

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Лабораторные работы
для студентов 3–4 курсов дневного и заочного отделений
специальности 140106 «Энергообеспечение предприятий»



Тамбов
Издательство ГОУ ВПО ТГТУ
2010

УДК 536.7:502.3
ББК Л11:Б1я73-5
Ж86

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО ТГТУ
Н.С. Попов

С о с т а в и т е л и :

Н.П. Жуков, А.А. Балашов, И.В. Рогов

Ж86 Охрана окружающей среды в теплоэнергетике : лаб. работы / сост. : Н.П. Жуков, А.А. Балашов, И.В. Рогов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 48 с. – 100 экз.

Даны лабораторные работы по исследованию осаждения твёрдых частиц в жидкости и газе под действием силы тяжести, исследованию процесса обезвоживания осадков сточных вод в осадительной центрифуге, изучению процесса разделения дисперсных материалов по плотностям в жидкости, изучению адсорбции в аппарате с неподвижным слоем зернистого адсорбента, изучению гидродинамики псевдооживленного слоя сыпучего материала.

Предназначены для студентов 3 и 4 курсов дневного и заочного отделений специальности 140106 изучающих дисциплину «Охрана окружающей среды».

УДК 536.7:502.3
ББК Л11:Б1я73-5

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ГОУ ВПО ТГТУ), 2010

Учебное издание

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Лабораторные работы

С о с т а в и т е л и :

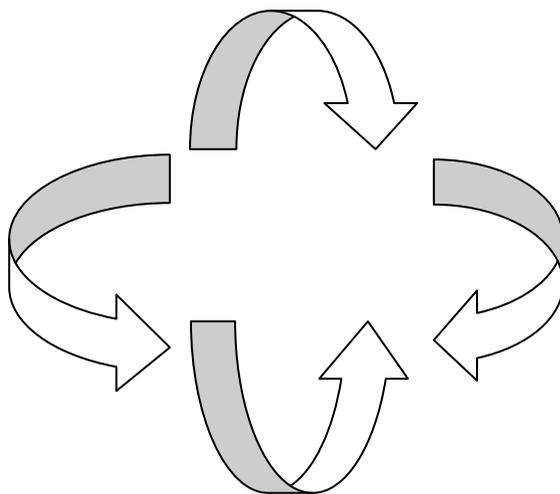
ЖУКОВ Николай Павлович,
БАЛАШОВ Алексей Александрович,
РОГОВ Иван Владимирович

Редактор З.Г. Чернова
Инженер по компьютерному макетированию М.С. Анурьева

Подписано в печать 16.03.2010
Формат 60×84 /16. 2,79 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 153.

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ



Тамбов

◆ Издательство ГОУ ВПО ТГТУ ◆

2010

ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Студентам предлагается проделать лабораторные работы по дисциплине «Охрана окружающей среды». В комплексе представлены следующие лабораторные работы: исследование осаждения твёрдых частиц в жидкости и газе под действием силы тяжести, обезвоживание осадков сточных вод в осадительной центрифуге, изучение процесса разделения дисперсных материалов по плотностям в жидкости, изучение адсорбции в аппарате с неподвижным слоем зернистого адсорбента, изучение гидродинамики псевдооживленного слоя сыпучего материала. Данные лабораторные работы были разработаны в Тюменском государственном нефтегазовом университете НИИ электронных образовательных ресурсов.

Активные клавиши

Для управления ходом лабораторных работ применяются следующие клавиши клавиатуры:

W, S, A, D – для перемещения в пространстве;

F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берётся объект, при последующем – ставится);

Ctrl – присесть;

F10 – выход из программы.

Также применяются следующие клавиши манипулятора:

- левая клавиши мыши – при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект;
- средняя клавиша – при первом нажатии (прокрутка не используется) берётся объект, при последующем – ставится (прикрепляется);
- правая клавиша – появляется курсор-указатель (при повторном исчезает).

Примечание: при появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

Лабораторная работа 1

ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИИ В АППАРАТЕ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ ЗЕРНИСТОГО АДсорбЕНТА

Цель работы: 1. Ознакомление с работой адсорбционной установки периодического действия.

2. Определение коэффициентов массопередачи и защитного действия, предельной величины адсорбции при поглощении водяного пара цеолитом марки NaX или CaX.

Основы теории

Длительность работы слоя адсорбента в стадии параллельного движения фронта сорбции (при $L > L_0$) рассчитывается по уравнению Н.А. Шилова:

$$\tau = KL - \tau_0, \quad (1)$$

где τ – время защитного действия слоя, с; K – коэффициент защитного действия, с/м, показывающий время защитного действия слоя длиной 1 м; L – длина слоя, м; τ_0 – потеря времени защитного действия, с.

Кинетическая константа, пропорциональная скорости массообмена, при бесконечно большой скорости становится равной нулю.

При изучении сорбционного процесса обычно замеряют выходную кривую сорбции – изменение концентрации поглощаемого вещества во времени за слоем адсорбента (рис. 1). Затем, пользуясь развёрнутым уравнением динамики сорбции

$$\tau = KL - KW \frac{\left(\ln \left(\frac{x_0}{x} \right) - 1 \right)}{K_v}, \quad (2)$$

строят график в координатах $\left(\ln \left(\frac{x_0}{x} \right) - 1 \right) = f(\tau)$ (рис. 2).

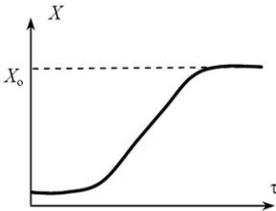


Рис. 1. Выходная кривая сорбции

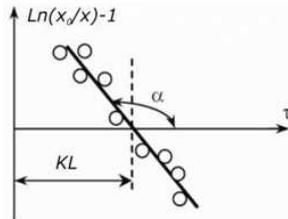


Рис. 2. Кривая сорбции

Отрезок, отсекаемый на оси абсцисс (рис. 2), равен KL , а котангенс угла наклона прямой $\frac{KW}{K_v}$. Здесь в уравнении W – объёмная скорость потока, отнесённая к полному сечению аппарата, $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$:

$$K = \frac{a_0}{Wx_0^t}, \quad (3)$$

где a_0 – предельная величина сорбции, кг сорбированного вещества на 1 м^3 слоя адсорбента; K_v – коэффициент массопередачи, с^{-1} .

Объёмная скорость парогазовой смеси W определяется по уравнению расхода

$$V = WS. \quad (4)$$

Оборудование, необходимое для проведения лабораторной работы

Работа проводится на установке (рис. 3), которая работает по следующей схеме: воздушный поток поступает из компрессора 1 (рис. 4) через ресивер 9 (рис. 5), игольчатый вентиль 2 и расходомер 3 (рис. 6).

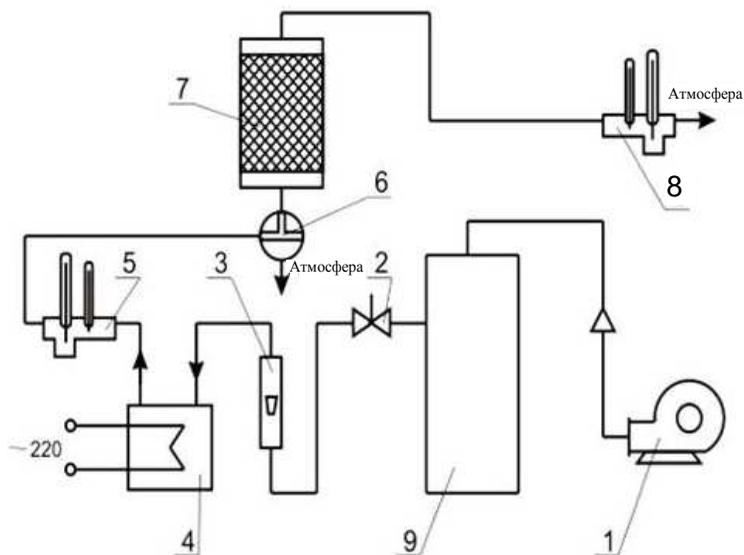


Рис. 3. Схема лабораторной установки:

1 – нагнетательный вентилятор, 2 – регулятор расхода; 3 – расходомер; 4 – увлажнительная камера; 5, 8 – психрометры; 6 – трёхходовой кран; 7 – адсорбционная колонка; 9 – ресивер

Далее он делится на две части: одна направляется в увлажнительную камеру 4 (рис. 8), имеющую нагревательный элемент для нагрева воды и контактный термометр для поддержания определённой температуры в камере, другая часть направляется в обход увлажнительной камеры. После смешения обоих потоков измеряется с помощью психрометра 5 (рис. 7) влагосодержание воздуха, поступающего через трёхходовой кран 6 (рис. 9) в колонну, заполненную адсорбентом. Влагосодержание воздуха после колонны 7 (рис. 10) измеряется психрометром 8. Осушенный воздух выбрасывается в атмосферу.

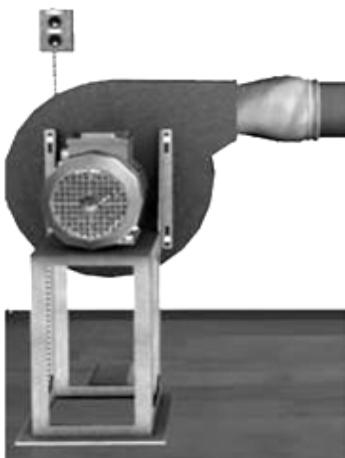


Рис. 4. Вентилятор и электродвигатель



Рис. 5. Резервуар

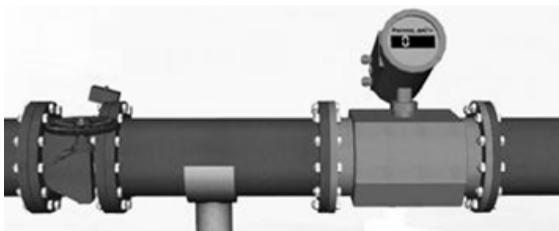


Рис. 6. Расходомер



Рис. 7. Психрометр



Рис. 8. Увлажнительная камера



Рис. 9. Трёхходовой кран



Рис. 10. Адсорбционная колонка

Порядок выполнения работы

Порядок действий

1. Трёхходовой кран (рис. 9) переведите в положение «атмосфера» (соедините с атмосферой).

2. Включите нагревательный элемент увлажнительной камеры 4 (рис. 3) выключателем на пульте управления (на температурном датчике – рост температуры от 23 до 95°C в течение 1 мин; при выключении – падение температуры до 23°C в течение 20 с).

3. Включите вентилятор 1 и задвижку 2 установите заданный расход воздуха: 0° – 0 дм³/ч; 30° – 200 дм³/ч; 60° – 400 дм³/ч; 90° – 600 дм³/ч. Показания расхода отобразятся на расходомере 3. Показания на психрометре будут расти в соответствии с температурой внутри увлажнителя.

4. После установления необходимой влажности соедините систему с адсорбционной колонкой, т.е. переключите трёхходовой кран на слей адсорбента. С этого момента начинается отсчёт времени опыта.

5. Выполните замеры влажности (показания психрометров на выходе и на входе колонки) в соответствии со следующим графиком:

первоначально через каждые 30 с – 6 замеров, затем через каждые 60 с – 6 замеров, а потом через каждые 120 с все остальные замеры. Результаты измерений запишите в табл. 1.

Опыт проводите до тех пор, пока показания психрометра 8 на выходе из колонки не будут одинаковыми с показаниями психрометра 5.

6. Затем можно провести регенерацию (удаление жидкости из колонны). Для этого, при выключенном нагнетателе и увлажнителе, нажмите на кнопку «Регенерация» на адсорбционной колонке, на таймере появится отсчёт времени (ускорение времени в 100 раз – 1,8 мин реального времени).

