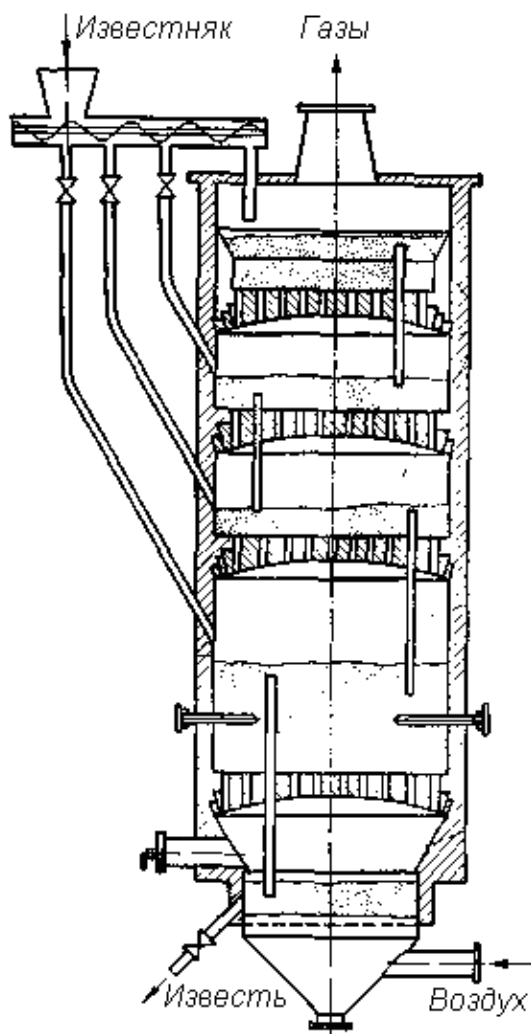


Н.Л. Овчинников, Л.Н. Овчинников, С.В. Натареев

СУШКА И ОБЖИГ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Учебное пособие



Иваново
2009

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический университет

Н.Л. Овчинников, Л.Н. Овчинников, С.В. Натарева

СУШКА И ОБЖИГ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Учебное пособие

Иваново 2009

УДК 66.047

Овчинников Н.Л., Овчинников Л.Н., Натареев С.В. Сушка и обжиг в кипящем слое: учеб. пособие /ГОУВПО Иван. гос. хим.- технол. ун-т. Иваново, 2009. 106с. ISBN 978 – 5 – 9616 – 0326 – 2.

В учебном пособии рассматриваются конструкции установок с кипящим слоем, применяемых для сушки и обжига материалов силикатной промышленности. Приводятся основные закономерности гидродинамики взвешенных систем, а также методики расчёта аппаратов с кипящим слоем для сушки и обжига мелкозернистых материалов.

Приведены конструкции сушилок и печей, конструктивные расчёты аппаратов и их узлов, осуществлен подбор вспомогательного оборудования. Представлены справочные данные по свойствам материалов, газов, топлива.

Предназначено для студентов-технологов и студентов-механиков при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также для преподавателей специальных кафедр, осуществляющих консультирование студентов по темам, связанным с изучением процессов сушки и обжига в кипящем слое.

Табл. 26. Ил. 49. Библиогр.: 9 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

кафедра производства строительных материалов Ивановской государственной архитектурно-строительной академии; доктор технических наук, профессор В.П. Жуков (Ивановский государственный энергетический университет)

ISBN 978 – 5 – 9616 – 0326 – 2.

