

ПОДГОТОВКА И СМЕШИВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СЫПУЧИХ КОМПОЗИЦИЙ

С.А. Светлов, Н.С. Левина, В.А. Кудрявцев

Исследован процесс нагрева и сушки сыпучих материалов в условиях воздействия постоянной температуры. Рассмотрено влияние температуры и расхода теплоносителя на кинетику сушки компонентов смесевых составов. Исследован процесс смешивания компонентов в периодическом режиме. В результате проведенного исследования определены технологические режимы процессов сушки и смешивания компонентов. Разработана методика определения влажности сыпучего материала, скорости его сушки и качества получаемых смесевых композиционных материалов.

Технологический процесс получения изделий из промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) включает подготовку сыпучих компонентов. Все порошкообразные компоненты для приготовления исходных навесок перед процессом смешивания измельчаются, сушатся и взвешиваются. Во время загрузки инертных порошков в смеситель оценивается сыпучесть компонентов. В качестве порошкообразных компонентов ПВВ используются натрий азотнокислый, аммоний хлористый, натрий хлористый, натрий-карбоксиметилцеллюлоза и другие добавки.

Подготовка натрия азотнокислого заключается в следующем. В дробильно-протирачном аппарате натриевая селитра протирается через сито и шнековым усреднителем подается в дозирующее устройство для загрузки в сушилку. В сушилке селитра сушится в кипящем слое порошкообразного материала. Во время сушки контролируются следующие параметры: температура подаваемого в сушилку воздуха; температура воздуха в последней зоне сушилки; температура выходящего из сушилки продукта; разрежение в рабочей камере сушилки. Отработанный воздух через систему пылеулавливания выбрасывается в атмосферу. Высушенная селитра из сушилки элеватором подается в накопитель. В накопителе осуществляется охлаждение натриевой селитры осушенным воздухом, при этом вода в рубашку накопителя не подается. Загрузка натриевой селитры в контейнер производится после загрузки хлористого аммония и добавок.

Подготовка хлористого натрия и других компонентов осуществляется аналогично. Хлористый натрий высыпается в приемное окно дробильно-протирачного аппарата. Грубо измельченная соль из дробильно-протирачного аппарата выгружается в бункер. Если влажность материала составляет более 0,1 % производится его сушка при температуре 55...90 °С.

Сушка один из самых энергоёмких процессов химической технологии, поэтому экономия энергетических ресурсов в процессе сушки компонентов промышленных взрывчатых веществ является важной и актуальной задачей. Создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов и установок позволяет значительно снизить энергоёмкость процесса сушки. Тенденции развития сушильной техники связаны с совершенствованием типовых сушилок, модернизацией имеющихся сушильных аппаратов, конструированием комбинированных аппаратов и разработкой принципиально новых сушильных установок. В производстве смесевых взрывчатых веществ широко применяются полочные, столовые, шкафные, барабанные сушилки, сушилки с кипящим слоем, которые по основным показателям работы не всегда отвечают современным требованиям технологии и имеют ряд существенных недостатков [1]. Полочные, столовые и шкафные сушилки отличаются периодичностью процесса и низкой производительностью, барабанные сушилки большим расходом теплоносителя, вакуумные сложностью оборудования. При ожигении неидеально сыпучих высокодисперсных материалов с низкой газопроницаемостью, а также с различной дисперсностью, и крупнозернистых материалов с низким гидравлическим сопротивлением, эффективность применения кипящего слоя материала снижается и качество получаемого продукта не всегда соответствует требованиям технологии. Это вызывает необходимость использования нестационарных способов ожигения сыпучих материалов: вибрационных, импульсных и комбинированных. Наиболее важными критериями выбора сушилки являются: простота конструкции и технологичность её изготовления, унификация узлов и деталей, отсутствие дефицитных материалов и изделий, небольшие габаритные размеры и безопасность ведения процесса. Кроме того,

исходя из общих требований к продукции машиностроения, сушильные аппараты и соответствующие им установки должны иметь низкую металлоемкость, высокий уровень автоматизации и занимать небольшие площади производственных помещений. Использование таких аппаратов в промышленности позволяет в несколько раз увеличить относительную скорость движения фаз, повысить концентрацию дисперсного материала в рабочей зоне аппарата, увеличить среднюю продолжительность пребывания частиц в аппарате и обеспечить равномерность нагрева и сушки материала.