7. После этого можно всё включить и провести опыт заново.

Порядок вычислений

1. Постройте по экспериментальным данным выходную кривую сорбции в координатах $x = f(\tau)$ (рис. 1).

2. Рассчитайте и построьте выходную кривую сорбции в координатах $\left(\ln\left(\frac{x_0}{x}\right) - 1\right) = f(\tau)$ (рис. 2).

3. Вычислите коэффициент защитного действия по отрезку, отсекаемому прямой на оси абсцисс, с/м:

$$K = \frac{\tau_1}{L}.$$

4. Вычислите предельную величину сорбции по уравнению

$$a_0 = \frac{KVx_0^t}{S},$$

где S – площадь сечения колонки, m^2 ; V – объёмный расход газовой смеси, m^3/c ; x_0^t – влажность газовой смеси (количество воды на $1 m^3$ воздуха на входе в слой адсорбента): $x_0^t = x_0\rho$; ρ – плотность воздуха при температуре газовой смеси (при t_c), рассчитанная по уравнению Клапейрона:

$$\rho = \frac{M 273}{22,4(273 + t_c)},$$

где M – мольная масса газа, $kg/kmol$.

5. Вычислите коэффициент массопередачи K_v по котангенсу угла наклона прямой (рис. 2):

$$ctg\alpha = -\frac{KW}{K_v} ; K_v = -\frac{KW}{ctg\alpha}.$$

Отчёт

Цель работы: _____

1. Результаты измерений

Время, с	Влажность воздуха до колонки x_0 , кг/кг	Влажность воздуха после колонки x , кг/кг	Расчётные данные					
			$\frac{x_0}{x}$	$\ln \frac{x_0}{x}$	$\ln\left(\frac{x_0}{x}\right) - 1$	a_0 , кг/м ³	K , с/м	K_p , с ⁻¹
...								

График выходной кривой сорбции в координатах $x = f(\tau)$.

График выходной кривой сорбции в координатах

$$\left(\ln\left(\frac{x_0}{x}\right) - 1 \right) = f(\tau).$$

Выводы: _____

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

«___» _____ 20__ г.

Контрольные вопросы

1. Механизм процесса адсорбции.
2. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
3. Требования к адсорбентам. Промышленные адсорбенты.
4. Тепловой эффект при адсорбции. Уравнение Шилова, время защитного действия, потеря времени защитного действия, понятие «проскока».

5. Конструкции адсорберов.

Литература: [4], [5], [7].

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Цель работы: 1. Экспериментальное определение скорости осаждения твёрдых частиц в жидкостях в зависимости от диаметра частиц, их формы и физических свойств частицы и жидкости.

2. Построение экспериментальных зависимостей $Re = CAg^n$ или $Lu = f(Ag)$ для различных режимов осаждения.

3. Сравнение расчётных и теоретических зависимостей.

Основы теории

В соответствии с действующим законодательством все сточные воды должны перед сбросом в водоём подвергаться очистке от токсичных примесей. Для выполнения этих требований в зависимости от состава сточных вод применяются различные методы и способы.

Отстаивание применяют для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей. Осаждение происходит под действием силы тяжести.

Как правило, сточные воды содержат взвешенные частицы различной формы и размера. Такие воды представляют собой полидисперсные гетерогенные агрегативно-неустойчивые системы. В процессе осаждения размер, плотность и форма частиц, а также физические свойства системы изменяются. Кроме того, при слиянии различных по химическому составу сточных вод могут образовываться твёрдые вещества, в том числе и коагулянты. Эти явления также оказывают влияние на форму и размеры частиц. Всё это усложняет установление действительных закономерностей процесса осаждения.

При отстаивании сточных вод наблюдается стеснённое осаждение, которое сопровождается столкновением частиц, трением между ними и изменением скоростей как больших, так и малых частиц. Скорость стеснённого осаждения меньше скорости осаждения свободного вследствие возникновения восходящего потока жидкости и большей вязкости среды.

Скорость осаждения полидисперсной системы непрерывно изменяется во времени. Вследствие агломерации частиц она может изменяться в несколько раз по сравнению с теоретической.

Способность к агломерации зависит от концентрации, формы, размера и плотности взвешенных частиц, а также от соотношения частиц различного диаметра и вязкости среды.

Для полидисперсных систем кинетику осаждения устанавливают опытным путём в виде кривой зависимости массы M осаждённых частиц от времени осаждения τ (рис. 1).

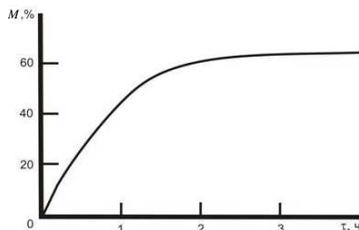


Рис. 1. Кинетика процесса осаждения

При периодическом процессе осаждения взвешенные частицы в отстойнике распределяются неравномерно по высоте слоя сточных вод. Через какой-то промежуток времени после начала отстаивания в верхней части отстойника появляется осветлённый слой жидкости. Чем ближе ко дну отстойника, тем больше концентрация взвешенных частиц в сточной воде, а у самого дна образуется слой осадка. Во времени высота слоя осветлённой жидкости и высота слоя осадка возрастают за счёт промежуточных слоёв. Через определённый промежуток времени в отстойнике будут находиться только слой осветлённой жидкости и слой осадка. В дальнейшем, если осадок не удалить, он будет уплотняться с уменьшением высоты. При непрерывном отстаивании наблюдаются те же зоны, но высота их не меняется в ходе процесса.

В случае осаждения мелкодисперсных твёрдых частиц в газе или жидкости, наблюдающемся при гидравлической и пневматической классификации, газоочистке и разделении суспензий, основной характеристикой процесса является скорость осаждения w_{oc} .

Для расчёта скорости осаждения под действием силы тяжести можно использовать общую для всех режимов осаждения зависимость

$$w_{oc} = \sqrt{\frac{4 d_{\text{ч}}(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}})g}{3 \zeta \rho_{\text{ч}}}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы, м; $\rho_{\text{ч}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ – плотность материала частицы и жидкости, соответственно, кг/м³; ζ – коэффициент сопротивления водной среды, который зависит от режима осаждения.

Экспериментально установлены три значения коэффициента сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса. В первой области – области ламинарного осаждения – при $Re_{oc} < 2$:

$$\zeta = \frac{24}{Re_{oc}} \quad (2)$$

Во второй (часто называемой переходной) области в пределах изменения $2 < Re_{oc} < 500$

$$\zeta = \frac{18,5}{Re_{oc}^{0,6}} \quad (3)$$

В третьей области – развитой турбулентности – в пределах изменения $500 < Re_{oc} < 200\,000$

$$\zeta \approx 0,44.$$

Зависимости (1) – (3) справедливы для осаждающихся одиночных сферических частиц диаметром d_q .

При ламинарном осаждении ($Re_{oc} < 2$) для одиночной сферической частицы (принимая движение мелких частиц с $d_q < 0,1$ мм равномерным) скорость осаждения рассчитывают по формуле

$$w_{oc} = \frac{gd_q^2(\rho_q - \rho_{ж})R}{18\mu}, \quad (4)$$

где $R = \frac{(1-\varphi)\mu}{\mu_c}$; φ – концентрация взвешенных частиц; μ_c и μ – динамическая вязкость системы и воды, соответственно, Па·с.

Зависимость (4) носит название формулы Стокса. Она справедлива для гидродинамической области чисел Рейнольдса ($10^{-4} < Re_{oc} < 2$).

Если частицы имеют несферическую форму, то пользоваться зависимостью (4) для расчёта w_{oc} нельзя.

В общем случае для определения Re можно использовать критериальную зависимость

$$Re = f(Ar, \zeta), \quad (5)$$

где Ar – критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{d_q^3 \rho_{ж} g}{\mu^2} (\rho_q - \rho_{ж}). \quad (6)$$

Согласно методу, предложенному П.В. Лященко, зависимость (2) подставим в уравнение (4), который примет следующий вид:

$$Re = \frac{Ar}{18}. \quad (7)$$

При этом критическое значение числа Архимеда, ограничивающее существование ламинарного режима, будет $Ar \leq 36$. В переходной области зависимость (7) принимает вид

$$Re = 0,152Ar^{0,175}. \quad (8)$$

Осаждение в переходной области ограничивается изменениями критерия Архимеда в пределах $36 < Ar < 83\,000$. При развитом турбулентном осаждении

$$Re = 1,74\sqrt{Ar}. \quad (9)$$

В тех случаях, когда скорость осаждения задана или известна, для расчёта диаметра осаждающихся частиц удобно использовать графическую зависимость критерия Лященко от критерия Архимеда $Ly = f(Ar)$ (рис. 2). На основании данной зависимости критерий Лященко равен

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{w_{oc}^3 D_{ж}^2}{\mu(\rho_{ч} - \rho_{ж})g}. \quad (10)$$

В графической зависимости $Ly = f(Ar)$ исключён коэффициент сопротивления, который для несферических частиц зависит от их формы (округлая, угловая, пластинчатая и т.д.).

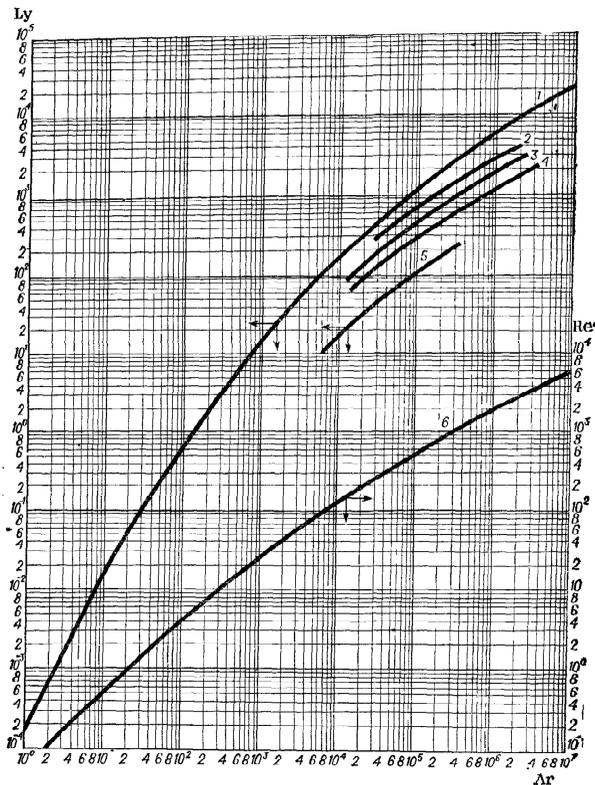


Рис. 2. Зависимость критериев Re и Ly от критерия Ar для осаждения одиночной частицы в неподвижной среде:

1 и 6 – шарообразные частицы; 2 – округленные; 3 – угловатые;
4 – продолговатые; 5 – пластинчатые

Для частиц неправильной формы скорость осаждения обычно меньше, и поэтому скорость, рассчитанную для сферической частицы, необходимо умножить (при отсутствии соответствующих графиков) на поправочный коэффициент формы ψ :

$$w_{oc} = \psi w_{oc.cф} \cdot \quad (11)$$

Значения фактора (коэффициента) формы ψ для некоторых геометрических тел (h – высота; r – радиус) представлены в табл. 1.

1. Значение коэффициента формы ψ

Форма частиц	ψ
Куб	0,806
Цилиндр ($h = 3r$)	0,860
Цилиндр ($h = 10r$)	0,691
Цилиндр ($h = 20r$)	0,580

При расчёте скорости стеснённого движения в формулу Стокса вводят поправочный множитель, учитывающий влияние концентрации суспензии, и её реологические свойства.

