
Толщина стенки, м	0,02	0,024	0,024	0,024	0,024
Габаритные размеры, м, не более:					
– длина	16,5	23,0	23,0	26,0	32,0
– ширина	4,9	6,15	6,15	6,15	6,15
– высота	5,3	8,8	8,8	8,8	8,8
Масса, т, не более:					
–с комплектующими из- делиями	102,0	145,6	224,7	243	267,4
– без комплектующих из- делий	98,7	132,3	216,1	234,3	258,8

Техническая характеристика сушилок «кипящего» слоя

Параметры	Донецкий КХЗ	Днепродзержинский КХЗ	Сибгипро- шахт	ВСС-35	Мак-Нелли
Влажность угля, %:					
– до сушки	12	23-34	17,8	18	11,6-13,6
– после сушки	8,2	12-13	5	6	5,2-5,6
Площадь решетки, м ²	2,5	7	29	12	20,5
Высота слоя, мм	200	500-600	-	-	-
Напряжение по влаге, т/(м ² ·ч)	2,2	1,8	-	-	-
Температура теплоносителя, °С	619	600	450-510	600	-
Производительность, т/ч:					
– по исходному углю	-	-	623	300	515,3-522,3
– по испаренной влаге	-	-	72,2	35	42,2-47,7
Удельный влагосъем, т/(м ² ·ч)	-	-	2,5	3	2,6

Приложение 5

Технические характеристики топок ТЧЗ

Параметры	2700×4000	2700×5600	2700×6500	2700×8000	4920×8000
Активная площадь зеркала горения, м ²	9,1	13,4	15,3	19,3	39
Размеры решетки, мм:					
– ширина	2700	2700	2700	2700	4920
– длина	4000	5600	6500	8000	8000
Забрасыватель:					
– ширина, мм	600	600	600	600	600
– число	2	2	2	2	4
Масса, т	21,4	25,7	27,2	33,5	-

38

Приложение 6

Зависимость скорости осаждения от диаметра частиц

Диаметр частиц, мм	0,1	0,2	0,4	1,0	2,0	4,0	10,0	20,0	40,0	100,0	400,0	1000,0
Скорость осаждения, см/с	0,000087	0,00023	0,00068	0,0035	0,0119	0,051	0,306	1,2	4,8	24,6	157,0	382,0

Приложение 7

Технические характеристики циклонов типа ЦВП

Параметры	ЦВП-3	ЦВП-4	ЦВП-5	ЦВП-6	ЦВП-8	ЦВП-10
Диаметр корпуса	315	400	500	630	800	1000
Производительность, тыс.м ³ /ч	1,3-2	2- 3,2	3,2-5	5- 8	8,1-12,8	12,7-20
Расход воды, л/с	1,24	1,37	1,61	1,87	2,35	2,73
Габаритные размеры, мм						
длина	603	560	890	1070	1425	1835
высота	2434	3014	3684	4554	5699	7044
Масса, кг	64	107	61	237	370	570

Приложение 8

Технические характеристики циклонов типа ЦН

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК- ЦН-34	СК-ЦН-34М
$W_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0
Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_1 :							
- без дополнительных устройств	75/80	165/170	155/163	245/250	520/600	1050/1150	2000
- с кольцевым диффузором	64/70	140/148	132/140	207/215	-	-	-
- с тангенциальным вводом газовой смеси	73	158	150	255	500	-	-
K_1 :придиаметре циклона, мм							
150;	0,85	0,85	0,85	0,94	1,0	1,0	1,0
200;	0,90	0,90	0,90	0,95	1,0	1,0	1,0

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
300;	0,93	0,93	0,93	0,96	1,0	1,0	1,0
450;	1,0	1,0	1,0	0,99	1,0	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_2 : при запыленности газа, кг/м ³ :							
0	1	1	1	1	1	1	1
10	0,95	0,93	0,93	0,96	0,81	0,98	0,99
20	0,93	0,92	0,92	0,94	0,79	0,95	0,97
40	0,92	0,91	0,91	0,92	0,78	0,93	0,95
80	0,90	0,89	0,90	0,90	0,77	0,92	-
120	0,87	0,88	0,87	0,87	0,76	0,91	-
150	0,86	0,87	0,86	0,5	0,75	0,92	-

Приложение 9

Технические характеристики батарейных циклонов типа ЦБ

Тип циклона	Число элементов в секции	$W_{\text{опт}}, \text{м/с}$	Производительность по газу одной секции, м ³ /с	Коэффициент сопротивления
ЦБ-254Р	25;30;40;50;60;80	4,5	5,6-16,2	90
ЦБ-231У	12;16;20;25;30; 42;56;63	4,5	2,2-11,7	110
ЦБ-2	20;25;30;36;42;56	4,5	4,84-13,6	70

Приложение 10

Технические характеристики мокрых пылеуловителей типа МПР

Параметры	ПМ-35А	МПР-25	МПР-75	МПР-100	МПР-150
Производительность, тыс. м ³ /ч	до 35	25-30	75	100-125	100-150
Запыленность газа на входе, г/м ³	2-4	15	25	25	25
Эффективность очистки, %	98-99	99	99	99	99
Удельный расход воды, г/м ³	80-100	100-200	100-200	100-200	100-200
Габаритные размеры:					
длина, мм	2245	1860	2900	6400	7200
ширина, мм	2500	1850	2900	3230	3850
высота, мм	6984	2100	3180	11080	12560
Масса, т	5,8	2,1	3,57	6,52	7,32

Приложение 11

Технические характеристики батарейных циклонов типа ПБЦ

Параметры	ПБЦ-15	ПБЦ-25	ПБЦ-35	ПБЦ-50	ПБЦ-75	ПБЦ-100	ПБЦ-150
Число циклонных элементов	24	36	48	96	144	192	290
Число секций	2	3	4	4	4	5	6
Число взрывных клапанов	1	2	2	2	2	2	2
$W_{\text{опт}}$, м/с	3,5						
Эффективность пы-	92-99,8						