Сушка сыпучих материалов отличается длительностью процесса и для выбора оптимального режима работы промышленного оборудования довольно часто приходится сталкиваться с необходимостью определения времени сушки конкретного продукта при определенных внешних условиях. Расчётные зависимости, используемые при нахождении производительности сушилки, выборе режимных параметров процесса сушки, требуют использования величин, принимаемых заранее в виде заданных значений или рассчитываемых по эмпирическим уравнениям, которые не учитывают ряд свойств сыпучего материала, таких как размер пор, их форма, теплопроводность и теплоёмкость материала, скорость нагрева и сушки полученного продукта.

Наиболее надёжным методом определения кинетических зависимостей сушки и нагрева влажных материалов является экспериментальное исследование [2]. Внешними параметрами процесса сушки и нагрева являются значения температуры, скорости и влагосодержания сушильного агента. На кривой кинетики сушки сыпучего материала можно выделить [3] три участка: прогрева, постоянной скорости (первый период) и падающей скорости (второй период). Период прогрева обычно незначителен по сравнению с другими периодами сушки. В периоде постоянной скорости сушки интенсивность процесса определяется внешними условиями, в периоде падающей скорости интенсивность удаления влаги зависит от сопротивления переносу влаги внутри материала. Условие постоянства скорости сушки материала в первом периоде записывается в виде

$$N = -\frac{dU}{d\tau},$$

где U – влажность материала, %; τ – время, с.

Уравнение для определения скорости сушки во втором периоде имеет вид

$$-\frac{dU}{d\tau} = \chi \cdot N (U - U_p), \quad (1)$$

где U_p – равновесная влажность материала, %; χ – относительный коэффициент сушки, зависящий от свойств материала, 1/%.

Интегрирование уравнения (1) при начальных условиях, соответствующих наступлению второго периода сушки, позволяет получить экспоненциальную зависимость между влажностью материала и временем. С учётом кратковременности прогрева материала, используя уравнения скорости сушки материала в первом и втором периодах, можно получить уравнение для определения времени сушки влажного материала

$$\tau_c = \frac{U_H - U_{KP}}{N} + \frac{1}{\chi \cdot N} \ln \frac{U_{KP} - U_P}{U_K - U_P}, \quad (2)$$

где U_H , U_{KP} , U_K – влажность материала, соответственно, начальная, критическая и конечная, %.

Скорость сушки в период прогрева материала может быть найдена [4] из уравнения

$$\frac{dU}{d\tau} = -\frac{t - t_H}{t_{MT} - t_H} N, \quad (3)$$

где t , t_H – температура материала, соответственно, текущая и начальная, К; t_{MT} – температура мокрого термометра, К.

При исследовании процесса удаления влаги из сыпучих материалов, используемых в составах промышленных взрывчатых веществ, были проведены эксперименты по сушке натрия азотнокислого и натрия хлористого в сушильном аппарате при различных температурах. В зависимости от времени пребывания материала в сушилке определялось изменение массы материала во времени. Далее проводился расчет влажности изделия и скорости изменения содержания влаги в продукте. На рисунке 1 представлена полученная во время экспериментов зависимость влажности азотнокислого натрия от времени сушки при температуре теплоносителя в сушильной камере 72 °С и удельной нагрузке материала 43,2 кг/м². Скорость N сушки влажного материала при разных режимах проведения процесса сушки составила, соответственно, ~ 2,2 · 10⁻⁴ %/с и 1,5 · 10⁻⁴ %/с.