© Овчинников Н.Л., Овчинников Л.Н.,
Натареев С.В., 2009

© ГОУВПО Ивановский государствен-
ный химико-технологический универ-
ситет, 2009

Оглавление

Обозначения	4
Введение	5
Глава 1. Сушка в кипящем слое с использованием топочных газов	6
1.1. Основные гидродинамические характеристики кипящего слоя	6
1.1.1. Скорость начала псевдоожижения	6
1.1.2. Скорость витания (уноса)	7
1.1.3. Высота псевдоожиженного слоя	9
1.1.4. Гидравлическое сопротивление установки с кипящим слоем	9
1.1.5 Порозность кипящего слоя	10
1.2. Схемы аппаратов кипящего слоя	10
1.3. Схемы топочных устройств для сушильных установок	16
1.4. Устройства для сжигания топлива	21
1.5. Расчеты установок КС для сушки материалов	23
1.5.1. Минеральные продукты	23
1.5.2. Материальный баланс сушильной установки	23
1.5.3. Основные параметры сушильного агента	24
1.5.4. Построение процесса сушки на I - х диаграмме влажного воздуха	28
1.5.5. Тепловой баланс сушильной установки	32
1.6. Пример расчёта сушилки кипящего слоя для сушки кварцевого песка смесью дымовых газов и воздуха	33
1.6.1. Исходные данные	33
1.6.2. Расчет материального баланса	34
1.6.3. Расчет основных параметров сушильного агента	34
1.6.4. Построение процесса сушки на I-х диаграмме влажного воздуха	38
1.6.5. Тепловой баланс сушилки	40
1.6.6. Расчет объема газа, выходящего из сушилки	42
1.6.7. Расчет основных характеристик кипящего слоя и размеров сушилки	43
1.6.8. Расчет и подбор вспомогательных устройств	46
Глава 2. Обжиг сыпучих материалов в кипящем слое	48
2.1. Общие положения.	48
2.2. Основы расчета процесса обжига в установках с кипящим слоем	48
2.3. Характеристика обжиговых печей с псевдоожиженным слоем	53
2.4. Выбор топлива и способы подвода тепла в псевдоожиженный слой	56
2.5 Основные элементы высокотемпературных установок с псевдоожиженным слоем.	65
2.5.1. Газораспределительные устройства	65
2.5.2. Устройства для перетока материала в установках с псевдоожиженным слоем	66
2.6. Пример расчёта газовой обжиговой печи с псевдоожиженным слоем	71
Список используемых источников	85
Приложения	86

Обозначения

$W_{\text{и}}$	- истинная скорость газа в канале, м/с;
$W_{\text{л}}$	- скорость начала псевдоожижения, м/с;
$W_{\text{вит}}$	- скорость витания (уноса) частиц, м/с;
$W_{\text{раб}}$	- рабочая скорость псевдоожижения, м/с;
$W_{\text{реш}}$	- скорость газа в отверстиях решётки, м/с;
$W_{\text{ср}}$	- средняя скорость движения частиц в трубе, м/с;
$W_{\text{г}}$	- скорость газа в трубе, м/с;
$W_{\text{м}}$	- скорость материала, м/с;
K_w	- число псевдоожижения;
$d_{\text{ч}}$	- диаметр частицы, м;
$D_{\text{ап}}$	- диаметр аппарата, м;
$S_{\text{реш}}$	- площадь сечения аппарата на уровне газораспределительной решётки, м ² ;
$\rho_{\text{м}}, \rho_{\text{г}}$	- соответственно плотность материала и газа, кг/м ³ ;
$\rho_{\text{нас}}$	- насыпная плотность материала, кг/м ³ ;
$\mu_{\text{г}}, \nu_{\text{г}}$	- соответственно коэффициент динамической и кинематической вязкости газа, Па·с и м ² /с;
$\varepsilon, \varepsilon_0$	- порозность псевдоожиженного и неподвижного слоя соответственно;
H, H_0	- высота псевдоожиженного и неподвижного слоя;
$G_{\text{сл}}$	- вес слоя, кг;
μ	- относительная массовая концентрация материала, кг/кг;
μ'	- относительная объёмная концентрация материала, кг/м ³ ;
k	- концентрация материала на 1 м ³ трубы, кг/м ³ ;
$D_{\text{тр}}$	- диаметр трубы, м;
ΔP	- гидравлическое сопротивление, Па;
$G_{\text{н}}, G_{\text{к}}, G_{\text{сух}}$	- производительность по влажному, высушенному и абсолютно сухому материалу, кг/с;
$\omega_{\text{н}}, \omega_{\text{к}}$	- начальная и конечная относительные влажности материала, %;
$\omega_{\text{н}}^{\text{а}}, \omega_{\text{к}}^{\text{а}}$	- начальная и конечная абсолютные влажности материала, %;
$c_{\text{м}}$	- теплоемкость сухого материала, кДж/(кг·°С);
W	- количество влаги, удаляемое в процессе сушки, кг/с;
x, d	- влагосодержание воздуха, г/кг сух. воз.;
t_0	- температура наружного воздуха, °С;
φ_0	- относительная влажность наружного воздуха, %;
$t_{\text{м}}^{\text{н}}, t_{\text{м}}^{\text{к}}$	- начальная и конечная температура влажного материала, °С;
$t_{\text{г}}^{\text{н}}, t_{\text{г}}^{\text{к}}$	- температура воздуха на входе и на выходе из сушилки, °С.