Параметры	ПБЦ-15	ПБЦ-25	ПБЦ-35	ПБЦ-50	ПБЦ-75	ПБЦ-100	ПБЦ-150
леулавливания, %							
Коэффициент сопротивления	150						
Производительность, тыс. м ³ /ч	12-15	25-30	35-40	50-60	70-80	100-125	150-180
Габаритные размеры, мм:							
– длина	3130	3130	3130	4630	-	6050	-
– ширина	2470	2470	2470	3130	-	3950	-
– высота	5270	5760	6400	6550	-	8100	-
Масса	4	5	6.1	12.5	16.6	20.5	37.5

Приложение 12

Перевод размерностей основных величин в систему СИ

Наименование величины	Единица измерения в системах		Переводные коэффициенты в единицах СИ
	МКС	СИ	
Сила	кгс	Н	1 кгс = 9,81 Н
Давление	кгс/м ²	Н/м ²	1 кгс/м ² = 1 мм вод.ст. = 9,81 Н/м ²
	кгс/см ²	Па	1 ат = 0,098 МПа
Коэффициент динамической вязкости	кгс/(с·м ²)	Н·с/м ²	1 кгс·с/м ² = 9,81 Н·с/м ²
Работа, энергия, количество теплоты	кгс·м	Дж	1 кгс·м = 9,81 Дж 1 ккал = 4,19 кДж
Теплосодержание	ккал/кг	Дж/кг	1 ккал/кг = 4,19·10 Дж/кг
Теплоемкость	ккал/кгс	Дж/кг·°С	1 ккал/кг = 4,19·10 Дж/(кг·°С)
Мощность	кгс·м/с	Вт	1 кгс·м/с = 9,81 Вт
	ккал/ч		1 ккал/ч = 1,16 Вт

Приложение 13

Теплосодержание I и влагосодержание d влажного воздуха
на 1 кг содержащегося в нем сухого воздуха при барометрическом
давлении 745 мм рт. ст.

φ, %	100		90		80		70		60		50	
t, °C	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-15	-2.98	1.04	-3.04	0.94	-3.10	0.83	-3.16	0.73	-3.23	0.62	-3.29	0.52
-10	-1.43	1.63	-1.53	1.47	-1.63	1.30	-1.72	1.14	-1.82	0.98	-1.91	0.82
-5	0.30	2.52	0.15	2.27	0.00	2.02	-0.15	1.76	-0.3	1.51	-0.45	0.26
0	2.30	3.85	2.06	3.46	1.83	3.07	1.61	2.69	1.37	2.3	1.15	1.92
5	4.50	5.51	4.16	4.95	3.83	4.40	3.5	3.85	3.17	3.29	2.84	2.74
10	7.08	7.78	6.60	7.00	6.13	6.21	5.66	5.43	5.19	4.65	4.72	3.87
15	10.15	10.86	9.48	9.76	8.82	8.66	8.16	7.56	7.5	6.47	6.84	5.38
20	13.88	15.0	12.95	13.46	12.02	11.94	11.1	10.42	10.19	8.91	9.28	7.41
25	18.45	20.50	17.17	18.39	15.89	16.29	14.63	14.21	13.37	12.14	12.12	10.08
30	24.14	27.78	22.38	24.86	20.63	22.03	18.9	19.19	17.18	16.37	15.48	13.59
35	31.27	37.37	28.86	33.43	26.48	29.54	24.3	25.7	21.80	21.90	19.5	18.14
40	40.31	49.98	37.02	44.62	33.78	39.35	30.59	34.16	27.45	29.05	24.36	24.0
45	51.89	66.57	47.36	59.28	42.96	52.14	38.65	45.15	34.43	38.31	30.29	31.6
50	66.74	88.42	60.58	78.47	54.59	68.79	48.76	59.38	43.08	50.21	37.56	43.29
55	86.18	117.50	77.69	103.80	69.49	90.60	61.58	77.86	53.94	65.57	46.57	53.7
60	112.05	156.64	100.15	137.54	88.82	119.95	78.01	102.0	67.68	85.44	57.81	69.91
65	147.15	210.31	130.19	183.15	114.27	157.69	99.32	133.77	85.24	111.26	71.90	89.95
70	196.30	285.99	171.37	246.21	148.49	209.73	127.43	176.15	107.98	145.16	89.88	116.33
75	228.20	397.29	229.89	336.37	195.84	282.25	165.37	233.85	137.95	190.31	113.17	150.96
80	380.22	571.34	317.27	471.60	263.90	387.06	218.09	314.52	178.35	251.62	143.54	196.55
85	574.83	874.65	459.03	691.72	368.15	548.25	294.96	432.75	234.77	337.78	184.40	258.35
90	981.06	1508.85	719.78	1097.51	542.29	818.24	413.93	616.33	316.82	463.62	240.8	344.13
95	2320.3	3601.74	1344.84	2071.68	886.03	1352.19	519.45	934.27	445.27	661.27	322.62	469.12
99,4	-	-	3710.31	5761.26	1660.04	2555.95	977.28	1488.73	636.11	955.6	431.56	636.07
100	-	-	3707.78	5754.47	1659.81	2554.20	977.26	1487.82	636.18	955.06	431.68	635.76
φ, %	40		30		20		10		5		0	
t, °C	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
-15	-3,35	0,42	-3,41	0,31	-3,47	0,21	-3,53	0,1	-3,56	0,05	-3,59	
-10	-2,01	0,65	-2,11	0,49	-2,2	0,33	-2,3	0,16	-2,35	0,08	-2,39	
-5	-0,6	1,01	-0,75	0,75	-0,9	0,5	-1,5	0,25	-1,12	0,13	-1,2	
0	0,91	1,53	0,69	1,15	0,46	0,77	0,23	0,38	0,11	0,19	0	
5	2,51	2,19	2,18	1,64	1,85	1,09	1,53	0,55	1,36	0,27	1,2	
10	4,25	3,09	3,78	2,31	3,32	1,54	2,86	0,77	2,62	0,38	2,39	
15	6,19	4,30	5,54	3,22	4,88	2,14	4,24	1,07	3,91	0,53	3,59	0,00
20	8,37	5,91	7,47	4,42	6,57	2,94	5,68	1,47	5,23	0,73	4,79	0,00
25	10,88	8,04	9,64	6,01	8,42	3,99	7,20	1,99	6,59	0,99	5,99	0,00
30	13,79	10,82	12,12	8,08	10,46	5,36	8,82	2,67	8,0	1,33	7,19	0,00
35	17,23	14,43	14,98	10,76	12,76	7,13	10,56	3,55	9,47	1,77	8,39	0,00
40	21,31	19,07	18,32	14,2	15,37	9,4	12,45	4,66	11,01	2,32	9,58	0,00

