

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СУШИЛКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ДЛЯ СУШКИ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННОГО МЕЛА

Умирзаков Р.А.¹, Мергалимова А.К.², Жаксылык А.М.³, Омаров А.М.⁴

¹Умирзаков Руслан Абилдаевич - магистр технических наук;

²Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна - доктор PhD технических наук;

³Жаксылык Акбота Мейрамбекқызы - магистр технических наук;

⁴Омаров Алибек Муратбекулы - магистр технических наук,
кафедра теплоэнергетики,

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

Аннотация: в данной статье рассматривается классификация сушильных аппаратов, применяемых в современной химической промышленности для сушки сыпучих материалов, таких как химически осажденный мел. Приведены примеры методов подбора различных типов сушильных аппаратов, используемых в производстве химически осажденного мела. При этом учитываются такие показатели, как скорость процесса сушки, производительности и характеристик, которые предъявляют конечному продукту (влажность и температура). В частности, изучены сушилки, работающие по принципу псевдооживленного слоя. В статье перечислены основные преимущества и особенности данной технологии, рассмотрены режимы работы сушильных аппаратов на кипящем слое. В основной части статьи представлен тепловой расчет сушилки, который включает в себя составление материального и теплового баланса сушильной установки. Данные расчеты необходимы для обоснования способа сушки и выбора конструкции основных узлов аппарата. Так же определены и рассчитаны расход тепла, основные виды потерь, количество теплоносителя, габариты сушилки, угол конусности и нижний диаметр сечения аппарата. В заключении приводится схема установки для сушки химически осажденного мела в аппаратах аэрофонтанирующего слоя с описанием принципа работы.

Ключевые слова: сушильные аппараты, сушилки, пастообразные материалы, химический осажденный мел, тепловой расчёт сушилки.

Введение

Сушилки, применяемые в химической промышленности, обычно классифицируют по способу подвода теплоты к высушиваемому материалу следующим образом: конвективные (для сушки материала в слое, барабанные вращающиеся, для сушки материала в режиме псевдооживленного и фонтанирующего слоя, для сушки материала в режиме пневмотранспорта, распылительные); кондуктивные (полочные, барабанные вращающиеся, вальцовые); специальные (терморadiационные, высокочастотные, сублимационные).

Материалы и методы

Критериями выбора основных типов сушилок для обработки являются их исходные свойства (консистенция, влажность, гранулометрический состав, токсичность, пожаровзрывоопасность и т.д.), требования, предъявляемые к конечному продукту (физико-химические и механические свойства), вопросы технологии, стоимостные показатели. К сушилкам конвективного типа относятся сушилки кипящего или псевдооживленного слоя. Их широко применяют в химической промышленности для сушки зернистых, сыпучих, а в ряде случаев и пастообразных материалов. Продолжительность сушки материала в кипящем слое резко сокращается. Преимущества этого способа сушки заключаются в интенсивном перемешивании твердых частиц и теплоносителя, в большей площади поверхности контакта фаз, а также в простоте конструкции сушилки.

В качестве сушильного агента используют горячий воздух, дымовые и инертные газы. При сушке распылением материал не перегревается и температура на поверхности обычно в пределах 60-70°C. Это объясняется тем, что при малых размерах частиц (до 4—5 мкм) испарение идет очень быстро. Несмотря на то, что время сушки составляет 15-30 с, поверхность материала не пересыхает.

Оптимальный режим сушки должен обеспечить получение продукта стандартного качества при высоких технико-экономических показателях. При обосновании и выборе режима сушки необходимо исходить из технологических свойств материала, которые изменяются в процессе сушки, т.е. нужно выбрать такие режимные параметры (температуру, влажность, скорость воздуха и др.), воздействие которых на те или иные характеристики материала обеспечило бы его наилучшие технологические свойства.

Большое значение, как мы знаем, имеет предварительная обработка материалов перед сушкой. При выборе методов предварительной обработки и режима сушки необходимо учитывать показатели термо- и влагоустойчивости продукта, структурно-механические свойства, от которых зависит коробление образцов и образование трещин, а также его биологическую природу. Для каждого продукта экспериментально

определяется максимально допустимое значение конечной влажности. Для выбора сушильного аппарата нами проведен тепловой расчет.