Введение

Основные технологические процессы силикатной промышленности включают тепловую обработку материалов.

Нагрев материалов до высоких температур необходим в технологиях, связанных с получением стекла, цемента, извести, фарфора, фаянса, шамота, динаса и т.д.

В стекольной промышленности при высоких температурах смесь твердых сырых материалов с шихтой превращается в однородный расплавленный продукт. Кроме того, при высоких температурах производят отжиг стекла с целью устранения напряжений и его закалку.

В керамической промышленности высокие температуры применяют при сушке и обжиге сырых материалов, а также при обжиге глазурованных изделий.

Промышленность вяжущих материалов использует высокотемпературные процессы в обжиге известняка и глины, мергелей в производстве цемента и в обжиге известняка при получении жженой извести.

За последние годы на практике стал широко применяться метод термической обработки мелкозернистых материалов в псевдоожиженном слое. К таким производственным процессам можно отнести обжиг известняка и железной руды, цементного клинкера, перлита, активацию углей, химическую переработку углеводородистого сырья и др.

Внедрение в силикатную, химическую и другие виды промышленности этого прогрессивного метода взаимодействия между газовой и твердой фазами позволяет интенсифицировать тепло- и массообменные процессы, перемешивание твердой фазы, приводящее к выравниванию температур и концентраций в объеме слоя, снизить гидравлическое сопротивление псевдоожиженного слоя, упростить конструкцию основного аппарата кипящего слоя (КС), достигнуть полной автоматизации технологического процесса высокотемпературной сушки или обжига.

Теория и практика применения псевдоожиженного слоя к различным технологическим процессам нашла свое отражение в работах многих авторов: Н.И. Сыромятникова, В.Ф. Волкова, П. Ребу, П.Г. Романкова, Н.Б. Рашковской, Н.И. Гельперина, В.Г. Айнштейна, В.Б. Кваши и др.

В связи с этим в учебном пособии рассматриваются вопросы гидродинамики и тепловой обработки псевдоожиженных систем на примерах высокотемпературной сушки и обжига материалов силикатной промышленности, приводятся примеры расчета высокотемпературных установок с кипящим слоем, а также сведения о конструкциях печей с псевдоожиженным слоем и их основных узлов и деталей. Приводятся данные по выбору топлива и способах подвода тепла в псевдоожиженный слой.

Глава 1. Сушка в кипящем слое с использованием топочных газов

В настоящее время аппараты со взвешенным слоем широко используются для интенсификации процессов сушки и обжига, связанных с получением мелкозернистых продуктов. Интенсификация перечисленных процессов обуславливается тем, что мелкозернистый материал, приведённый во взвешенное состояние, приобретает свойства текучести, в результате чего ускоряются явления переноса энергии и вещества внутри самих частиц и в окружающей их среде.

В качестве сушильного агента при сушке во взвешенном слое применяют: нагретый воздух, топочные газы или смеси последних с воздухом.

Сушильный агент до заданной температуры нагревается в топках, в которых сжигается газообразное (природный, коксовый, доменный газ) или жидкое топливо (мазут, соляровое масло и т.п.).

Рассмотрим основные гидродинамические характеристики и схемы аппаратов кипящего слоя с использованием топочных газов.

1.1. Основные гидродинамические характеристики кипящего слоя

К основным гидродинамическим характеристикам кипящего слоя следует отнести: сопротивление кипящего слоя, скорости начала псевдоожижения и уноса (витания), порозность и высоту псевдоожиженных систем.

1.1.1. Скорость начала псевдоожижения

Взаимосвязь между критической скоростью газа и размером частиц твердого материала определяет конструктивные размеры аппарата, его производительность и другие показатели технологического процесса.

Для слоев, состоящих из зерен, форма которых близка к шарообразной, средняя порозность может быть принята равной $\varepsilon \approx 0,4$. В этом случае скорость начала псевдоожижения W_1 можно определить по формуле:

$$Re_{кр1} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1.1)$$

где Ar – критерий Архимеда, $Re_{кр1}$ – критерий Рейнольдса, соответствующий началу псевдоожижения частиц.