Для проведения процесса отстаивания используют песколовки, отстойники и осветлители.

Песколовки

Песколовки применяют для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений (0,20 ... 0,25 мм) из сточных вод. Горизонтальные песколовки представляют собой резервуары с треугольным или трапециевидным поперечным сечением. Глубина песколовков 0,25 ... 1,00 м. Скорость движения воды в них не превышает 0,3 м/с. Разновидностью горизонтальных песколовков являются песколовки с кругом движением воды в виде круглого резервуара конической формы с периферийным лотком для протекания сточной воды. Осадок собирается в коническом днище, откуда его направляют на переработку или в отвал. Применяются при расходах до 7000 м³/сут. Вертикальные песколовки имеют прямоугольную или круглую форму, в них сточные воды движутся с вертикальным восходящим потоком со скоростью 0,05 м/с.

Конструкцию песколовки выбирают в зависимости от количества сточных вод и концентрации взвешенных веществ. Наиболее часто используют горизонтальные песколовки.

Отстойники

Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные резервуары, имеющие два и более одновременно работающих отделения (рис. 3). Вода движется с одного конца отстойника к другому.

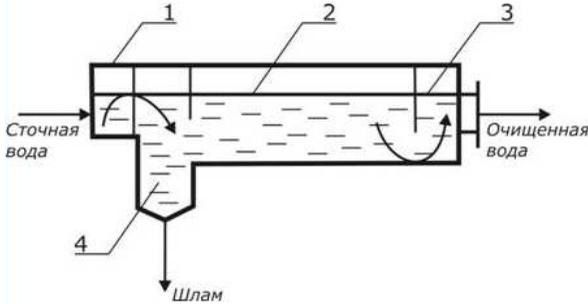


Рис. 3. Горизонтальный отстойник:

1 – входной лоток; 2 – отстойная камера; 3 – выходной лоток;
4 – лоток для удаления осадка

Глубина отстойников равна $H = 1,5 \dots 4$ м, длина $8 \dots 12$ м, а ширина коридора $3 \dots 6$ м. Равномерное распределение сточной воды достигается при помощи поперечного лотка. Горизонтальные отстойники рекомендуется применять при расходах сточных вод свыше $15\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Эффективность отстаивания достигает 60 %.

В отстойнике каждая частица движется с потоком воды со скоростью w и под действием силы тяжести вниз – $w_{\text{ос}}$. Таким образом, скорость перемещения каждой частицы будет представлять равнодействующую двух этих скоростей. В отстойнике успеют осесть только те частицы, траектория которых пересекает дно отстойника в пределах его длины. Горизонтальную скорость движения воды в отстойнике принимают не более $0,01$ м/с. Продолжительность отстаивания $1 \dots 3$ ч.

Вертикальные отстойники

Схема вертикального отстойника одной из конструкций показана на рис. 4. Отстойник представляет собой цилиндрический (или квадратный в плане) резервуар с коническим дном. Сточную воду подводят по центральной трубе. После поступления внутрь отстойника вода движется снизу вверх к желобу. Для лучшего её распределения и предотвращения образования мути трубу делают с раструбом и распределительным щитом. Таким образом, осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого равна $0,5 \dots 0,6$ м/с.

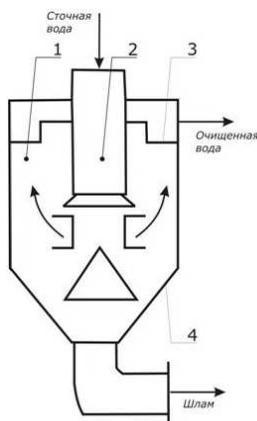


Рис. 4. Вертикальный отстойник:

1 – цилиндрическая часть; 2 – центральная труба; 3 – жёлоб;
4 – коническая часть

Высота зоны осаждения – 4 ... 5 м. Каждая частица движется с водой вверх со скоростью v и под действием силы тяжести вниз $w_{ос}$. Поэтому различные частицы будут занимать различное положение в отстойнике. При $w_{ос} > v$ будут быстро оседать, при $w_{ос} < v$ – уноситься вверх. Эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на 10 ... 20 %, чем в горизонтальных.

Радиальные отстойники

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары (рис. 5). Вода в них движется от центра к периферии. При этом минимальная скорость наблюдается у периферии. Такие отстойники применяют при расходах сточных вод свыше 20 000 м³/сут. Глубина проточной части отстойника – 1,5 ... 5 м, а отношение диаметра к глубине от 6 до 30. Обычно используют отстойники диаметром 16 ... 60 м. Эффективность их осаждения составляет 60 %.

Повысить эффективность отстаивания можно путём увеличения скорости осаждения, увеличив размеры частиц коагуляцией (объединение частиц дисперсной фазы в агрегаты вследствие сцепления (адгезии) частиц при их соударениях) и флокуляцией (вид коагуляции, при которой мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в жидкой или газовой среде, образуют рыхлые хлопьевидные скопления, так называемые флоккулы, происходит под влиянием специально добавляемых веществ – флокулянтов) или уменьшив вязкость сточной воды путём нагревания. Кроме того, можно увеличить площадь отстаивания и проводить процесс осаждения в топком слое жидкости.

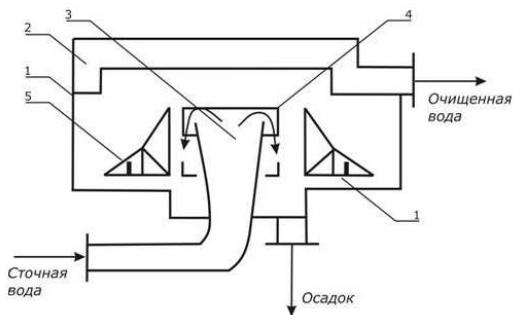


Рис. 5. Радиальный отстойник:

- 1 – корпус; 2 – жёлоб; 3 – распределительное устройство;
4 – успокоительная камера; 5 – скребковый механизм

В последнем случае используют трубчатые и пластинчатые отстойники. При малой глубине отстаивания процесс протекает за короткое время (4 ... 10 мин), что позволяет уменьшить размеры отстойников.

Трубчатый отстойник

Рабочими элементами трубчатых отстойников являются трубки диаметром 25 ... 50 мм и длиной 0,6 ... 1 м. Трубки можно устанавливать с малым (до 5°) и большим (45 ... 60°) наклоном. Трубчатый отстойник с небольшим наклоном (рис. 6) работает периодически. Сначала проводят отстаивание, затем промывку трубок от осадка. Для успешного проведения процесса необходимо равномерное распределение воды по трубкам и ламинарный режим движения. Такие отстойники используют для осветления сточных вод с небольшим содержанием взвешенных частиц при расходах 100 ... 10 000 м³/сут. Гидравлическая нагрузка у отстойников 6 ... 10 м³/ч на 1 м² входного сечения трубок. Эффективность очистки 80 ... 83 %.

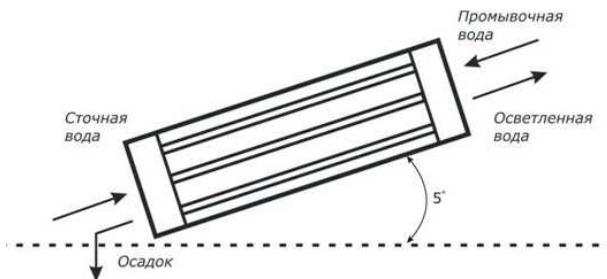


Рис. 6. Трубчатый отстойник

В трубчатых отстойниках с большим наклоном вода проходит снизу вверх, а осадок непрерывно сползает по дну трубок в шламовое пространство. Непрерывное удаление осадка исключает необходимость промывки трубок. Отстойники этого типа могут быть изготовлены из пластмассовых блоков, которые устанавливают в корпусах обычных отстойников. Гидравлическая нагрузка отстойников с большим наклоном труб от 2,4 до 7,2 м³/ч на 1 м² входного сечения труб.

Пластинчатые отстойники

Пластинчатые отстойники имеют в корпусе ряд параллельно установленных наклонных пластин (рис. 7). Вода движется между пластинами, а осадок сползает вниз в шламоприёмник. Могут быть прямоточные отстойники, в которых направление движения воды и осадка совпадают; противоточные – вода и осадок движутся навстречу друг другу; перекрёстные, в которых вода движется перпендикулярно движению осадка. Наиболее распространены противоточные отстойники.

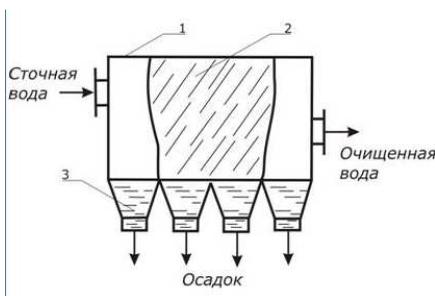


Рис. 7. Отстойник с наклонными пластинами:
1 – корпус; 2 – пластины; 3 – шламоприёмник

Осветлители

Осветлители применяют для очистки природных вод и для предварительного осветления сточных вод некоторых производств. Используют, в частности, осветлители с взвешенным слоем осадка, через который пропускают воду, предварительно обработанную коагулянтами. В осветлителях одновременно с отстаиванием происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных частиц.

Принципиальная схема осветлителя показана на рис. 8. Воду с коагулянтом подают в нижнюю часть осветлителя. Хлопья коагулянта и увлекаемые им частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды до тех пор, пока скорость выпадения их не станет равной скорости восходящего потока – сечение I–I.

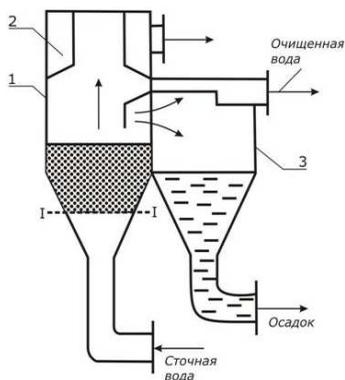


Рис. 8. Блок осветлителя:

1 – осветлитель; *2* – жёлоб; *3* – осадкоуплотнитель

Выше этого сечения образуется слой взвешенного осадка, через который фильтруется осветлённая вода. При этом наблюдается процесс прилипания частиц взвеси к хлопьям коагулянта. Осадок удаляется в осадкоуплотнитель, а осветлённая вода поступает в жёлоб, из которого её направляют на дальнейшую очистку.

Образование и уплотнение осадка в осадкоуплотнителе происходит в условиях непрерывного поступления взвеси. При этом протекают следующие процессы:

1. Стеснённое осаждение частиц, образование сплошной пространственной структуры из этих частиц с постепенным уменьшением её объёма в результате сжатия пустот между частицами.
2. Уплотнение хлопьевидных частиц осадка, сопровождающееся удалением воды, заключённой в ячейках хлопьев.
3. Сжатие хлопьев. Третий процесс протекает медленнее двух других и поэтому лимитирует процесс уплотнения осадка в целом.

Зависимость гидравлического сопротивления слоя от скорости стеснённого осаждения показана на рис. 9. Участок I характеризует потери напора в неподвижном слое, а участок II – во взвешенном слое.

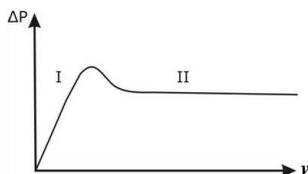


Рис. 9. Зависимость потери напора от скорости восходящего потока воды в осветлителе

Работу осветлителей при очистке сточных вод с малым содержанием взвешенных частиц можно интенсифицировать повышением концентрации твёрдой фазы (например, добавлением глины) или рециркуляцией осадка осветлителя. Второй путь более экономичен.