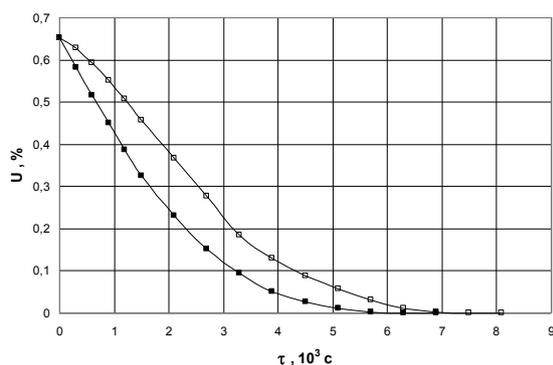


Рисунок 1. Зависимость изменения влажности сыпучего материала от времени сушки при постоянной температуре в сушильном аппарате: ■ – в продуваемом слое сыпучего материала; □ – в плотном слое материала

Анализ кинетики сушки хлористого натрия содержащего небольшое количество влаги показывает, что удаление влаги из материала происходит во втором периоде, т.е. в режиме падающей скорости сушки, при этом на кривой сушки имеется небольшой участок прогрева материала. Выразим влажность продукта и время сушки в безразмерном виде. Тогда уравнение, характеризующее зависимость скорости сушки от влажности материала, может быть представлено в следующем виде

$$\frac{dU_c}{d\theta} = K_1 \cdot e^{K_2 \cdot U_c},$$

где U_c – средняя относительная влажность материала; θ – безразмерное время; K_1 , K_2 – эмпирические коэффициенты, $K_1 = 2,8 \cdot 10^{-3}$; $K_2 = 34,117$.

Используя экспериментальные зависимости и требуемое значение влажности продукта, можно определить с учётом уравнений (2) и (3) время сушки и необходимое время пребывания материала в непрерывно действующей сушилке. Это позволяет, исходя из размеров сушилки и массы находящегося в ней влажного материала, найти её производительность и параметры работы. На основании проведенных исследований и результатов расчёта параметров процесса сушки компонентов смеси разработана конструкция сушилки с комбинированным подводом теплоносителя в слой дисперсного материала. На рисунке 2 приведена схема комбинированной сушилки с псевдоожиженным слоем сыпучего материала для сушки порошкооб-

разных компонентов смесевых составов в периодическом и непрерывном режимах.

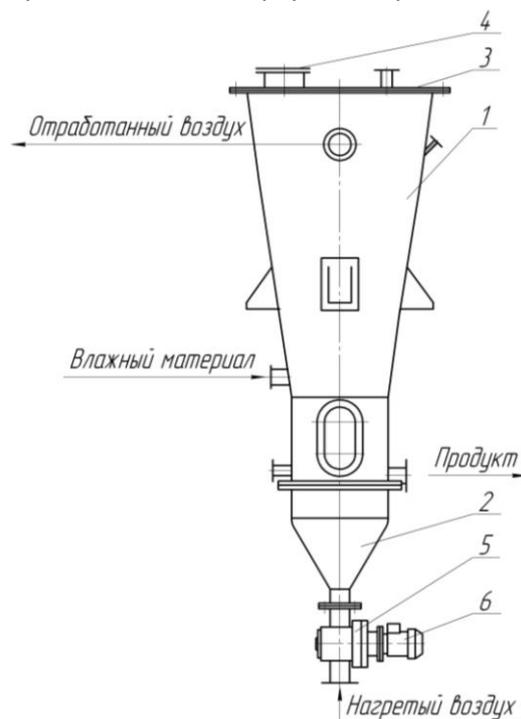


Рисунок 2. Схема сушилки порошкообразных компонентов: 1 – корпус; 2 – газораспределительная камера; 3 – крышка; 4 – мембрана; 5 – прерыватель потока теплоносителя; 6 – электродвигатель

Сушилка содержит корпус 1, газораспределительную камеру 2 с газораспределительной решёткой, крышку 3 с патрубками и штуцерами. На крышке установлена предохранительная мембрана 4. В нижней части камеры 2 установлен прерыватель 5 газового потока с приводом. Регулирование скорости вращения вала электродвигателя 6 осуществляется автотрансформатором по показаниям тахометра. Порошкообразный материал загружается в корпус сушилки через штуцер расположенный в верхней его части. Нагретый в калорифере воздух подаётся через прерыватель в газораспределительную камеру и далее в слой влажного материала. Высушенный продукт выгружается из корпуса сушилки порционно через штуцер, расположенный на уровне газораспределительной решётки, а отработанный теплоноситель поступает в систему очистки воздуха от пыли.