При расчете скорости начала псевдоожижения с помощью этого уравнения вычисляется значение критерия Архимеда по выражению $Ar = \frac{gd_q^3}{\nu_r^2} \frac{\rho_m - \rho_r}{\rho_r}$, затем находят величину $Re_{кр1}$ и по ней рассчитывают величину W_1 :

$$W_1 = \frac{Re_{кр1} \mu_r}{d_q \rho_r}. \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) позволяет достаточно точно определить критическую скорость W_1 при однородном псевдоожигении слоя частиц. При неоднородном псевдоожигении твердого материала газами уравнение (1.2) дает погрешность $\pm 30\%$.

1.1.2. Скорость витания (уноса)

Скорость газового потока, при которой гидродинамическое давление, создаваемое потоком на поверхности единичной твёрдой частицы, становится равным её весу, называется скоростью витания. Когда скорость потока превысит скорость витания, начинается совместное восходящее движение газового потока и твёрдой частицы. При достижении порозности слоя $\varepsilon \approx 1$ частицы уносятся из аппарата, т.е. наступает режим пневмотранспорта зернистого материала.

Для расчета скорости осаждения (витания) может быть использована зависимость, связывающая критерии Re и Ar для всех гидродинамических режимов:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575\sqrt{Ar}}. \quad (1.3)$$

При малых значениях Ar вторым слагаемым в знаменателе можно пренебречь, и уравнение (1.3) превращается в зависимость:

$$Re = \frac{Ar}{18}, \quad (1.4)$$

соответствующую области действия закона Стокса (вязкостная зона). При больших значениях критерия Ar можно пренебречь первым слагаемым в знаменателе, и уравнение (1.3) превращается в уравнение (1.5), отвечающее инерционной области:

$$Re = 1,74\sqrt{Ar}. \quad (1.5)$$

Скорость уноса (осаждения) частиц неправильной формы меньше, чем скорость уноса (осаждения) шарообразных зерен. Для расчета скорости уноса частиц неправильной формы необходимо учитывать коэффициент формы ϕ . Кроме того, в соответствующее уравнение при расчете скорости витания нешаровых частиц следует подставлять эквивалентный диаметр шара.

На рис.1.1 представлена зависимость $Ly = f(Ar, \varepsilon)$ для взвешенного слоя от $\varepsilon_0 = 0,4$ до $\varepsilon = 1$. Зависимости позволяют определять скорость газа W , необходимую для достижения заданной порозности взвешенного слоя, состоящего из частиц известного диаметра, или решать обратную задачу.