Конструкции осветлителей весьма разнообразны и отличаются по следующим признакам:

- 1) по форме рабочей камеры;
- 2) по наличию или отсутствию дырчатого днища под слоем взвешенного осадка;
- 3) по способу удаления избыточного осадка;
- 4) по конструкции и месту расположения осадкоуплотнителей.

Для интенсификации процесса первичного отстаивания труднооседающих веществ на станциях биологической очистки применяют отстойники-осветлители с естественной аэрацией, которые представляют собой вертикальные отстойники с внутренней камерой флокуляции.

В таких отстойниках сточная вода через центральную трубу поступает в камеру флокуляции, где происходит частичное окисление органических веществ аэрируемым воздухом, хлопьеобразование и сорбция загрязнений. Затем сточная вода поступает в отстойную зону. При прохождении через слой взвешенного осадка из неё удаляют мелкодисперсные взвешенные частицы. Объём камеры флокуляции обеспечивает 20-минутное пребывание в ней воды. Степень очистки от взвешенных частиц достигает 70 %.

Установка

Установка состоит из трёх стеклянных кубов ($h_k > 50$ мм), заполненных разными жидкостями. Вверху и внизу каждого куба имеются метки, фиксирующие расстояния, которые частицы проходят в процессе осаждения: первая на высоте 100 мм от верхнего края куба (практически на дне), вторая – на высоте 100 мм от нижнего края.

Замеряя секундомером время, в течение которого частица проходит расстояние между метками, можно определить скорость осаждения частицы.

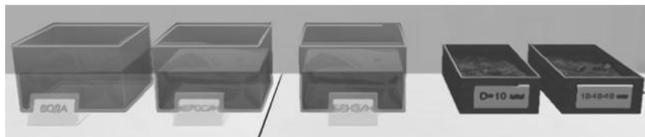


Рис. 10. Стеклянные кубы шириной 50 мм и высотой 110 мм с жидкостями и боксы с частицами

Порядок проведения работы

1. Сферические частицы диаметром 10 мм или частицы в форме куба размером 10×10×10 мм введите в сосуд над поверхностью жидкости и аккуратно опустите в жидкость. Секундомером зафиксируйте время прохождения частицы. Каждый замер дублируют. Результаты опытов занесите в табл. 2.

2. При вычислении критериев Re , Ar и Ly используйте средние значения скорости осаждения $w_{ос}$ и диаметра частиц $d_{ч}$.

Расстояние между рисками в цилиндре – 800 мм.

Плотность твёрдых частиц – 7600 кг/м³.

Свойства жидкостей:

- вода – плотность 1000 кг/м³, динамическая вязкость 1000 мкПа·с;
- керосин – плотность 820 кг/м³, динамическая вязкость 1800 мкПа·с;
- бензин – плотность 700 кг/м³, динамическая вязкость 530 мкПа·с.

3. Для определения скорости осаждения $w_{ос}$ следует провести не менее 6 опытов на каждый вид частицы (по два на каждую жидкость).

Если частица в процессе осаждения коснулась стенки куба или к частице прилип пузырёк воздуха, то в верхнем углу монитора появляется надпись: «Произошло касание стенки сосуда частицей. Опыт необходимо повторить» – результат такого опыта не следует учитывать и опыт необходимо повторить.

4. На основе экспериментальных данных вычислите скорость осаждения в каждом замере.

5. Определите значения критериев Re , Ar и Ly для каждого опыта.

6. Постройте экспериментальные зависимости $Re = CAr^n$ и найдите коэффициенты C и n ; сравните полученные зависимости с расчетными формулами (1) – (3), (6) – (9), (11).

7. Нанесите экспериментальные данные на график $Ly = f(Ar)$.

8. Вычислите с помощью зависимости $Ly = f(Ar)$ и известной скорости осаждения фактор формы ψ для заданных некруглых частиц и сравните с приведёнными выше данными (табл. 1).

Отчёт

Цель работы: _____

2. Отчётная таблица

№ п/п	№ замера	Частицы			Жидкость		Время осаждения частицы, τ , с		Скорость осаждения, $w_{ос}$, м/с	Re	Ar	Ly	ψ
		Материал, форма	$d_{ч}$, мм	$\rho_{ч}$, кг/м ³	V , м ³	Название	t , °C	$\rho_{ж}$, кг/м ³					

График зависимости $Re = CAr^n$.

Выводы: _____

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

«___» _____ 20__ г.

Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на осаждающуюся частицу?
 2. Какие физические величины входят в число Рейнольдса для осаждающихся частиц?
 3. Какие режимы осаждения известны?
 4. Как определить скорость осаждения для несферических частиц?
 5. Как определить диаметр частиц, если известна их скорость осаждения?
 6. Как влияет несферичность осаждающихся частиц на зависимость $Ly = f(Ar)$?
 7. С помощью какой графической зависимости можно вести приближённые расчёты $w_{ос}$ или $d_{ч}$ для любого режима осаждения?
 8. Как можно учесть стеснённость движения при расчёте $w_{ос}$?
- Литература:*[1], [8], [9].

Лабораторная работа 3

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ОСАДИТЕЛЬНОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

Цель работы: 1. Изучение устройства и принципа действия осадительной центрифуги.

2. Исследование влияния режимных параметров (числа оборотов ротора, продолжительности процесса) на степень разделения суспензий.

Основы теории

Механическое обезвоживание осадков сточных вод проводят на вакуум-фильтрах (барабанных, дисковых, ленточных), листовых фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах и виброфильтрах.

На вакуум-фильтрах из осадков может быть удалено в среднем 80 %, на дисковых – 90 %, а на фильтр-прессах – 98 % общего количества механически связанной воды. Производительность вакуум-фильтров наиболее высокая. Выбор конструкции фильтра зависит от технико-экономических показателей процесса.

Для эффективного обезвоживания осадков их предварительно обрабатывают химическими реагентами (CaO , FeCl_3). Дозу реагента определяют экспериментально в зависимости от удельного сопротивления осадка: чем оно выше, тем больше реагента требуется для снижения удельного сопротивления осадка. При обезвоживании на вакуум-фильтрах доза извести (в % массы сухого вещества осадка) определяют по формуле

$$D = 0,3 \left(\sqrt{R} + \sqrt{\frac{B}{c} + 0,001\Pi} \right), \quad (1)$$

где R – приведённое значение сопротивления осадка, см/г ($R = r10^{-10}$), г; r – удельное сопротивление осадка, см/г; B – влажность осадка, %; c – концентрация сухого вещества осадка, %; Π – щёлочность осадка до коагулирования, мг/л. Доза FeCl_3 составляет 30 ... 40 % от дозы CaO , вычисленной по формуле (1).

Установки механического обезвоживания осадков, кроме основных агрегатов, включают вспомогательное оборудование для подготовки осадков к обезвоживанию и транспортированию. На рис. 1 представлена установка для обезвоживания осадка на барабанных фильтрах.

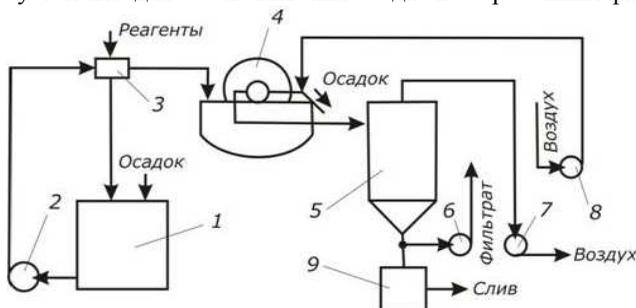


Рис. 1. Схема установки для обезвоживания осадка на барабанных фильтрах

1 – ёмкость; 2, 6 – насосы; 3 – дозатор; 4 – вакуум-фильтр; 5 – ресивер;
7 – вакуум-насос; 8 – воздуходувка; 9 – гидравлический затвор

Осадок из резервуара насосом через дозатор подают на фильтр, куда поступают и реагенты. На поверхности вращающегося барабана образуется уплотнённый осадок, который удаляется сжатым воздухом. Фильтрат поступает в ресивер, где происходит разделение воздуха и фильтрата. Фильтрат, содержащий 50 ... 1000 мг/л осадка, смешивают с исходными сточными водами и подвергают совместной очистке.

Регенерацию ткани фильтра проводят сжатым воздухом.

Обезвоживающие установки с центрифугами

Под центрифугированием понимают разделение жидких неоднородных систем (суспензий, эмульсий) под действием центробежных сил. Процессы центрифугирования осуществляются в машинах названных центрифугами.

Центрифугирование производится двумя методами: центробежное осаждение и центробежное фильтрование.

Центробежным осаждением называется процесс выделения твёрдой фазы из суспензий, осуществляемый в осветляющих и осадительных центрифугах периодического и непрерывного действия.

В практических условиях осадительное центрифугирование может осуществляться одним из трех способов:

1) с непрерывным подводом суспензии и непрерывным отводом фугата – жидкости, удаляемой в слив в процессе центробежного осаждения (в высокоскоростных шнековых центрифугах, сепараторах, трубчатых центрифугах) и осадка;

2) с длительным отводом фугата без удаления осадка во время процесса;

3) центрифугированием определённого объёма суспензии, который не пополняется, а фугат и осадок во время процесса не отводятся.

При центробежном осаждении твёрдая дисперсная фаза осаждается на внутренней поверхности сплошного ротора центрифуги. Этот процесс делится на собственно центробежное осаждение и центробежное осветление, при этом используются объёмные силы дисперсной среды в центрифугах со сплошными роторами. В первом случае происходит осаждение частиц твёрдой фазы из высококонцентрированных суспензий в обычных промышленных центрифугах, во втором – выделение мелкодисперсных твёрдых частиц из малоконцентрированных суспензий с образованием осадка и фугата.

В отличие от центробежного фильтрования при центробежном осаждении над сформированным осадком обычно имеется свободная жидкость, поэтому осадок сохраняет высокую влажность.

Центробежное осаждение состоит из трёх последовательных процессов: осаждения твёрдых частиц, уплотнения осадка, частичного удаления остаточной влаги. Рабочим органом центрифуги является

ротор (барабан), закреплённый на вертикальном или горизонтальном вращающемся валу. Ротор обычно состоит из кольцевой крышки, цилиндрической или конической обечайки и днища. Во внутреннюю полость ротора подаётся суспензия (эмульсия), частицы твёрдого материала (тяжёлая фаза) под действием центробежных сил скапливаются у стенки ротора, а жидкость (легкая фаза) располагается ближе к оси жидкостного цилиндра, соосного вращающемуся ротору; в дальнейшем из ротора удаляются обе фазы.

Фактор разделения – безразмерная величина, определяющая эффективность центрифуги, – позволяет сопоставить основные показатели различных центрифуг. С физической точки зрения фактор разделения определяет отношение ускорения поля центробежных сил, создаваемого центрифугой, к ускорению свободного падения:

$$F_r = \frac{w^2 r}{g}, \quad (2)$$

где w – угловая скорость потока, рад/с; r – радиус потока (наружный радиус слоя осадка), м.

Чем больше фактор разделения, тем значительнее воздействие центробежных сил на твёрдый материал и выше возможности их осаждения. Достоинствами установки центрифугирования являются простота, экономичность, низкая влажность обезвоженных осадков, лёгкость в управлении.

Для обезвоживания осадков рекомендуют следующие технологические схемы:

- 1) раздельного центрифугирования сырого осадка первичных отстойников и активного ила;
- 2) центрифугирования осадков первичных отстойников с последующим аэробным сбраживанием фугата.