Тепловой расчёт сушилки включает: составление материального и теплового баланса установки. В результате теплового расчёта определяют необходимое количество сушильного агента, объём сушильного аппарата, их размеров, расход тепловой энергии и т.д. Исходя из результатов расчёта обосновывают рациональный способ сушки и конструкции сушильного аппарата.

1. Материальный баланс сушильного аппарата. Производительность сушильного аппарата по готовому продукту с влажностью 14 % (начальная влажность материала 60-65 %) составляет 60 кг/час. Часовую производительность рассчитываем с учётом поправки на потери:

$$G'_2 = \frac{G_1}{K} = \frac{60}{0,95} \approx 63 \frac{\text{кг}}{\text{час}};$$

где: K – коэффициент, учитывающий выход продукта. Он должен составлять 0,95~0,99.

Количество свободной влаги испаряемой в процессе сушки, будет равно:

$$W = \frac{G'_2(w_1 - w_2)}{100 - w_2} = \frac{63 \cdot (65 - 14)}{100 - 14} \approx 37 \frac{\text{кг}}{\text{час}};$$

Тогда производительность сушилки по исходному материалу составит:

$$G_1 = G'_2 + W = 63 + 37 = 100 \frac{\text{кг}}{\text{час}};$$

Количество теплоносителя (воздуха) в процессе сушки не изменяется, если нет утечек или подсоса. Поэтому расчёт сушильных установок приводим на 1 кг сухого газа.

Таким образом, материальный баланс сушильного аппарата можем определить как:

$$\frac{G_1 \cdot w_1}{100} + L d_1 = \frac{G_2 \cdot w_2}{100} + L d_2;$$

или

$$L = \frac{W}{d_2 - d_1} = \frac{37}{0,0582 - 0,0052} = 698 \frac{\text{кг}}{\text{час}};$$

где: L – количество сушильного агента (воздух);

d_1, d_2 – соответствует начальному и конечному влагосодержанию газа.

Расход газа (воздуха) на 1 кг испаряемой влаги равен:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{I}{S_2 - S_1} = \frac{698}{37} = 18,9 \frac{\text{кг}}{\text{кг}};$$

2. Тепловой баланс сушильного аппарата. Если на основе опытных данных известен режим процесса, то из теплового баланса можно определить расход тепла на сушку и расход соответственно тепловых ресурсов.

Суммарный расход тепла для сушки влажного материала на сушильном аппарате равен:

$$\sum Q = Q_u + Q_m + Q_5 + Q_2,$$

где: Q_u и Q_m – расход тепла на испарение влаги и расход тепла нагрева материала. Q_5 и Q_2 – потери тепла в окружающую среду и потери тепла с уходящими газами.

Для непрерывно действующей сушилки рассчитываем часовой расход тепла. Для сушилки периодического действия – расход тепла на один цикл сушки.

Расход тепла на испарение влаги:

$$Q_u = W(q_u + 0,47 t_2 - \theta_1) = 37 \cdot (2525 + 0,47 \cdot 45 - 23) = 93356,55 \text{ кДж/кг},$$

где: t_2 – температура уходящих газов $^{\circ}\text{C}$; θ_1 – начальная температура материала $^{\circ}\text{C}$; Соответственно $q_u = 2525$ кДж/кг.

Расход тепла для нагрева материала:

$$Q_m = G_2 C_m (\theta_2 - \theta_1) = 60 \cdot 1,05239 \cdot (55 - 18) = 2336,3 \text{ кДж/час},$$

где: θ_2 – температура материала после сушки $^{\circ}\text{C}$; C_m – теплоёмкость высушенного материала, кДж/кг $^{\circ}\text{C}$.