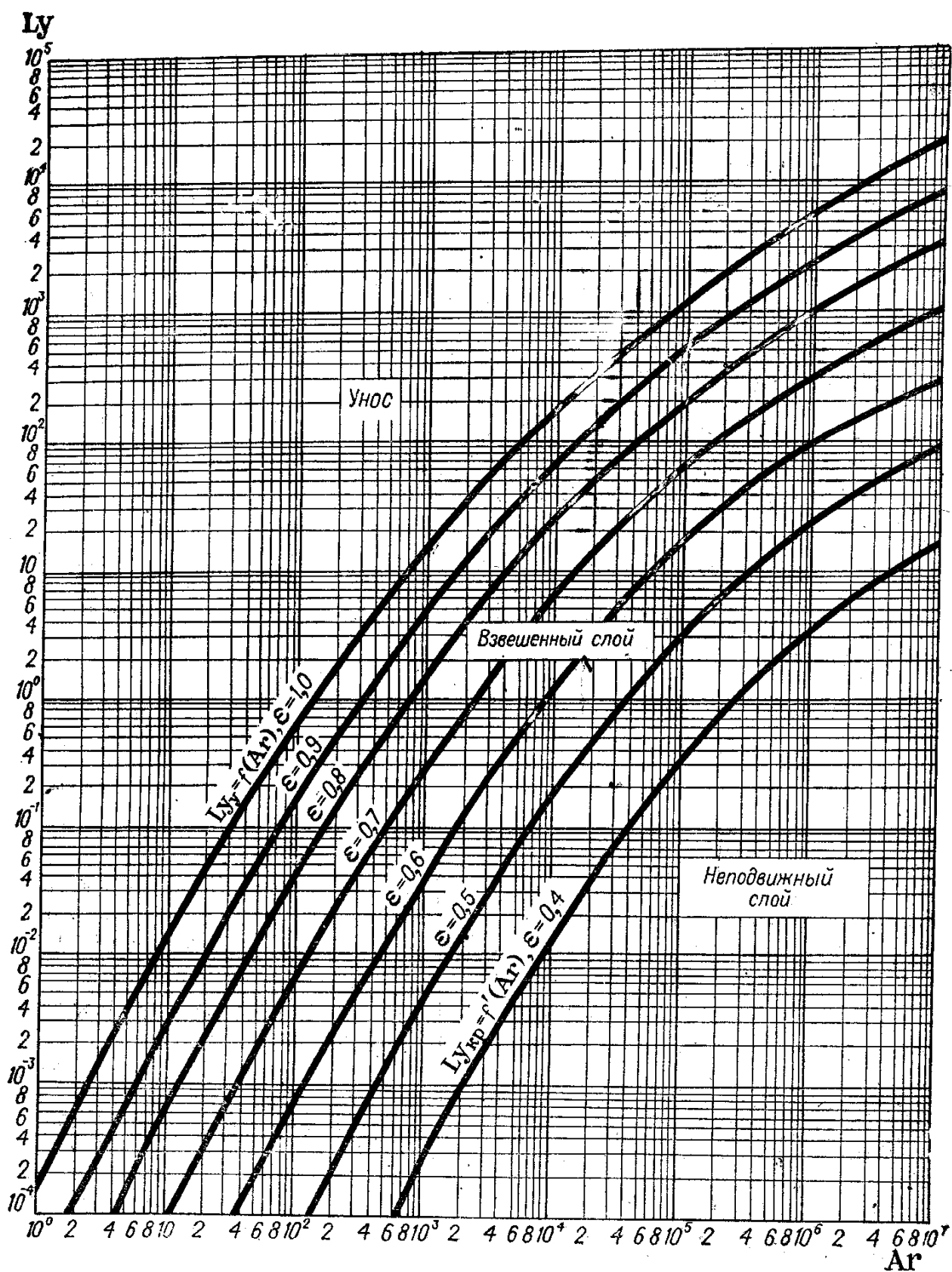


Рис.1.1. Зависимость критерия Ly от критерия Ar и порозности ϵ слоя

1.1.3. Высота псевдооживленного слоя

При проектировании аппаратов с псевдооживленным слоем твердого материала необходимо знать высоту слоя при рабочих параметрах процесса. Точное определение высоты псевдооживленного слоя особенно необходимо учитывать при проектировании аппаратов, когда полезное использование внутреннего объема аппарата должно быть максимальным.

Движение газа через слой зернистого материала со скоростью выше первой критической вызывает его расширение, и высота кипящего слоя в общем случае может быть рассчитана по уравнению:

$$H = H_0 \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon}, \quad (1.6)$$

где H – высота псевдооживленного слоя;

H_0 - высота неподвижного слоя;

ε - порозность псевдооживленного слоя;

ε_0 - порозность неподвижного слоя.

1.1.4. Гидравлическое сопротивление установки с кипящим слоем

Общее гидравлическое сопротивление установки с кипящим слоем рассчитывается по уравнению:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \Delta P_{\text{к.с}} + \Delta P_{\text{реш}} + \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{сопр}}, \quad (1.7)$$

где $\Delta P_{\text{к.с}}$, $\Delta P_{\text{реш}}$, $\Delta P_{\text{ц}}$, $\Delta P_{\text{сопр}}$ - соответственно сопротивления кипящего слоя, газораспределительной решётки, циклона, и прочие сопротивления и динамические потери, Па.

Сопротивление кипящего слоя

$$\Delta P_{\text{к.с}} = \frac{G_{\text{сл}}}{S_{\text{реш}}}, \quad (1.8)$$

где $G_{\text{сл}}$ – вес слоя; $S_{\text{реш}}$ – площадь поперечного сечения аппарата на уровне газораспределительной решетки.

Сопротивление газораспределительной решётки определяют по формуле (1.9) и зависимости $\Delta P_{\text{реш}} - W$, представленной на рис. 1.2:

$$\Delta P_{\text{реш}} = \frac{0,503 \rho_{\text{г}} W_{\text{отв}}^2 (1 - \varphi^2)}{C^2} \quad (1.9)$$

где φ - доля живого сечения решетки;

$W_{\text{отв}}$ - скорость газа в отверстии решетки;

C – коэффициент сопротивления решетки, зависящий от отношения диаметра к толщине решетки $\frac{d_{\text{отв}}}{\delta_{\text{р}}}$ и определяемый по рис.1.2;