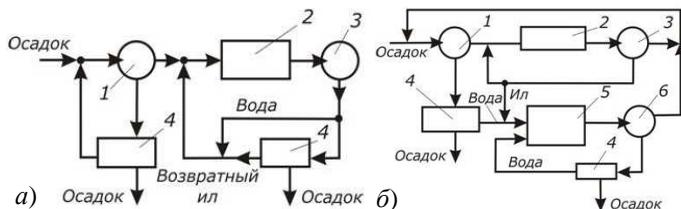


Рис. 2. Схемы установок обезвоживания осадков с применением центрифуг:

a – с раздельным центрифугированием осадков из первичного и вторичного отстойников; *б* – с центрифугированием осадков первичных отстойников и последующим аэробным сбраживанием фугата:

1 – первичные отстойники; 2 – аэротенки; 3 – вторичные отстойники;

4 – центрифуги; 5 – минерализатор, 6 – уплотнитель

По первой схеме фугат сырого осадка направляют в первичные отстойники, а фугат активного ила используют в качестве возвратного ила в аэротенках. По этой схеме из состава очистных сооружений исключаются уплотнители. Время отстаивания в первичных отстойниках увеличивается до 4 ... 4,5 ч. На центрифуги подают весь активный ил или его часть.

По второй схеме производят центрифугирование осадка первичных отстойников с последующим аэробным сбраживанием фугата в смеси с избытком неуплотнённого активного ила. Продолжительность сбраживания в минерализаторе 6 ... 8 сут, а время уплотнения 6 ... 8 ч. Влажность уплотнённого осадка – 97,5 %.

Предусмотрено и центрифугирование уплотнённой сброженной смеси. Имеется также схема с центрифугированием сброженного осадка с подачей фугата на иловые площадки.

Подбор центрифуг производят исходя из пропускной способности по исходному осадку $\Pi_{исх}$. Пропускная способность центрифуг по обезвоженному осадку рассчитывается по формуле

$$\Pi_k = \frac{10\Pi_{исх}(100 - w_{исх})\rho_{ос}\eta}{100 - w_k}, \quad (3)$$

где $w_{исх}$ и w_k – влажность соответственно исходного и обезвоженного осадка, %; $\rho_{ос}$ – плотность осадка, т/м³; η – эффективность задерживания сухого вещества, %.

Описание конструкции пробирочной центрифуги

В работе используется центрифуга лабораторная медицинская настольная с ротором на 10 пробирок ЦЛМН-Р10-01,02 – «Элекон» (рис. 3).



Рис. 3. Центрифуга ЦЛМН-Р10-01,02 – «Элекон»

Данная центрифуга периодического действия, переносная, предназначена для разделения неоднородных жидких систем плотностью до 2 г/см^3 в поле центробежных сил при применении в практике клинической лабораторной диагностики, в закрытых помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями, при температуре окружающего воздуха от $+ 10^\circ\text{C}$ до $+ 35^\circ\text{C}$ и верхнем значении относительной влажности воздуха 80% при $+ 25^\circ\text{C}$. Класс электробезопасности I, степень защиты H.

Все основные составные части центрифуги (механические и электрические) смонтированы на основании.

Основание представляет собой металлический диск, на котором закреплён пластмассовый корпус центрифуги. На основание, через резиновые амортизаторы, опирается электродвигатель привода центрифуги. На валу привода установлен десятиместный ротор (пробиркодержатель).

Пространство, в котором вращается ротор, образовано крышкой центрифуги с прозрачным окном сверху и камерой. Центрифуга снабжена электромагнитным устройством, блокирующим крышку от открывания при вращающемся роторе.

Принцип работы

При включении центрифуги происходит начальная установка режима времени работы центрифуги. На цифровом индикаторе высвечивается ранее используемое время работы из «памяти» центрифуги (последний рабочий режим перед выключением питания), непрерывно горит индикатор «СТОП», при открытой крышке горит индикатор «КРЫШКА».

С помощью кнопок под цифровым индикатором устанавливается значение времени работы центрифуги. Правая кнопка увеличивают значение (\blacktriangle), левая кнопка – уменьшает заданную величину (\blacktriangledown). При удержании кнопок нажатыми более 2,5 секунд происходит ускоренный набор значений на индикаторе.

Пуск центрифуги возможен только при закрытой крышке (индикатор «КРЫШКА» не горит). При нажатии одной из кнопок ступеней вращения электродвигателя «1.0», «1.5», «2.0» или «2.7» включается электродвигатель и срабатывает электромагнит, блокирующий открывание крышки во время вращения ротора центрифуги. Индикатор «СТОП» гаснет и загорается индикатор соответствующей ступени скорости вращения ротора. Начинается отсчёт времени работы центрифуги, ротор начинает вращение и плавно выходит на заданную частоту.

Обратный отсчёт времени до нуля ведётся, если время работы центрифуги предварительно установлено на цифровом индикаторе,

при этом центрифуга автоматически отключается при достижении показания цифрового индикатора «МИНУТЫ», равного «00», загорается индикатор «СТОП» в мигающем режиме, а при полной остановке ротора индикатор «СТОП» горит постоянно.

Остановку центрифуги можно произвести, не дожидаясь окончания установленного времени работы, с помощью кнопки «СТОП». Центрифуга входит в режим остановки так же, как и при отработке установленного времени работы. Прямой отсчёт времени ведётся, если не было произведено предварительной установки времени работы центрифуги (на индикаторе «МИНУТЫ» – значение «00»).

При нажатии одной из кнопок ступеней вращения электродвигателя «1.0», «1.5», «2.0» или «2.7» двигатель включается, и центрифуга работает, ведя прямой отсчёт времени работы, о чём сигнализирует точка в правом нижнем углу цифрового индикатора «МИНУТЫ».

Остановка центрифуги производится нажатием кнопки «СТОП» (либо автоматически через 100 минут), после чего включается торможение, загорается индикатор «СТОП» в мигающем режиме, а при полной остановке ротора, постоянно загорается индикатор «СТОП».

Время плавного торможения составляет не более 40 секунд и зависит от выбранной скорости вращения ротора. После полной остановки ротора центрифуги, происходит отпускание электромагнита, блокирующего крышку, позволяющее открыть её и заменить испытуемые образцы.

Центрифуга при этом обеспечивает повторяемость ранее установленного режима работы (интервала времени центрифугирования) после полной остановки вращения ротора (при открывании крышки или нажатии кнопки «СТОП»), после отключения сетевого питания при следующем пуске центрифуги.

При случайном открывании крышки центрифуги произойдёт замыкание контактов микропереключателя, что аналогично нажатию кнопки «СТОП», и центрифуга входит в режим остановки, аналогично вышеописанному. Центрифуга обеспечивает блокировку включения двигателя при открытой крышке (разомкнутых контактах микропереключателя).

Порядок проведения работы

На центральном столе находится осадительная центрифуга (рис. 4). Рядом расположены 4 штатива (рис. 5) с пронумерованными от 1 до 10 пробирками, каждая из которых заполнена на $2/3$ (60 мм) белой непрозрачной жидкостью (высота пробирок 100 мм; диаметр наружный 14 мм). Исходное содержание твёрдой фазы в каждой пробирке – 1 см^3 . Возле центрифуги находятся линейка и штатив для материала, прошедшего эксперимент.



Рис. 4. Центрифуга ЦЛМН-Р10-01,02 – «Элекон»

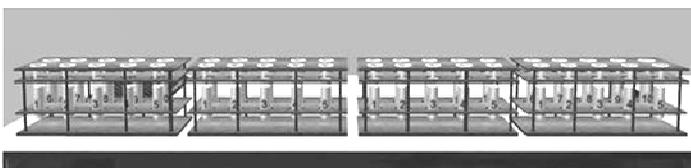


Рис. 5. Штативы с пробирками

Последовательность действий

1. Включите центрифугу кнопкой «СЕТЬ».
2. Установите десять пробирок с одного штатива в стаканчики ротора центрифуги.
3. Закройте крышку центрифуги.
4. Установите на центрифуге при помощи соответствующих кнопок частоту вращения (варианты – 1000, 1500, 2000, 2700 об./мин) и время (от 0 до 10 мин через 1 мин).
5. Выключение происходит через заданный интервал времени в автоматическом режиме.
6. Извлеките любую пробирку из центрифуги и при помощи линейки измерьте высоту осадка, после чего она ставится в штатив для материала, прошедшего эксперимент. Результаты измерений занесите в табл. 1. Возможно повторение процесса со следующей пробиркой и т.д.
7. Опыт повторяют на различной частоте и продолжительности процесса.
8. Определите объём влажного осадка по формуле

$$V_{\text{ос}} = V_{\text{с}} - V_{\text{ф}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{с}}$ – объём суспензии, мм^3 ; $V_{\text{ф}}$ – объём фугата, мм^3 .

$$V_{\phi} = h_1 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

где h_1 – высота слоя фугата, мм; d – диаметр пробирки, мм.

9. Рассчитайте фактор разделения по формуле (2).

10. Определите степень уплотнения осадка:

$$\Delta = \frac{V_{oc} - V'_{oc}}{V_{oc}}, \quad (6)$$

где V'_{oc} – первоначальный объём осадка, мм³; V_{oc} – объём осадка в данный момент времени, мм³.

11. Постройте зависимость изменения объёма влажного осадка от времени центрифугирования $V_{oc} = f(\tau)$ при различных числах оборотов ротора.

12. Постройте зависимость степени уплотнения осадка от фактора разделения $\Delta = f(F_r)$.

13. Сделайте выводы по работе.

Отчёт

Название работы: _____

Цель работы: _____

1. Отчётная таблица

Число оборотов, об/мин	№ пробирки	Время центрифугирования τ , мин	Высота слоя фугата h_1 , мм	Объёмы			Фактор разделения F_r
				суспензии V_c , мм ³	фугата V_{ϕ} , мм ³	осадка V_{oc} , мм ³	

График зависимости изменения объёма влажного осадка от времени центрифугирования $V_{oc} = f(\tau)$ при различных числах оборотов ротора.

График зависимости степени уплотнения осадка от фактора разделения $\Delta = f(F_r)$.

Выводы: _____

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

«__» _____ 20__ г.

Контрольные вопросы

1. Типы и конструкции осадительных центрифуг.
2. Параметры, характеризующие работу центрифуг.
3. Что такое фактор разделения?
4. Что такое индекс производительности?
5. Достоинство и недостатки осадительных центрифуг.
6. От чего зависит производительность центрифуги?
7. Из каких основных элементов состоит опытная установка?

Литература: [3], [7].

Лабораторная работа 4

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПЛОТНОСТЯМ В ЖИДКОСТИ

Цель работы: 1. Ознакомление с процессом обогащения материалов по плотностям в жидкости;

2. Изучение эффективности процесса обогащения.

Основы теории

В практике рекуперации твёрдых отходов промышленности используют различные методы обогащения перерабатываемых материалов, подразделяемых на гравитационные, магнитные, электрические, флотационные и специальные.

Гравитационные методы обогащения основаны на различии в скорости падения в жидкой (воздушной) среде частиц; различного размера и плотности. Они объединяют обогащение отсадкой, в тяжёлых суспензиях, в перемещающихся по наклонным поверхностям потоках, а также промывку.

Отсадка

Отсадка представляет собой процесс разделения минеральных зёрен по плотности под действием переменных по направлению вертикальных струй воды (воздуха), проходящих через решето отсадочной машины.