45	26,23	25,03	22,25	18,58	18,36	12,27	14,53	6,07	12,65	3,02	10,78	0,00
50	32,18	32,6	26,93	24,13	21,82	15,88	16,84	7,84	14,4	3,9	11,98	0,00
55	39,45	42,24	32,55	31,15	25,89	20,43	19,43	10,05	16,28	4,98	13,18	0,00
60	48,38	54,48	39,33	39,98	30,67	26,1	22,36	12,78	18,33	6,33	14,38	0,00
65	59,43	70,02	47,58	51,08	36,35	33,15	25,7	16,14	20,58	7,97	15,58	0,00
70	73,24	89,83	57,66	65,03	43,13	41,9	29,53	20,27	23,05	9,97	16,78	0,00
75	90,64	115,21	70,09	82,6	61,26	52,74	33,95	25,3	25,81	12,4	17,99	0,00
80	12,82	147,96	85,51	104,77	61,07	66,15	39,08	31,41	28,89	15,31	19,19	0,00
85	41,65	190,95	104,92	133,07	73,02	82,83	45,07	38,84	32,36	18,83	20,39	0,00
90	174,69	248,12	129,53	169,34	87,61	103,54	52,09	47,81	36,28	23,02	21,59	0,00
95	231,61	326,6	161,43	216,75	103,69	129,55	60,35	58,68	40,73	28,02	22,79	0,00
99,4	295,35	423,39	198,19	271,75	125,31	158,08	68,94	70,23	45,2	33,24	23,85	0,00
100	295,5	423,21	198,35	271,66	125,59	158,23	69,1	70,22	45,35	33,24	24,0	0,00

Самостоятельная работа для студентов очного обучения

На самостоятельную работу студентов очной формы обучения в рабочей программе дисциплины отводится 2,3333 ЗЕ. Самостоятельная работа включает подготовку к лабораторным работам, выполнение курсового проекта и подготовку к промежуточной аттестации. В рабочей программе СРС очного обучения разделена по неделям семестра и указаны №№ лабораторных работ и разделы курсового проекта, которые нужно выполнить в данный период времени. Во время контрольной недели (5, 9, 13, 17) студенты отчитываются по выполненной работе. Методические указания к лабораторным работам и методические указания к выполнению курсового проекта содержат необходимые пояснения и рекомендации [3.1, 3.2].

Вопросы для текущего контроля (защита лабораторных работ)

Представлены вопросы, ответы на которые студент дает до выполнения лабораторной работы. Вопросы для защиты лабораторных работ опубликованы в Методических указаниях к лабораторным работам.

1. Методика выполнения лабораторной работы.
2. Схема установки для проведения эксперимента.
3. Подготовка проб к исследованию.
4. Расчет расхода реагентов.
5. Обработка результатов эксперимента.
6. Факторы, влияющие на эффективность процесса обезвоживания.
7. Конструкции аппаратов для данного метода обезвоживания и их принцип действия.
8. Выводы по работе.

Самостоятельная работа для студентов заочного обучения

Самостоятельная работа включает изучение теоретического материала, выполнение контрольной работы, выполнение курсового проекта подготовку к промежуточной аттестации. В рабочей программе СРС заочной формы обучения разделена по неделям семестра и указаны разделы курсового проекта, которые нужно выполнить в данный период времени. Ниже приводится программа теоретического курса дисциплины и контрольные задания. Методические указания к лабораторным работам, которые студенты выполняют, согласно расписанию, во время сессии, и методические указания к выполнению курсового проекта содержат необходимые пояснения и рекомендации.

Теоретическая часть курса

Раздел 1. Введение.

Вспомогательные процессы в технологических схемах обогащения полезных ископаемых. Развитие процессов обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения на основе последних достижений науки и опыта передовых предприятий. Методы обезвоживания зависят от энергии связи воды с твёрдой минеральной поверхностью. По степени насыщенности водой различают продукты **обводненные**, обладающие текучестью, в которых содержится более 40 % гравитационной влаги. **Мокрые** продукты получают после предварительного сброса воды с обводнённых продуктов, они содержат влаги от 15-40%. **Влажные** продукты получают после удаления гравитационной влаги, содержат от 5 до 20 % воды. **Воздушно-сухие** продукты, сыпучие материалы, получают высушиванием на воздухе влажных продуктов и содержат от 1 до 3 % влаги. **Сухие** продукты получают после термической сушки, при температуре 105°C, при этом удаляется гигроскопическая влага. После этого в материале остаётся только химически связанная влага, которую можно удалить только при обжиге или прокаливании углепродуктов, при температуре более 800°C.

В пористых средах различают несколько видов влаги, перемещение которых связано с преодолением сопротивления, обусловленного неодинаковыми свойствами поверхности твердой фазы и разной степенью связи воды и поверхности минерала.

По Ребиндеру влага классифицируется по энергии её связи с пористыми твёрдыми телами:

- 1 – химически связанная влага (конституционная) представлена в виде гидроксил ионов в гидратах и молекул воды в кристаллогидратах;
- 2 – адсорбционно-связанная влага, в ее состав входят – адгезионная и гигроскопическая влаги;
- 3 – капиллярно-связанная влага;
- 4 – гравитационная влага – механически захваченная вода, заполняющая пористое пространство.

В практике углеобогащения различают 2 вида влаги: внешнюю и внутреннюю.

Для определения внешней влаги пробу угля доводят до воздушно сухого состояния. Количество испарившейся влаги, отнесённое к первоначальной массе пробы и выраженной в процентах – есть внешняя влага.

Внутренняя влага определяется как разность между всей испарившейся влагой при высушивании материала до постоянной массы и внешней влагой.

Внешняя влага – плёночная, гравитационная.