Приготовление однородных по составу композиций из твёрдых сыпучих или пастообразных материалов смешиванием их в смесителях – широко применяемый в химической технологии процесс. Круг химических производств, в которых используется данный про-

цесс чрезвычайно разнообразен. К ним относятся крупнотоннажные производства пластмасс, удобрений, красителей, моющих средств, резинотехнических изделий. Также процессы смешивания широко применяются в различных отраслях промышленности при получении порошкообразных и высоковязких составов и смесей, в том числе в производстве энергонасыщенных материалов [5, 6]. В химических производствах используют в основном смесители периодического действия [7-9]. Это объясняется тем, что, во-первых, при периодическом ведении процесса смешивания можно обеспечить точное соотношение между компонентами смеси, а во-вторых, при большом числе компонентов дозирование их в смеситель непрерывного действия затруднено.

Лопастные смесители можно отнести к универсальным смесительным машинам, в них можно смешивать как сухие сыпучие материалы, так и увлажненные материалы и пасты. Изготавливаются смесители с одним или в большинстве случаев с двумя валами, на которых крепятся мешалки. Лопасти мешалок имеют сложную геометрическую форму и могут быть выполнены винтовыми, зигзагообразными, спиралевидными, червячными и т.д. Приготовление смеси компонентов в периодически действующем лопастном смесителе с Z-образными лопастями расположенными в горизонтальной плоскости проводилось с использованием установки, схема которой представлена на рисунке 3.

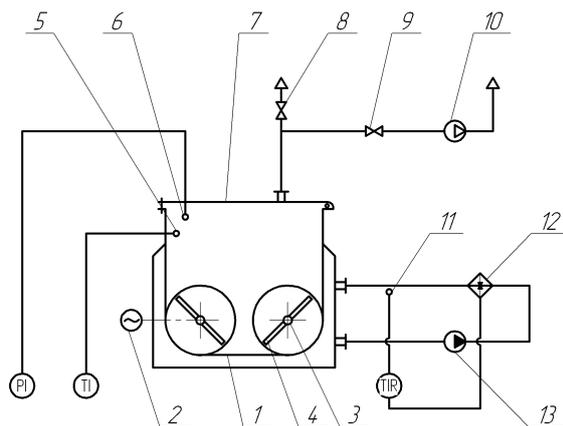


Рисунок 3. Схема установки для смешивания компонентов в лопастном смесителе:

- 1 – корпус смесителя; 2 – электродвигатель;
- 3 – вал; 4 – мешалка; 5 – термопара; 6 – вакуумметр; 7 – крышка; 8 – вентиль; 9 – вентиль; 10 – вакуум-насос; 11 – термометр; 12 – нагреватель; 13 – насос

Принцип работы данной установки следующий. Компоненты смеси загружаются в корпус 1 смесителя, оснащённого рубашкой для подвода теплоносителя, и перемешиваются в течение заданного отрезка времени. Внутри корпуса установлены два вала перемешивающего устройства. Крутящий момент от электродвигателя 2 через редуктор и систему зубчатых колес передаётся на вал 3 перемешивающего устройства. На валу укреплен лопастная мешалка 4. Температура смеси регистрируется с помощью термопары 5 или термометра сопротивления. Степень разрежения в корпусе смесителя контролируется вакуумметром 6. Во время работы корпус закрывается крышкой 7. Для удаления воздуха из смеси внутри корпуса создаётся разрежение регулируемое вентилями 8 и 9 и вакуум-насосом 10. За счет интенсивного перемешивания, перетирания и продавливания массы через зазор между корпусом и мешалками компоненты равномерно распределяются в объёме смеси. Регулирование температуры теплоносителя подаваемого в рубашку осуществляется контактным термометром 11. Для обеспечения требуемого температурного режима корпус смесителя обогревается теплоносителем, нагреваемым в термостате 12 или теплообменнике, который подаётся в корпус насосом 13. Для исключения застойных зон и лучшего перемешивания массы внутренняя поверхность донной части корпуса смесителя повторяет очертание цилиндрических поверхностей, полученных в результате вращения мешалок.