Отсадке обычно подвергают предварительно обесшламленные широко- или узкоклассифицированные материалы оптимальной крупности 0,5 ... 100 мм для нерудных и 0,2 ... 40 мм для рудных материалов. При отсадке крупного материала, находящийся на решете слой толщиной в 5 ... 10 диаметров наибольших частиц в подаваемом на переработку материале (питании) называют постелью. При отсадке мелкого материала (до 3 ... 5 мм) на решете укладывают искусственную постель из крупных тяжёлых частиц материала, размер которых в

3–4 раза превышает размер наиболее крупных частиц питания. В процессе отсадки материал расслаивается: в нижнем слое концентрируются тяжёлые частицы, в самом верхнем – лёгкие мелкие. Получаемые слои разгружают раздельно.

Тяжёлые суспензии

Обогащение в тяжёлых суспензиях и жидкостях заключается в разделении материалов по плотности в гравитационном или центробежном поле в суспензии или жидкости, плотность которой является промежуточной между плотностями разделяемых частиц.

Тяжёлые суспензии представляют собой взвешенные в воде тонкодисперсные частицы тяжёлых минералов или магнитных сплавов – утяжелителей, в качестве которых используют ферросилиций, пирит, пирротин, магнетитовый и гематитовый концентраты и другие материалы крупностью до 0,16 мм. В качестве тяжёлых жидкостей используют растворы хлоридов кальция и цинка, тетраоксида углерода, тетрабромэтана, хлорного олова и других соединений.

Для поддержания устойчивости суспензии в нее добавляют глину (до 3 % от массы утяжелителя) или применяют смесь порошков утяжелителей различной плотности.

Наиболее распространёнными аппаратами обогащения в тяжёлых средах являются барабанные, конусные, колесные и гидроциклонные сепараторы.

Обогащение в потоках на наклонных поверхностях

Эти процессы включают обогащение на концентрационных столах, а также в струйных сепараторах, шлюзах и подшлюзках, в винтовых сепараторах и шлюзах.

Обогащение на концентрационных столах характеризуется разделением минеральных частиц по плотности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоской деке стола, совершающей возвратно-поступательные горизонтальные движения перпендикулярно направлению движения воды.

Деки бывают трапециевидной и прямоугольной формы. На части поверхности дек в продольном направлении закрепляют параллельно располагаемые рифли (планки переменной высоты и длины), длина которых увеличивается от верхнего к нижнему краю стола – краю разгрузки лёгких продуктов. Пульпу разделяемого материала подают в верхний угол поверхности стола (деки). Питание деки смывной водой ведут с её верхнего края, ниже места ввода пульпы. Частицы разделяемого материала большей плотности оседают в межрифлённых про-

странствах и под действием колебаний наклонной деки продвигаются вдоль рифлей, достигая нерифлёной части деки, где образуют веер частиц различной плотности, удаляемых раздельно. Неоседающие частицы меньшей плотности переносятся смывным потоком через рифли; их в виде раздельных продуктов отводят с поверхности концентрационного стола.

Более эффективно разделение предварительно классифицированных материалов. Концентрационные столы изготавливают в промышленном, полупромышленном и лабораторном исполнении в одно- и многоярусном вариантах с деками трёх видов: песковые – для материалов крупностью $d > 1$ мм; мелкопесковые ($d = 0,2 \dots 1$ мм); шламовые ($d < 0,2$ мм).

Обогащение на винтовых сепараторах и шлюзах происходит, как и на столах, в небольшой толщине (6 ... 15 мм) потоке пульпы разделяемых материалов, подаваемой в верхнюю часть наклонного желоба (содержание твёрдого в пульпе 6 ... 40 %).

Винтовые сепараторы представляют собой неподвижные вертикальные винтообразные желоба (число витков 4 ... 6) с поверхностью специального профиля. Тяжёлые частицы пульпы сосредотачиваются в жёлобе ближе к вертикальной оси его витков и разгружаются посредством отсекателей в соответствующие приёмники. Лёгкие частицы концентрируются у периферийной части жёлоба и разгружаются в нижней части сепаратора. Жёлоб имеет угол наклона к горизонту.

Обогащение предварительно классифицированных и обесшламленных материалов характеризуется лучшими показателями.

Разновидностью винтовых сепараторов являются винтовые шлюзы, характеризующиеся более широкими желобами и меньшими наклонами днищ желобов.

Струйные сепараторы снабжены суживающимся к нижнему концу и устанавливаемым под углом 15 ... 20° жёлобом или конусом. Пульпу (содержание твёрдого 50 ... 60 %) загружают в верхнюю часть жёлоба. Сокращение расстояния между стенками жёлоба от загрузочного конца к разгрузочному приводит к увеличению высоты потока от 1,5 ... 2 мм до 7 ... 12 мм. Частицы большей плотности концентрируются в нижних слоях потока, а меньшей плотности сосредотачиваются в верхних его слоях. Разделённые потоки частиц поступают в отдельные приёмники. Производительность этих аппаратов определяется крупностью и минеральным составом обрабатываемого материала и обычно составляет 0,9 ... 5,5 т/ч на 1 м рабочей площади желоба. Их можно использовать и для классификации (например, строительного песка).

Шлюзы характеризуются наличием наклонных (3 ... 15°) лотков с укреплёнными на их дне трафаретами (бруски, уголки, профилированные коврики, панцирные сетки, ткань) для задержания тяжёлых частиц

подаваемой в верхнюю часть лотка пульпы перерабатываемого материала. Эти аппараты могут быть неподвижными и подвижными, глубокого (высота потока до 0,4 м – для переработки материалов крупностью от 20 до 100 мм и более) и мелкого (высота потока до 0,05 м – для материалов крупностью до 20 мм) заполнения. Аппараты мелкого заполнения называют подшлюзками. Легкие частицы пульпы уносятся потоком через трафареты, частицы большей плотности депонируются в межтрафаретных пространствах, после заполнения которых при прекращённой подаче пульпы производят их промывку водой с последующим смывом концентрата в приёмник.

Промывка

Для разрушения и удаления глинистых, песчаных и других минеральных, а также органических примесей твёрдых отходов часто используют процессы их промывки (отмывки), которые проводят в промывочных машинах разнообразной конструкции (гидромониторы, барабанные грохоты, бутары, вращающиеся скрубберы, корытные мойки, аппараты автоклавного и других типов). В качестве промывочного агента наиболее часто используют воду (в ряде случаев с добавками ПАВ), иногда применяют острый пар и различные растворители.

Помимо описанных гравитационных методов обогащения в практике переработки твёрдых отходов используют и другие, часто называемые инерционными, которые основаны на различии плотностей компонентов обрабатываемых материалов, а также их упругостей и коэффициента трения.

Для оценки качества процесса обогащения воспользуемся показателем его эффективности E , определяемым отношением количества выделяемого продукта к его общему количеству в исходном материале (в %):

$$E = \frac{10^4(a-c)}{a(100-c)}, \quad (1)$$

где a и c – содержание обогащаемого материала соответственно в исходном материале и в выделенном продукте, %.

Оборудование, необходимое для проведения лабораторной работы

1. Ёмкость (8 л) с жидкостью (вода) (рис. 1).
2. Ёмкости с материалами:
 - материал № 1: размер 10 мм, форма – сферическая, насыпная плотность – 800 кг/м³;
 - материал № 2: размер 10 мм, форма – сферическая, насыпная плотность – 1500 кг/м³.

3. Шумовка.
4. Мерная ёмкость (масса 90 г) объёмом 1 л.
5. Весы.
6. Сушильный шкаф (рис. 2).
7. Смеситель «Турбула» (рис. 3).

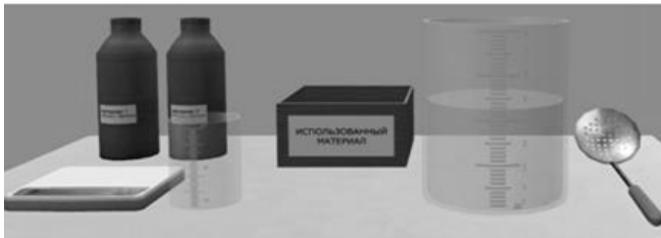


Рис. 1. Вспомогательное оборудование и материалы



Рис. 2. Сушильный шкаф

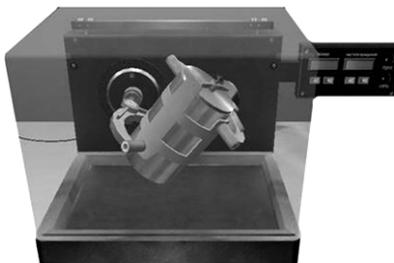


Рис. 3. Смеситель

Описание установки

Смеситель предназначен для периодического смешивания сыпучих материалов или жидкостей. Полный объём его составляет 2,6 литра. Устройство смесителя поясняется схемами, представленными на рис. 4 и 5.

Основной несущей частью изделия является корпус, расположенный на основании 1 и разделённый стенкой 2 на две части: в передней части расположен исполнительный механизм, в задней части – привод и система управления. На боковине 3 расположен блок управления работой смесителя, который позволяет регулировать частоту вращения чаши, а также время смешивания.

Система управления предназначена для управления режимами работы электродвигателя, также она позволяет управлять скоростью вращения корзины, задавать необходимое время работы и время паузы в работе смесителя.

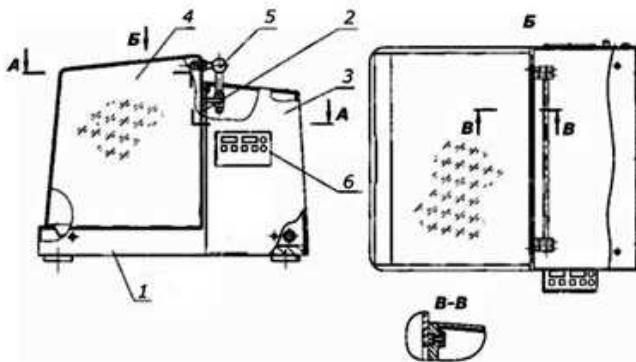


Рис. 4. Общий вид смесителя:

- 1* – основание; *2* – разделительная стенка; *3* – система управления;
4 – колпак; *5* – шарниры; *6* – панель управления с таймером

Исполнительный механизм смесителя закрыт прозрачным колпаком *4*. Колпак откидывается на шарнирах *5*, открывая доступ к исполнительному механизму.

Устройство исполнительного механизма поясняется схемой, представленной на рис. 5.

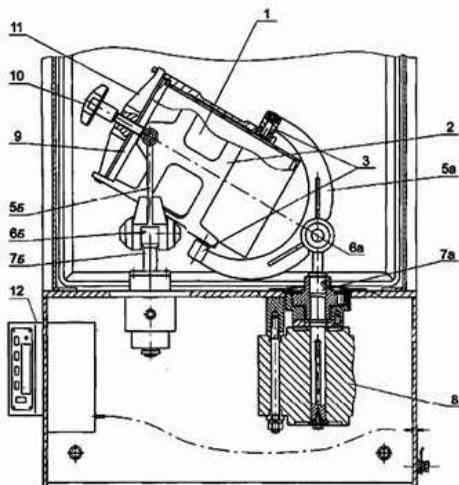


Рис. 5. Схема смесителя:

- 1* – смесительная чаша; *2* – корзина; *3* – бобышки; *5* – вилки; *6* – втулки;
7a – ведущий вал; *7b* – ведомый вал; *8* – привод; *9* – крышка; *10* – винт;
11 – струбцина

Под колпаком помещается съёмный поддон, предназначенный для сбора остатков смешиваемого материала. Чаша (в которую засыпается материал) вставляется в корзину, закрывается крышкой с прокладкой и фиксируется в корзине. Съёмная смесительная чаша 1 располагается в корзине 2, корпус которой снабжён двумя парами бобышек 3. Бобышки имеют отверстия, оси которых попарно взаимно перпендикулярны, а также перпендикулярны продольной оси корзины. В отверстия бобышек входят втулки двух серповидных вилок 5а и 5б. Вилка 5а шарнирно соединена своей центральной втулкой 6а с ведущим валом 7а привода 8. Вилка 5б также шарнирно соединена через свою центральную втулку 6б с ведомым валом 7б. Чаша закрывается крышкой 9 с помощью винта 10 и струбцины 11.