Влагоудерживающая способность материала зависит от смачиваемости, пористости и гранулометрического состава.

Количество влаги, которое по физическим законам не может быть удалено механическим способом, носит название МАКСИМАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ (ММВ), определяется экспериментально.

Вода отжимается из образца, помещенного между пакетами фильтровальной бумаги под прессом (давление и время отжима по ГОСТу). Например: вода из угля крупностью 0–1мм отжимается под давлением 65-70кг/см², в течение 10 минут. При крупности угля 1–3мм, давление 20–25кг/см², время 10 минут.

По данным практики следует принимать ММВ для мелкого концентрата 3,4–4,3%, для флотоконцентрата 11,5 -14,5%, для необогащенных шламов 8,1–9,2%, после осадительно-фильтрующих центрифуг Декантеров – около 16%. Для углей крупностью более 6мм ММВ совпадает с гигроскопической влагой.

Эффективность удаления влаги при обезвоживании можно определить как отношение ММВ к влажности продукта после обезвоживания.

Показатели, характеризующие процесс обезвоживания: производительность, эффективность. Классификация методов обезвоживания продуктов обогащения и осветления воды: дренирование, центрифугирование, фильтрование, сгущение, сушка. Факторы, влияющие на эффективность обезвоживания. Основными факторами являются: марка угля, гранулометрический состав, крупность частиц, пористость среды, начальная обводненность материала, смачиваемость поверхности. *При изучении данного раздела следует обратить внимание на взаимосвязь процессов обогащения, окомкования, обезвоживания и пылеулавливания [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]*

Вопросы для самопроверки:

1. От чего зависят методы обезвоживания?
2. Дайте определение продуктам обогащения по степени насыщенности водой.
3. Методы определения влажности продуктов обогащения.
4. Понятие «максимальная молекулярная влагоемкость». Как определяется, от чего зависит?
5. Перечислите показатели, характеризующие процесс обезвоживания.
6. Факторы, влияющие на эффективность удаления влаги.

Раздел 2. Процесс дренирования.

Дренирование – операция обезвоживания обводнённых и мокрых зернистых продуктов обогащения, основанная на естественной, под действием силы тяжести, фильтрации – стекании гравитационной воды через слой обезвоживаемого продукта и пористую перегородку.

Роль пористой перегородки могут выполнять: обезвоженный материал, перфорированные стальные листы, решетки, сита, дренирующий слой из щебня или песка.

Дренирование производится на ковшовых элеваторах, грохотах, в бункерах и на дренажных складах.

Объем отделяемой воды в результате дренирования зависит от крупности материала, от смачиваемости поверхности минеральных частиц, от давления жидкости и от времени обезвоживания. Обезвоживание в бункерах и на дренажных складах. В бункерах обезвоживаются мокрые крупные и мелкие продукты обогащения.

Обезвоживающий бункер представляет собой ряд последовательно сооружаемых ячеек из металла или железобетона с пирамидальными днищами и с выпусками для обезвоженного материала, оборудованными перфорированными затворами. Число ячеек в бункере зависит от количества обезвоживаемого продукта и от времени обезвоживания.

Обезвоживание на грохотах подвижных и неподвижных. На грохотах различных конструкций обезвоживают крупный и мелкий концентраты, крупнозернистый шлам, промпродукт и отходы. Для этой цели применяют сита предварительного обезвоживания, конические неподвижные и плоские подвижные грохоты.

В отличие от обезвоживания в бункерах и элеваторах, в которых обезвоживаемый продукт неподвижен, на обезвоживающих грохотах вода отделяется при передвижении материала по ситам. Это в значительной степени интенсифицирует процесс, особенно на подвижных грохотах, на которых материал движется, постоянно разрыхляется и перемешивается.

Для предварительного обезвоживания концентрата отсадочных машин или их питания применяют неподвижные плоские щелевые сита, вмонтированные в желоб. Подрешетная вода удаляется через специальный патрубок поддона. Сито устанавливают под небольшим углом при незначительном обезвоживании материала и под углом 25–35° при более полном удалении влаги. Длина сита обычно составляет около 2 м, а ширина соответствует размеру желоба.

Для предварительного обезвоживания питания отсадочных машин и обесшламливания углей широко применяют классификационные грохоты.

Из обезвоживающих механических грохотов наибольшее распространение получили быстроходные качающиеся, вибрационные, резонансные и инерционные. Они обеспечивают наиболее энергичное встряхивание материала и интенсивное удаление влаги.

Обезвоживание в ковшевых элеваторах. Обезвоживание материала производится в элеваторах при транспортировании их из классификаторов, мочных желобов и отсадочных машин. Ковши обезвоживающих элеваторов на передней части имеют штампованные продолговатые отверстия, расположенные в шахматном порядке под углом 30° градусов к вертикали. Боковые стенки ковшей сплошные. Обезвоживающие элеваторы устанавливают под углом 60–75°, что способствует лучшему стоку воды. Длина зоны обезвоживания не должна быть меньше 4 м по вертикали. Конструкция и принцип действия элеваторов с сосредоточенными ковшами. Аппаратурное решение процесса дренирования. Выбор и расчет производительности оборудования. *Наметить пути интенсификации процессов обезвоживания дренированием* [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. В каких аппаратах производится процесс дренирования?
2. Опишите процесс обезвоживания в бункерах и на дренажных складах.
3. Какие продукты обезвоживаются в элеваторах?
4. Обезвоживающие грохоты, область применения.
5. Определение эффективности обезвоживания на грохотах.
6. Факторы, влияющие на эффективность дренирования.

Раздел 3. Процесс центрифугирования.

Центрифугирование – один из эффективных и экономичных механических способов обезвоживания мелких углей. Использование центробежного поля, ускорение силы которого в десятки и сотни раз превосходит ускорение силы тяжести, обеспечивает высокую интенсивность отделения влаги от обезвоживаемого материала.