В многокомпонентной смеси случайной величиной является содержание ключевого компонента в микрообъемах. В качестве критерия оценки качества смеси использовался коэффициент неоднородности V_c смеси

$$V_c = \frac{S \cdot 100}{\bar{c}} = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}},$$

где c_i – значение концентрации ключевого компонента в i -той пробе, взятой из смеси, %; \bar{c} – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента в пробах, взятых одновременно из смеси, %; n – число проб, обеспечивающих достоверность оценки V_c .

На рисунке 4 приведена зависимость изменения коэффициента V_c во времени при смешивании сыпучих материалов мелкодисперсного кварцевого песка и хлористого на-

тия в процентном соотношении компонентов 95 : 5. Частота вращения тихоходной и быстроходной мешалок перемешивающего устройства составляла, соответственно, 1,7 и 2,0 1/с.

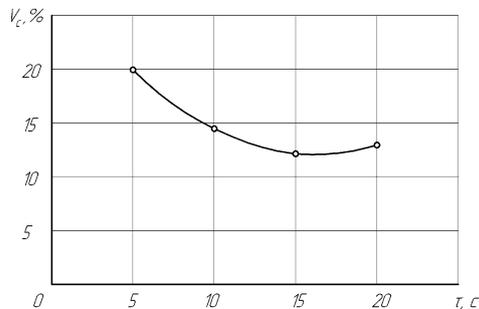


Рисунок 4. Зависимость изменения коэффициента V_c неоднородности смеси от времени τ перемешивания сыпучей массы

Анализ зависимости показывает, что необходимая степень однородности смеси может быть достигнута за относительно небольшой отрезок времени, равный от 15 до 20 с. Средняя концентрация ключевого компонента в смеси при этом меньше 5 % и составляет 4,6...4,8 %, что видимо связано с недостаточным временем воздействия на смесь и возможным расслоением продукта в рабочем объеме смесителя.

В результате проведенного исследования определены режимы сушки порошкообразных материалов в сушилках конвективного типа. Приведены расчётные зависимости, которые позволяют оценить режимы сушки порошкообразных материалов в псевдооживленном слое и его разновидностях применительно к производству промышленных взрывчатых веществ. Исследованы режимы смешивания сыпучих компонентов в лопа-

стных смесителях с одним и двумя валами перемешивающего устройства. Разработаны конструкции сушилок периодического и непрерывного действия, для исследования процесса сушки порошкообразных компонентов смесевых составов в плотном и продуваемом слое, а также лопастных смесителей для изучения процессов приготовления сыпучих композиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1973. – 320 с.
2. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
3. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
4. Шрайбер А.А., Глянченко В.Д. Термическая обработка полидисперсных материалов в двухфазном потоке. – Киев: Наукова думка, 1976. – 155 с.
5. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
6. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 397 с.
7. Кавецкий Г.Д. Оборудование для производства пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 224 с.
8. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
9. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЗДНЕГО ПОЯВЛЕНИЯ ЭТТРИНГИТА В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ

В.К. Козлова, А.В. Вольф

Рассмотрены причины и механизмы позднего образования эттрингита в цементном камне. Показано, что основной причиной поздней кристаллизации эттрингита является изменение концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в поровой жидкости цементного камня.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных причин уменьшения прочности бетонов вплоть до разрушения

является позднее образование эттрингита в цементном камне при действии различных факторов окружающей среды. Процессы, связанные с образованием и существовани-