При включении привода в электросеть крутящий момент от ведущего вала 7а передаётся вилке 5а, которая и приводит в движение корзину 2. Эта корзина передает крутящий момент ведомому валу 7б и вилке 5б. В результате корзина 2 вместе с чашей 1 совершает сложные пространственные движения, перемешивая в турбулентном режиме находящийся в ней материал и обеспечивая высокое качество смеси.

Порядок выполнения работы

1. При отключённом от сети смесителе откиньте защитный колпак. Затем, отпустив винт 10 (см. рис. 5), вытащите струбцину 11 и извлеките чашу из корзины. Снимите с чаши крышку 9.

2. Поместите в мерную ёмкость первый материал (количество не менее 500 г), взвесьте, пересыпьте в чашу. То же самое произведите со вторым материалом. Определить плотность каждого материала $\rho(\text{кг/м}^3)$ и результаты занесите в табл. 1; состав исходной смеси – в табл. 2.

3. Установите чашу в корзину, закрепите винтом и опустите защитный колпак.

4. Нажмите на кнопку «Сеть». Установите режим работы (время, частоту) с помощью пульта управления (время – 2 мин; частота – 250 об/мин). Включите привод смесителя кнопкой «ПУСК». Через заданное время работы смеситель автоматически выключится.

5. Произведите открытие смесителя по аналогии с п.1.

6. Пересыпьте перемешанные материалы в ёмкость с жидкостью. Дождитесь полного разделения фракций.

7. Материал с поверхности жидкости соберите шумовкой и поставьте в сушильный шкаф для просушки (шкаф находится во включённом состоянии, температура внутри – 105°C). Нажмите кнопку «СТАРТ». Скорость процесса просушки 2 мин – по часам в реальности – 2 ч. По окончании процесса просушки фракцию поместите на весы. Те же самые действия произведите с более тяжёлым материалом.

8. Результаты экспериментов и расчётов запишите в табл. 2.
 9. Оцените эффективность процесса по формуле (1).
 10. Результаты расчётов запишите в табл. 2.

Отчёт

Цель работы: _____

1. Физико-механические свойства материалов

Наименование сыпучего материала	Объём дозы материала, м ³	Масса дозы материала, г	Плотность ρ , кг/м ³
Материал № 1			
Материал № 2			

2. Показатели процесса обогащения

Наименование показателя	Значение показателя
Общая масса исходного материала, г	
Масса обогащаемого материала в исходной смеси, г	
Доля обогащаемого материала от общей массы	
Время процесса, мин	
Полученная масса обогащаемого материала, г	
Доля полученного обогащаемого материала (среднее значение)	
Эффективность обогащения, %	

Выводы: _____

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

«___» _____ 20__ г.

Контрольные вопросы

1. Объясните механизм процесса разделения материалов по плотности в жидкости.
2. Что такое тяжёлые суспензии?
3. Как поддерживают устойчивость суспензий?
4. Назовите конструкции аппаратов, используемых для разделения материалов по плотности в жидкости.
5. В чём состоит существо обогащения компонентов твёрдых материалов путём отсадки?
6. Объясните суть процесса обогащения материалов при обработке на концентрационных столах.
7. Сущность процесса разделения материалов в винтовых и струйных сепараторах.
8. Как происходит процесс обогащения твёрдых материалов в шлюзах?

Литература: [3], [7].

Лабораторная работа 5

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: 1. Экспериментальное определение скорости начала псевдооживления и витания частиц при стеснённых условиях в потоке воздуха.

2. Сопоставление полученных результатов с рассчитанными значениями.

3. Изучение условий перехода зернистого слоя из неподвижного состояния во взвешенное и в режим пневмотранспорта.

Основы теории

В настоящее время одним из наиболее распространённых способов переработки отходов является их термическая обработка (сжигание, пиролизные процессы), осуществляемая в аппаратах с так называемым взвешенным (псевдооживленным), или кипящим слоем. В таких аппаратах указанные процессы существенно интенсифицируются.

Технология сжигания отходов в кипящем слое впервые реализована в начале 80-х годов XX века в Японии. К середине 90-х годов этот метод получил достаточно широкое распространение (например, в Японии на его долю приходится около 25% твёрдых бытовых отходов, подвергаемых термической переработке). Считают, что сжигание в кипящем слое по эколого-экономическим параметрам в ряде случаев превосходит традиционное слоевое сжигание.

Сжигание в кипящем слое осуществляют за счёт создания двухфазной псевдогомогенной системы «твёрдое – газ» путём превращения слоя отходов в "псевдожидкость" под действием динамического напора восходящего потока газа, достаточного для поддержания твёрдых частиц во взвешенном состоянии. Слой напоминает кипящую жидкость, и его поведение подчиняется законам гидростатики.

Печи для термической переработки отходов в кипящем слое обеспечивают наилучший режим теплопередачи и перемешивания обрабатываемого материала. Кроме того, аппараты кипящего слоя не имеют движущихся частей или механизмов. Однако необходимость обеспечения режима псевдооживления обрабатываемого материала накладывает ограничение на его гранулометрический и морфологический состав, а также на теплотворную способность, в связи с чем в ряде случаев процесс сжигания в кипящем слое (особенно в циркулирующем кипящем слое) оказывается более дорогим, чем слоевое сжигание.

В зависимости от характера псевдооживления различают три модификации кипящего слоя: стационарный, вихревой и циркулирующий кипящий слой. Роль теплоносителя в системах кипящего слоя обычно выполняет тонкозернистый песок, частицы которого создают большую поверхность нагрева.

Сущность процесса псевдооживления заключается в следующем. Если через неподвижный слой твёрдых частиц, лежащих на решётке, пропускать снизу вверх поток газа или жидкости и при этом постепенно увеличивать его скорость, то при некоторой скорости среды, называемой критической $W_{кр}$, весь слой твёрдых частиц переходит во взвешенное состояние.

При дальнейшем повышении скорости среды в аппарате объём взвешенного слоя возрастает. Такой расширившийся взвешенный слой, в котором происходит интенсивное перемешивание твёрдых частиц, во многом напоминает кипящую жидкость – он «течёт», принимает форму сосуда, через него пробулькивают пузыри газа; поэтому его часто и называют кипящим или псевдооживленным слоем.

На одиночную твёрдую частицу в направленном вверх потоке газа или жидкости действуют (рис. 1) сила тяжести G , подъёмная (архимедова) сила A и сила динамического (скоростного) давления потока P .

Для сферической частицы диаметром d (м) эти силы вычисляются по следующим формулам:



Рис. 1. Силы, действующие на твёрдую частицу в направленном вверх потоке

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{\text{ч}} g, \quad (1)$$

$$A = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{\text{с}} g, \quad (2)$$

$$P = \psi W^2 \rho_{\text{с}} d^2, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ и $\rho_{\text{с}}$ – соответственно плотности частицы и среды, кг/м³; W – скорость потока, м/с; ψ – коэффициент, зависящий от режима течения среды; g – ускорение свободного падения, м/с².

Если $G - A > P$, то частица опускается вниз; если $G - A < P$, частица уносится потоком вверх. При $G - A = P$, когда все силы, действующие на частицу, уравновешены, частица находится в потоке во взвешенном состоянии, «витают» в нём. Для газа можно пренебречь архимедовой силой, тогда $G - A \approx P$. Скорость среды, при которой достигается такое взвешенное состояние частицы, называют скоростью витания $W_{\text{вит}}$. При некоторой скорости среды, называемой скоростью уноса $W_{\text{у}}$, взвешенный слой разрушается – твёрдые частицы уносятся из аппарата потоком среды (возникает их пневмотранспорт).

Следует отметить, что под скоростью движения псевдоожижающего агента (среды) имеют в виду фиктивную скорость $W_{\text{ф}}$, т.е. скорость среды, отнесенную к полному поперечному сечению пустого аппарата:

$$W_{\text{ф}} = \frac{V}{f}, \quad (4)$$

где V – объёмный расход газа (жидкости), м³/с; f – площадь поперечного сечения аппарата, м².

В действительности скорость W в промежутках между частицами слоя, измерить которую трудно, всегда будет больше фиктивной.

Если, увеличивая постепенно расход газа, измерять дифференциальным манометром падение давления газа (рис. 2), т.е. измерять гидравлическое сопротивление слоя $\Delta p_{\text{сл}}$ от фиктивной скорости газа $W_{\text{ф}}$, то график будет иметь вид, показанный на рис. 3, из которого видно, что в области существования взвешенного слоя, начиная от критической скорости газа $W_{\text{кр}}$, до скорости уноса $W_{\text{ун}}$, значение $\Delta p_{\text{сл}}$ будет постоянным. Когда все частицы слоя перешли во взвешенное состояние, давление газа перед слоем должно уравновешивать вес частиц, приходящихся на единицу площади поперечного сечения аппарата f :

$$\Delta p_{\text{сл}} = \frac{G_{\text{сл}}}{f}, \quad (5)$$

где $G_{\text{сл}}$ – вес всех частиц слоя, Н.

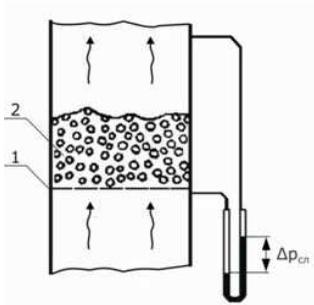


Рис. 2. Измерение гидравлического сопротивления слоя:

1 – решётка;
2 – слой твёрдых частиц

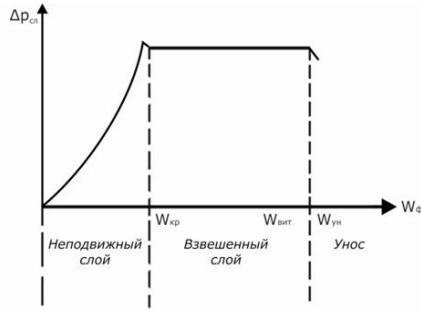


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления слоя от фиктивной скорости газа

Для взвешенного слоя потеря давления $\Delta p_{\text{сл}}$ постоянна, т.е. не зависит от скорости газа $W_{\text{ун}}$. Это постоянство значения $\Delta p_{\text{сл}}$ объясняется тем, что при повышении расхода газа и его фиктивной скорости $W_{\text{ф}}$ происходит одновременное увеличение объёма взвешенного слоя и расстояния между частицами. Вследствие этого действительная скорость газа $W_{\text{ун}}$ между частицами, от которой зависит сопротивление слоя, остаётся неизменной.

Важнейшей характеристикой слоя твёрдых частиц как неподвижного, так и взвешенного, является порозность ε – объёмная доля газа в слое:

$$\varepsilon = \frac{(V - V_{\text{T}})}{V}, \quad (6)$$

где V – общий объём, занимаемый слоем, м^3 ; V_{T} – объём, занимаемый только твёрдыми частицами, м^3 .

Для неподвижного слоя сферических частиц одинакового диаметра порозность ε составляет приблизительно 0,4 независимо от диаметра частиц. Для взвешенного слоя порозность ε с увеличением расхода газа будет повышаться, так как объём взвешенного слоя V при этом возрастает. При скорости уноса $W_{\text{ун}}$ предельной для взвешенного слоя, можно считать, что $V \gg V_{\text{T}}$ и $\varepsilon \geq 1$. Таким образом, взвешенный слой шаровых частиц одинакового диаметра может существовать в пределах от $\varepsilon = 0,4$ ($W_{\text{ф}} = W_{\text{кр}}$) до $\varepsilon = 1$ ($W_{\text{ф}} = W_{\text{вит}}$).