Обратить внимание на теоретические основы процесса разделения твердой и жидкой фаз в центробежном поле. Классификация центрифуг. Назначение центрифуг разных типов в технологии обогащения, оценить показатели технологической эффективности работы центрифуг. Обезвоживание в фильтрующих центрифугах. Фактор разделения определяет движущую силу центрифугального обезвоживания, под действием которой происходят центробежная фильтрация жидкости через слой осадка (в фильтрующих центрифугах) и выделение из суспензии твердой фазы (в осадительных центрифугах). Основной узел центрифуг – ротор цилиндрической, цилиндро-конической или конической формы, вращающийся вокруг горизонтальной или вертикальной оси. Если ротор сплошной, то в нем осуществляется осадительное центрифугирование, характеризующее выделением из суспензии твердой фазы и ее осаждением под действием центробежной силы на внутренней поверхности ротора центрифуги. В центрифугах с перфорированным (филь-

тующим) ротором происходит центробежная фильтрация жидкости через слой твердой фазы, осевшей на фильтрующей поверхности ротора.

Обезвоженный продукт выгружается из вращающегося ротора непрерывно-действующих центрифуг в основном принудительно либо с помощью шнека, либо за счет вибрации и этим в значительной степени определяются конструктивные особенности машин, а также их технологические показатели.

Конструктивные особенности центрифуг ФВШ, ФВВ, ФГВ, ФВИ, Ведаг. Основные показатели работы. Конструктивные и технологические факторы, влияющие на работу центрифуг. Изменение показателей качества угля при центрифугировании [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Область применения фильтрующих центрифуг.
2. Классификация фильтрующих центрифуг.
3. Факторы, влияющие на процесс обезвоживания в фильтрующих центрифугах.
4. Конструкция и принцип действия фильтрующих центрифуг.
5. Как изменяется зольность обезвоженных на центрифугах продуктов?
6. От чего зависит величина уноса твердого с фугатом?
7. Определение понятия «фактор разделения».

Раздел 3.1.Осадительные центрифуги.

Основные технологические параметры работы центрифуг НОГШ. Центрифуги осадительные горизонтальные шнековые. Для обработки водоугольных пульп, содержащих угольные частицы размером 0–3 мм, в технологических схемах обогатительных фабрик применяют непрерывно-действующие осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка – НОГШ.

Эти же машины в ряде случаев используют для обезвоживания продуктов углеобогащения крупностью -0,5 мм.

Центрифуга имеет цилиндроконический осадительный ротор, внутри которого соосно установлен в подшипниковых опорах шнековый барабан. На наружной поверхности шнекового барабана навиты витки транспортирующего шнека. Ротор приводится во вращение электродвигателем через клиноременную передачу и шкив. Вращение шнекового барабана относительно ротора осуществляется с некоторым отставанием дифференциально-планетарным редуктором. Разделяемая суспензия вводится внутрь шнекового барабана через трехходовой кран и питающую трубу.

Раскрученная в шнековом барабане суспензия через загрузочные насадки поступает в полость ротора, где под действием центробежной силы принимает форму жидкостного стакана.

Диаметр жидкостного стакана, его глубины и объем регулируются заслонками на разгрузочных окнах. В жидкостном стакане также под действием центробежной силы происходит осаждение твердой фазы на поверхность ротора. Осветленная жидкость самооттеком удаляется из ротора через сливные окна в камеру кожуха для приема фугата. Образовавшийся осадок транспортируется витками шнека сначала по цилиндрической, а затем по конической части ротора, где подвергается обезвоживанию. Обезвоженный осадок через разгрузочные окна с износостойкими насадками выбрасывается в камеру кожуха центрифуги. Узлы и детали центрифуги, находящиеся в контакте с обрабатываемым продуктом, защищены накладками из износостойких материалов.

Осадительно-фильтрующие центрифуги: Андритц, Ведаг, Декантер, конструкция и принцип действия. Факторы, влияющие на работу осадительно-фильтрующих центрифуг [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Конструктивные особенности осадительных центрифуг?
2. Область применения осадительных и осадительно-фильтрующих центрифуг.
3. Факторы, влияющие на работу осадительных центрифуг.
4. Характеристика продуктов разделения на осадительных центрифугах.

Раздел 4. Управление устойчивостью водо-угольных суспензий

Шламы на ОФ. Шлам – частицы крупностью меньше границы эффективного гравитационного обогащения. Угольные и породные шламы сложные, полидисперсные системы. На разных фабриках они имеют разнообразный гранулометрический состав и различные минералогические и петрографические характеристики. Шламы можно разделить на первичные, поступающие на фабрику с рядовым углем, и вторичные, вновь образующиеся в процессе обогащения. Влияние шламов на процессы обогащения. При увеличении содержания тонкодисперсных шламов в оборотной воде углеобогатительных фабрик могут изменяться параметры разделения в обогатительных аппаратах. Например: при увеличении количества шламов в магнетитовой суспензии, увеличивается ее вязкость, что отрицательно влияет на скорости движения частиц в среде. Шламы на ОФ могут быть в виде суспензий, пластической массы и сыпучей твёрдой массы. Суспензии делятся на устойчивые и неустойчивые. В неустойчивых суспензиях происходит расслоение.

Строение двойного электрического слоя. Дзета-потенциал. Полиэлектролиты и их влияние на толщину гидратного слоя [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение термину «шлам».
2. Классификация шламов.
3. Оцените влияние шламов на процессы гравитационного обогащения.
4. Оцените влияние шламов на процессы на процессы флотации.
5. Строение двойного электрического слоя.
6. Дзета-потенциал и его влияние на устойчивость суспензий.

Раздел 4.1. Применение флокулянтов, классификация.**Флокуляция**

Полимерная флокуляция – один из наиболее важных способов агрегирования частиц.

Мостиковая флокуляция – процесс образования агрегатов из минеральных частиц вследствие избирательного закрепления на их поверхности активных групп молекул полимера. Минеральные частицы скрепляются между собой через «мостик», которым служит полимер.

Факторы, влияющие на эффективность действия флокулянтов. Приготовление растворов флокулянтов. Установки для приготовления и дозирования флокулянтов. Флокулирующее действие полимеров зависит от ряда факторов: природы и количества добавляемого реагента, его молекулярной массы и заряда, способа введения в систему, содержания в системе дисперсной фазы, присутствия электролитов.

Эффективность флокуляции зависит от дозы добавляемого флокулянта. Обычно, по мере возрастания содержания полимера в системе, устойчивость ее вначале снижается, затем возрастает.

Флокулирующая способность полимеров обычно увеличивается с ростом степени полимеризации, т.е. молекулярной массы. Это наблюдается, главным образом, при использовании в качестве флокулянтов неионогенных полимеров или же несущих заряд одного знака с частицами дисперсной фазы. Чем выше степень полимеризации, тем длиннее петли и хвосты молекул полимера. Их способность закрепляться на поверхности частицы становится выше. Вероятность захвата приближающейся свободной частицы в этих усло-

виях выше для высокомолекулярных образцов и, следовательно, степень агрегации повышается с ростом молекулярной массы полимера [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Поясните явления флокуляции и коагуляции.
2. Классифицирующие признаки полимеров.
3. Методика оценки действия флокулянтов.
4. Приготовление раствора флокулянтов.
5. Область применения полимерных флокулянтов.

Раздел 4.2.Обезвоживание сгущением.

Сгущение – процесс обезвоживания мелкозернистых пульп и суспензий, основанный на их расслоении под действием силы тяжести, центробежной силы, в результате чего образуется сгущённый продукт (осадок) и слив. Угольная пульпа – система, одной из характеристик, которой является устойчивость дисперсий.

Различают седиментационную и агрегативную устойчивость дисперсии. Седиментационная (или кинетическая) устойчивость обусловлена устойчивостью дисперсной фазы к силе тяжести; агрегативная – способностью системы сохранять дисперсность и индивидуальность частиц твердой фазы. Эти два вида устойчивости взаимосвязаны.

Нарушение агрегативной устойчивости происходит в результате объединения частиц. Образование более крупных агрегатов сопровождается потерей седиментационной устойчивости с последующим разделением фаз, т. е. разрушением дисперсной системы.

Различают два механизма дестабилизации дисперсий: коагуляцию и флокуляцию.

Сгущение в цилиндрических сгустителях с центральным и периферическим приводом. Сгустители с осадкоуплотнителем. Влияние флокулянтов на процесс сгущения. Сгущение в гидроциклонах. Осветление шламовых вод в наружных отстойниках [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Факторы, влияющие на процесс сгущения.
2. Сгустительные аппараты, классификация.
3. Конструкция сгустителей и принцип действия.
4. Интенсификация процесса сгущения.

Раздел 5. Теоретические основы процесса фильтрования.

Шламы и продукты флотации в практике углеобогащения в основном обезвоживают фильтрованием. В зависимости от свойств и состава шламов и продуктов флотации их обезвоживают на дисковых, барабанных и ленточных вакуум-фильтрах, а также в камерных и ленточных фильтр-прессах.

Фильтрование – гидромеханический процесс разделения суспензии с применением пористой перегородки, задерживающей частицы твердой фазы и пропускающей жидкую фазу. Движущая сила фильтрования – разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки, которая создается с помощью вакуума на вакуум-фильтрах или повышенного давления на фильтр-прессах.

Фильтрационное обезвоживание состоит из двух основных периодов: собственно фильтрования, связанного с формированием осадка и вытеснением избыточной жидкости, и обезвоживания (просушки) осадка в результате вытеснения остаточной поровой жидкости.

Показатели, определяющие эффективность процесса. Конструктивные особенности вакуум-фильтров, технологические показатели работы. Дисковые вакуум-фильтры. Схемы отвода фильтрата, особенности компоновки [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Факторы, влияющие на процесс фильтрования.
2. Классификация фильтров.
3. Область применения фильтров.
4. Конструкция и принцип действия вакуум-фильтров.
5. Интенсификация процесса фильтрования.

Раздел 5.1. Фильтры избыточного давления.

Область применения фильтров избыточного давления. Классификация фильтров. Фильтры для обезвоживания угольных флотоконцентратов. Гипербарфильтры. Разгрузка осадка в фильтрах избыточного давления. Ленточные фильтр-прессы. Параметры регулировки фильтр-прессов. Технологические показатели работы. Интенсификация работы ленточных фильтр-прессов. Камерные пресс-фильтры. Конструктивные особенности, технологические показатели работы [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Фильтры, применяемые для обезвоживания флотоконцентратов.
2. Конструктивные особенности, технологические показатели работы гипербар-фильтров.
3. Конструктивные особенности, технологические показатели работы ленточных фильтр-прессов.
4. Конструктивные особенности, технологические показатели работы камерных фильтр-прессов

Раздел 6. Теоретические основы процесса сушки.

Сушка углей представляет собой теплофизический и физико-химический процессы. Механизм сушки углей определяется в основном видом связи влаги с углем и режимом, при котором протекает сушка. Для сушки большое значение имеют такие свойства материала, как размеры и форма частиц, влагоемкость, допустимая температура нагрева, марка угля, выход летучих и др. Процесс сушки определяется механизмом перемещения влаги внутри угольных частиц и ее испарением с их поверхности в окружающую среду.

Свойства сушильных агентов. Факторы, влияющие на процесс сушки. Газовые барабанные сушилки. Конструкция и принцип действия. Газовые трубы сушилки. Конструкция и принцип действия. Сушилки кипящего слоя. Конструкция и принцип действия. Тепловой расчет сушки. Скорость сушки. Скорость процесса сушки определяется закономерностями изменения влажности и температуры сушеного угля с течением времени. Основные условия безопасной эксплуатации сушильных установок [1.1., 1.2., 1.3., 2.1., 2.2., 2.4., 2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Поясните механизм сушки углей.
2. Характеристика сушильного агента.
3. Кинетика процесса сушки.
4. Конструкция и принцип действия барабанных сушилок.
5. Конструкция и принцип действия труб сушилок.
6. Конструкция и принцип действия сушилок кипящего слоя.
7. Основные условия безопасной эксплуатации сушильных установок.

Раздел 6.1. Топки.

Классификация топок. Схемы и принцип работы топок. Золоунос и золоудаление продуктов сушки. Системы пылеулавливания. Конструкции и технологические показатели

пылеуловителей. Правила безопасной сушки. Контроль и автоматизация работы сушильных установок [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Конструкция и принцип действия топок.
2. Конструкция и принцип действия пылеулавливающих устройств.
3. Эффективность пылеулавливания, способы ее определения.
4. Характеристика систем пылеулавливания.
5. Защитные клапаны, конструкция и место установки.