Для расчёта аппаратов с взвешенным слоем необходимы расчётные уравнения, устанавливающие зависимость между физическими

свойствами газа и твёрдых частиц, скоростью газа и порозностью слоя ε . Такие эмпирические уравнения удобно представлять в виде зависимостей между обобщёнными безразмерными переменными, так называемыми критериями подобия, которые включают все физические величины, оказывающие влияние на рассматриваемый процесс.

В гидравлике взвешенного слоя очень удобной для расчётов и наглядной является графическая зависимость между критериями Лященко Ly и Архимеда Ar :

$$Ly = f(Ar, \varepsilon), \quad (7)$$

$$Ly = \frac{W_{\phi}^3 \rho_c^2}{\mu_c (\rho_{\text{ч}} - \rho_c) g}, \quad (8)$$

$$Ar = \frac{d_{\text{ч}}^3 \rho_c (\rho_{\text{ч}} - \rho_c) g}{\mu_c^2}, \quad (9)$$

где d – диаметр частицы, м; μ_c – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с – при значениях ε от 0,4 до 1, соответствующих области существования взвешенного слоя шаровых частиц диаметром $d_{\text{ч}}$ (рис. 4).

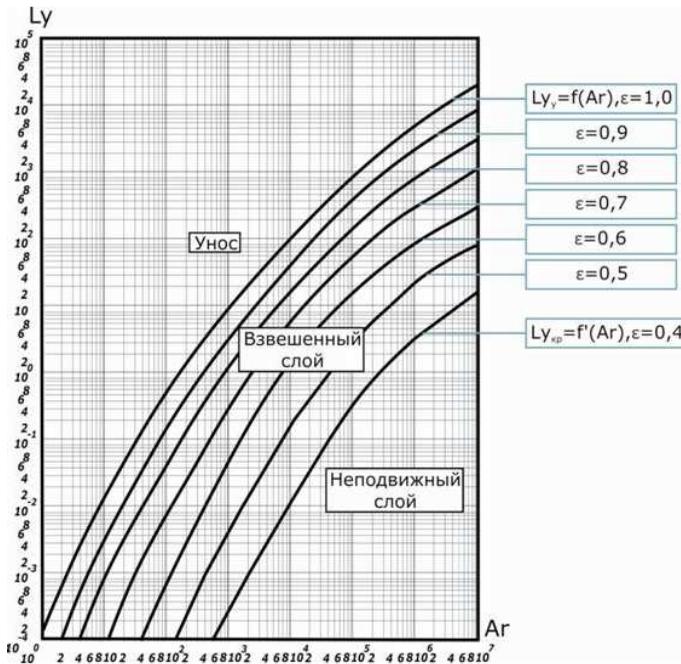


Рис. 4. Зависимость критерия Ly от критерия Ar и порозности ε

Если среда – газ, то $\rho_{\text{ч}} \gg \rho_{\text{с}}$ и выражения для критериев упрощаются:

$$Ly = \frac{W_{\text{ф}}^3 \rho_{\text{с}}^2}{\mu_{\text{с}} \rho_{\text{ч}} g}, \quad (10)$$

$$Ar = \frac{d_{\text{ч}}^3 \rho_{\text{с}} \rho_{\text{ч}} g}{\mu_{\text{с}}^2}. \quad (11)$$

В инженерной практике важно установить область существования псевдооживленного слоя в пределах $W_{\text{кр}} \div W_{\text{вит}}$. Для этого необходимо найти величины $W_{\text{кр}}$ и $W_{\text{вит}}$, которые рассчитываются по формулам Годеса:

$$Re_{\text{кр}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (12)$$

$$Re_{\text{вит}} = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}, \quad (13)$$

$$W_{\text{вит}} = \frac{Re_{\text{вит}} \mu_{\text{с}}}{D \rho_{\text{с}}}, \quad (14)$$

где D – диаметр аппарата, м.

Оборудование, необходимое для проведения лабораторной работы

Установка для изучения гидродинамики псевдооживленного слоя (рис. 5 и 6) состоит из прозрачной стеклянной колонки 1 ($d = 200$ мм), в которой на опорную решётку насыпан слой зернистого материала. За колонкой установлен сборник 6 для улавливания частиц в режиме пневмотранспорта.

Установка оборудована воздуходувкой 3, расходомером 4 для определения расхода воздуха и дифференциальным манометром 2 для измерения перепада давления по колонке. Подача воздуха в колонку регулируется вентилем 5.

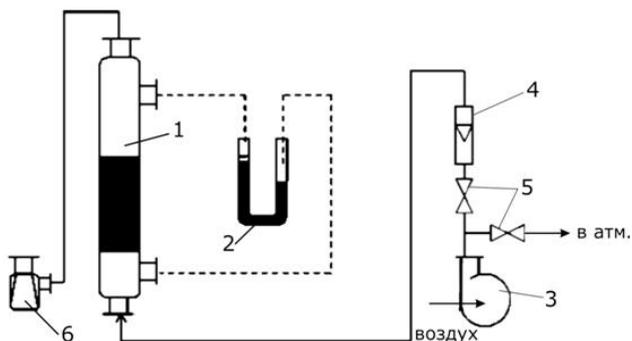


Рис. 5. Схема установки для изучения гидродинамики псевдооживленного слоя:

- 1 – колонка с опорной решёткой; 2 – дифференциальный манометр;
 3 – нагнетательный вентилятор; 4 – расходомер;
 5 – регулятор расхода воздуха; 6 – осадительное устройство

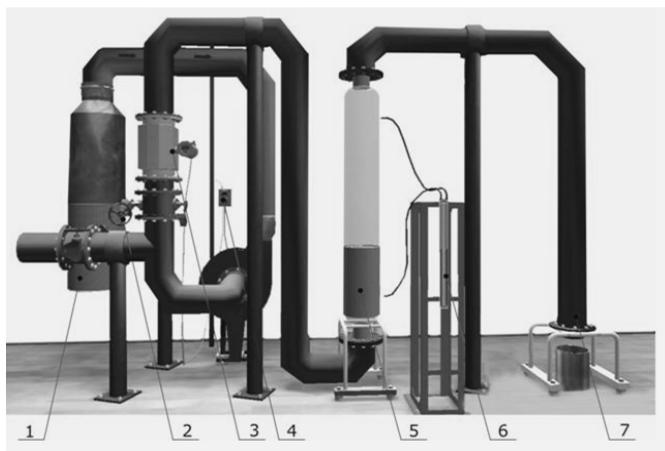


Рис. 6. Установка для изучения гидродинамики псевдооживленного слоя:

- 1 – осадительное устройство (рукавный фильтр и корзина);
 2 – задвижка для подачи топлива; 3 – расходомер;
 4 – автоматический выключатель; 5 – колонка с опорной решёткой;
 6 – дифманометр; 7 – осадительное устройство

Порядок выполнения работы

1. Включите вентилятор, для чего нажмите на кнопку «ПУСК» на автоматическом выключателе, висящем на стене (рис. 6). Остановить вентилятор можно в любой момент.

2. При заданных расходах воздуха, устанавливаемых задвижкой через единицу деления шкалы расходомера, измерьте перепад давления по колонке.

3. Полученные данные занесите в табл. 1 и постройте зависимость $\Delta p = f(W_\phi)$.

4. По построенному графику определите $W_{кр}$, рассчитайте $Lu_{кр}$ по формуле (8), по графической зависимости Lu от Ag и ε (см. рис. 4) определите Ag при $\varepsilon = 0,4$ и рассчитайте диаметр частиц по формуле (9), принимая $\rho_{ч} = 1,8 \text{ г/см}^3$, $\rho_{с} = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $\mu_{с} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

5. Рассчитайте скорость уноса частиц данного диаметра по значению Lu при $\varepsilon = 1$. Определите вес частиц в слое.

6. Установите визуально (3–4 раза) режим витания и начало уноса, замерьте при этом расход воздуха и перепад давления в слое.

7. После усреднения расхода воздуха, соответствующего началу уноса частиц, по уравнению расхода (4) рассчитайте среднюю скорость витания $W_{\text{вит.экс.}}$. Из зависимости (13) рассчитайте $Re_{\text{вит.расч}}$ (критерий Ag определён ранее).

8. По соотношению $\frac{W_{\text{вит.экс.}}}{W_{\text{вит.расч.}}} = \frac{Re_{\text{вит.экс.}}}{Re_{\text{вит.расч.}}}$ найдите $W_{\text{вит.расч.}}$ и сравните с $W_{\text{вит.экс.}}$.

9. Полученные данные сведите в табл. 2.

Отчёт

Цель работы: _____

1. Задание на выполнение работы

№ п/п	Расход воздуха V , м ³ /с	Скорость воздуха в колонке, м/с	Наблюдаемый режим	Перепад давления в колонке, Па

График зависимости $\Delta p = f(W_\phi)$.

2. Определение влажности материала в пробах

Определяемые параметры	Значения
1. Диаметр частиц d , мм	
2. Критическая скорость псевдооживления $W_{кр}$, м/с	
3. Скорость витания экспериментальная $W_{вит.эксп.}$, м/с	
4. Скорость витания расчётная $W_{вит.расч.}$, м/с	
5. Вес частиц в слое G , Н	

Выводы: _____

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

«___» _____ 20__ г.

Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на твёрдую частицу в потоке газа или жидкости?
2. Что такое скорость витания и от чего она зависит?
3. Чем отличаются друг от друга фиктивная, действительная и критическая скорости газов?
4. Что такое порозность слоя? В каких пределах изменяется порозность взвешенного слоя?
5. Как изменяется с возрастанием фиктивной скорости газа его действительная скорость в неподвижном и взвешенном слоях?
6. Какой характер имеет зависимость порозности слоя от расхода газа?
7. От чего зависят значения критической скорости и скорости уноса?
8. Почему с увеличением фиктивной скорости воздуха гидравлическое сопротивление неподвижного слоя растёт, а взвешенного слоя остаётся постоянным?
9. Как влияет размер частиц на порозность слоя?
10. Как рассчитать гидравлическое сопротивление взвешенного слоя, зная вес неподвижного слоя?
11. Назовите основные преимущества взвешенного (псевдооживленного) слоя для организации технологических процессов.

Литература: [2], [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветошкин, А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды / А.Г. Ветошкин. – М. : Высш. шк., 2008. – 397 с.
2. Дэвидсон, Дж. Псевдооживление / Дж. Дэвидсон, Д. Харрисон ; пер. с англ. – М. : Химия, 1973. – 325 с.
3. Михалева, З.А. Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование защиты окружающей среды : лабораторный практикум / З.А. Михалева, А.А. Баранов, В.А. Негров. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 84 с.
4. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М. :Химия, 1973. – 496 с.
5. Процессы и аппараты пищевых производств (массообменные процессы) : лабораторные работы / сост.: В.А. Набатов, Т.В. Павлова, В.М. Нечаев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 24 с.
6. Псевдооживление / под ред. В.Г. Айнштейна, А.П. Баскакова. – М. : Химия, 1991. – 456 с.
7. Родионов, А.И. Технологические процессы экологической безопасности (Основы энвайронменталистики) : учебник для студентов технических и технологических специальностей / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
8. Романков, П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П.Г. Романков, М.И. Курочкина. – Изд. 3-е. – Л. : Химия, 1982. – 286 с.
9. Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с.