Раздел 7. Процесс окомкования.

Агрегатизация мелких угольных продуктов. Производство каменноугольных брикетов. Связующие. Аппаратурное и технологическое решение процесса. Производство пеллет. Производство окатышей, технология [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Диверсификация каменноугольных продуктов.
2. Схема производства брикетов из каменного угля.
3. Окомкование железорудного сырья.

Раздел 8. Складирование продуктов обогащения.

Хранение угольных концентратов. Складирование отходов обогащения. Характеристика отходов обогащения. Сухие отвалы, организация и эксплуатация.

Выбор и расчет бункеров. Дренажные склады. Укрытые склады. Изменение влажности продуктов обогащения при хранении [1.1., 1.2.,1.3.,2.1.,2.2.,2.4.,2.5]

Вопросы для самопроверки:

1. Характеристика отходов углеобогатительной фабрики.
2. Условия хранения каменных углей.
3. Меры безопасности при хранении углепродуктов.
4. Способы укладки штабелей.
5. Усреднение качества углей при складировании.

Указания для выполнения контрольной работы

В контрольной работе предлагаются два вида заданий: задачи и описание конструкций обезвоживающего оборудования (иллюстрация обязательна).

При решении задач необходимо пользоваться нормативными документами, справочной литературой, данными производственной практики. Вариант определяется по последней цифре номера зачетной книжки.

Контрольные задания

Задача №1.

Определить время обезвоживания шлама на дренажной площадке:

- t_1 – время загрузки;
- t_2 – время обезвоживания;
- t_3 – время выгрузки;
- t_4 – время зачистки площадки.

Вариант	t_1	t_2	t_3	t_4
1	30	360	24	2
2	26	180	18	2
3	22	300	12	2
4	32	280	16	1,5
5	28	260	20	2
6	22	340	22	2,5
7	28	320	24	1,5
8	24	220	12	2
9	26	300	14	2
10	28	320	20	2

Задача 2.

Определить фактор разделения центрифуги по данным таблицы.

Вариант	Тип центрифуги	Частота вращения ротора, мин^{-1}	Диаметр ротора, мм
1	ФВИ	450	1000
2	НОГШ	800	1320
3	ФГВ	420	1000
4	НОГШ	700	1350
5	ФВШ	400	950
6	ФГВ	300	1320
7	ФВВ	400	1000
8	ФВШ	600	1000
9	ФВВ	420	1120
10	НОГШ	600	1100

Задача №3.

Определить массу навески для опыта по данным таблицы:

Вариант	V , мл	Плотность твердого, г/см^3	Соотношение Т:Ж
1	1000	1,5	1:10
2	250	1,7	1:10
3	500	1,4	3:5
4	700	1,42	3:5
5	1000	1,38	1:8
6	500	2,6	1:8
7	800	1,35	1:10
8	1000	1,56	2:5
9	250	2,2	1:7
10	750	1,45	1:9

Задание 4.

Привести пример конструкции и пояснить принцип действия обезвоживающего оборудования.

Вариант	Наименование	Наименование
1	Багер-зумпф	Вакуум-фильтр Андритц
2	Ленточный фильтр-пресс	Центрифуга ФВШ
3	Осадительно-фильтрующая центрифуга	Сгуститель с осадкоуплотнителем
4	Центрифуга НОГШ	Вакуум-фильтр «Украина»
5	Вакуум-фильтр ДОО 250	Центрифуга ФГВ
6	Камерный фильтр-пресс	Пирамидальный отстойник
7	Радиальный сгуститель	Центрифуга ФВИ
8	Центрифуга ФВВ	Ленточный вакуум-фильтр
9	Гипербарфильтр	ОФЦ Андритц
10	Сушилка «кипящего» слоя	Вакуум-фильтр ДОО 250

Задание 5.

Определить эффективность работы пылеуловителей по данным таблицы

Вариант	Содержание пыли до очистки, мг/м ³	Содержание пыли после очистки, мг/м ³
1	90	2
2	75	2
3	15	1
4	82	3
5	68	2
6	98	4
7	22	1
8	57	3
9	25	2
10	18	1

Задание 6.

Определить по исходным данным показатели пульпы:

– Объем твердого и жидкого в 1 литре пульпы;

– плотность пульпы;

– отношение жидкого к твердому (Ж:Т)

Вариант	Масса твердого в 1 литре пульпы, г/л	Плотность твердого, г/см ³
1	100	1,80
2	200	1,40
3	250	1,50
4	300	1,42
5	350	1,70

Вариант	Масса твердого в 1 литре пульпы, г/л	Плотность твердого, г/см ³
6	525	2,20
7	600	1,80
8	650	2,00
9	400	1,35
10	450	1,45

Задание 7.

Определить выход обезвоженного продукта при центрифугировании, количество воды и твердого в фугате по следующим данным.

Вариант	Питание, т/ч	Влажность исходного, %	Влажность обезвоженного продукта, %	Унос твердого с фугатом, %	A ^d питания, %
1	60	24	6,7	2,0	9,5
2	80	18	7,2	2,1	8,2
3	100	17	8,0	3,1	10,6
4	120	22	8,1	4,9	9,1
5	140	26	6,9	2,5	7,8
6	160	19	7,0	3,5	8,5
7	200	20	7,5	4,5	7,6
8	240	16	8,5	5,5	9,3
9	260	21	8,3	3,7	6,9
10	300	23	7,4	3,3	5,8

Задание 8.

На мелкую отсадку поступает $Q_{исх.}$, т/ч, выход концентрата $u_{к-та}$, %, выход промпродукта $u_{пп}$, %, расход воды на отсадку V , м³/т·ч. Определить количество воды, которое уходит с продуктами обогащения. Влажность промпродукта и отходов принять по нормам технологического проектирования.

Вариант	$Q_{исх.}$, т/ч	$u_{к-та}$, %	$u_{пп}$, %	V , м ³ /т·ч
1	200	76,9	1,8	2,2
2	250	81,0	2,0	3,0
3	300	84,7	4,1	2,9
4	350	79,1	3,3	4,0
5	400	82,5	2,4	2,6
6	450	88,0	4,7	3,5
7	500	80,4	4,4	3,2
8	190	75,5	2,7	3,4
9	290	85,0	3,0	3,9
10	390	90,0	3,1	3,6

Промежуточный контроль

Вопросы к зачету

1. Методы определения влажности продуктов обогащения.
2. Характеристика видов влаги.
3. Классификация продуктов обогащения по количеству содержащейся в них воды.
4. Влагоудерживающая способность продуктов обогащения.
5. Смачиваемость минеральных поверхностей.
6. Максимальная молекулярная влагоемкость.
7. Классификация способов обезвоживания.
8. Основные принципы дренирования.
9. Обезвоживание в бункерах и на дренажных складах.
10. Обезвоживание в ковшовых элеваторах.
11. Обезвоживание на грохотах.
12. Факторы, влияющие на процесс обезвоживания на грохотах различных типов.
13. Основные принципы центрифугирования. Классификация центрифуг.
14. Принцип отделения влаги в фильтрующих и осадительных центрифугах.
15. Фактор разделения и способы его определения.
16. Фильтрующие центрифуги с инерционной выгрузкой осадка. Конструктивные особенности. Технологические характеристики.
17. Фильтрующие центрифуги с вибрационной выгрузкой осадка. Конструктивные особенности. Технологические характеристики.
18. Фильтрующие центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. Конструктивные особенности. Технологические характеристики.
19. Факторы, влияющие на работу фильтрующих центрифуг.
20. Дополнительное шламообразование при центрифугировании и способы борьбы с ним.
21. Технологические параметры осадительных центрифуг.
22. Центрифуга НОГШ. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
23. Факторы, влияющие на работу осадительных центрифуг.
24. Осадительно-фильтрующие центрифуги. Технологические характеристики.
25. Шламы на ОФ. Характеристика шламов. Влияние шламов на технологические процессы.
26. Сгущение шламов. Кривые процесса сгущения.
27. Коагуляция и флокуляция суспензий.
28. Классификация частиц в багер-зумпфе.
29. Классификация и сгущение в гидроциклонах.
30. Сгущение в радиальных сгустителях.
31. Осветление шламовых вод в тонких слоях.

32. Факторы, влияющие на процесс сгущения.
33. Механизм агрегатизации минеральных частиц.
34. Двойной электрический слой и его влияние на процессы агрегирования частиц.
35. Механизм действия полимерных флокулянтов. Деструкция флокулянтов.
36. Способы растворения флокулянтов и способы подачи их в процесс.
37. Факторы, влияющие на процесс флокуляции.
38. Барабанные вакуум-фильтры. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
39. Ленточный вакуум-фильтр. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
40. Дисковые вакуум-фильтры. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
41. Гипербарфильтр Андритц. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
42. Фильтровальные вакуум-установки.
43. Факторы, влияющие на эффективность процесса фильтрования.
44. Принцип фильтрования под давлением. Ленточные фильтр-прессы.
45. Камерные фильтр-прессы. Конструктивные особенности. Технологические параметры.
46. Схемы обработки отходов флотации.
47. Термическая сушка углепродуктов. Кинетика процесса сушки.
48. Практика окомкования углепродуктов. Связующие. Аппаратурное решение.
49. Складирование углепродуктов. Виды складов.
50. Склады рядового угля и концентрата напольного типа.

Список рекомендуемой литературы

1. Основная литература

- 1.1. Клейн, М. С. Технология обогащения углей [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 128 с.
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90655&type=utchposob:common/>
- 1.2. Авдохин, В. М. Обогащение углей. Т. 1. Процессы и машины : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Обогащение полезных ископаемых" направления подготовки "Горное дело". – Москва : Горная книга, 2012. – 424 с.
- 1.3. Авдохин, В. М. Обогащение углей. Т. 2. Технологии : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Обогащение полезных ископаемых" направления подготовки "Горное дело". – Москва : Горная книга, 2012. – 475 с.

2. Дополнительная литература

2.1. Современная техника и технологии обогащения российских углей: каталог-справочник / сост. Л. А. Антипенко [и др.]; под общ. ред. В. М. Щадова; Федер. агентство по энергетике. – Кемерово. – 2008. – 310 с.

2.2. Руденко, К. Г. Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках / К. Г. Руденко, М. М. Шемаханов. – М.: Недра, 1967. – 370 с.

2.3. Справочник по обогащению углей / З. Ш. Беринберг [и др.]; под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина. – М.: Недра, 1984. – 630 с.

2.4. Техника и технология обогащения углей / В. В. Беловолов, Ю. Н. Бочков, М. В. Давыдов [и др.]; под ред. В. А. Чантурия. – М.: Наука, 1995. – 623 с.

2.5. Временные нормы технологического проектирования обогатительных фабрик ВНТП 3-92. – М.: Мин-во топлива и энергетики РФ; Ком. угольной пром-ти, 1992. – 182 с.

3. Методическая литература

3.1. Меркушева Л. Н. Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс] для студентов специальности 130400.65 «Горное дело», специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», очной и заочной форм обучения / сост.: Л. Н. Меркушева. – Кемерово: КузГТУ, 2015.

3.2. Оборудование для обезвоживания и пылеулавливания. Лабораторный практикум по курсу «Оборудование для обезвоживания на ОФ» для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» очной и заочной форм обучения / сост. А. В. Дашкова, В. С. Фролов, С. О. Шутов; ГОУ высшего профессионального образования КузГТУ. – Кемерово. КузГТУ, 2010. – 29 с.

3.3. Обезвоживание и пылеулавливание на ОФ. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» заочной формы обучения / сост. Л. Н. Меркушева; КузГТУ. – Кемерово. КузГТУ, 2010. – 12 с.

3.4. Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках. МУ по выполнению курсового проекта для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» очной и заочной форм обучения / сост. С. О. Шутов, Т. Е. Вахонина, Л. Н. Меркушева; ГОУ высшего профессионального образования КузГТУ. – Кемерово. КузГТУ, 2010. – 43 с.