Потери тепла сушилкой в окружающую среду:

Для определения габаритов сушилки можно приближённо принять удельную потерю тепла в окружающую среду 30-100 ккал/кг влаги в зависимости от начальной влажности материала. Меньшую величину принимают для высоко влажных материалов, тогда:

$$Q_5 = q_5 W = 30 \cdot 37 = 1110 \text{ ккал/час} = 4650,9 \text{ кДж/час};$$

Потеря тепла с уходящими газами, определяется следующим образом:

$$Q_2 = L(I_2 - I_0) = 698 \cdot (195,673 - 33,101) = 113475,3 \text{ кДж/час}.$$

Суммарный расход тепла в сушилке равен:

$$\sum Q = Q_u + Q_m + Q_5 + Q_2 = 93356,55 + 2336,3 + 4650,9 + 113475,3 = 213819,05 \text{ кДж/час}.$$

3. Расчет количества агента сушки и ресурсов. При однократном использовании агента сушки (воздуха) расход газов определяем из теплового баланса сушилки, если известен температурный режим сушки:

$$L J_1 = \sum Q;$$

или

$$L = \frac{Q_{и} + Q_{м} + Q_{5}}{J_1 - J_2},$$

где: J_1, J_2 – энтальпия газов при начальной и конечной температур t_1, t_2 и при начальном и конечном влагосодержании S_1, S_2 .

С достаточной степенью точности это соотношение можно представить в виде:

$$L = \frac{Q_{и} + Q_{м} + Q_{5}}{C_1 t_1 - C_2 t_2} = \frac{93356,55 + 2336,3 + 4650,9 + 113475,3}{1,022 \cdot 120 - 45 \cdot 1,005} = 2761,9 \frac{\text{кг}}{\text{час}} \approx 0,626 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

где: C_1 и C_2 – теплоёмкость газов, соответствующая значениям температур t_1, t_2 .

Часовой расход тепла на сушку равен:

$$Q = \frac{L(J_1 - J_2)}{\eta} = \frac{3545,4 \cdot (195,673 - 33,101)}{0,98} = 588134,8 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}.$$

где: η – КПД генератора тепла, в расчетах можно принимать для паровых и электрических калориферов $0,98 \div 0,99$.

4. Определение габаритов сушилки. Из статического расчёта известно количество тепла, которое необходимо передать материалу, чтобы уменьшить влажность продукта до заданной, а также известны количество агента сушки (воздух) и его параметры. На основании опытных работ определены оптимальные температурные и гидродинамические режимы сушки, обеспечивающие получение продукта высокого качества. Для определения габаритов сушилки по имеющимся данным необходимо рассчитать поверхность материала, через которую происходит перенос тепла и испарение влаги или соответственно длительность сушки материала. Для любой сушилки справедливо следующее соотношение:

$$\tau = \frac{F}{F_2} = \frac{G_3}{0,5(G_1 + G_2)} = \frac{15}{0,5(100 - 63)} = 0,81 \text{ часа} \approx 46 \text{ мин}.$$

где: τ – среднее интегральное время пребывания материала в зоне сушки, час; F – поверхность материала, находящегося в зоне сушки, через которую проходит тепло- и массообмен, м^2 ; F_2 – часовая поверхность материала; G_3 – количество материала, одновременно находящегося в зоне сушки, кг; G_1 и G_2 – производительность сушилки соответствует влажному и сухому материалу, кг/час.

Определяем оптимальное значение угла конусности по формуле:

$$\alpha = 180^\circ - 2(\varphi + \gamma) = 180 - 2(35 + 40) = 30^\circ.$$

где: φ – угол естественного откоса материала, 38° ; γ – угол равный $30-40^\circ$.

Угол конусности нашего аппарата лежит в пределах общепринятых значений $30^\circ-70^\circ$.

Исходя из скорости газов в широком сечении, находим диаметр камеры. $v_e = 24,6 \text{ м/с}$, $L = 2253,6 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \approx 0,46 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$.

Определяем диаметра нижнего сечения аппарата:

$$d_0 = 2 \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot v_y}} = 0,171 \text{ м}.$$

Конусность аппарата составляет - 30° (угол раскрытия конуса).

Результаты и обсуждение

В результате проделанных изысканий и расчетов были определены основные параметры для разработки конструкции сушилки. Также были рассчитаны конструктивные размеры для сушильной камеры.

На рисунке 1 приведена схема установки для сушки химически осажденного мела в аппаратах аэрофонтанирующего слоя.

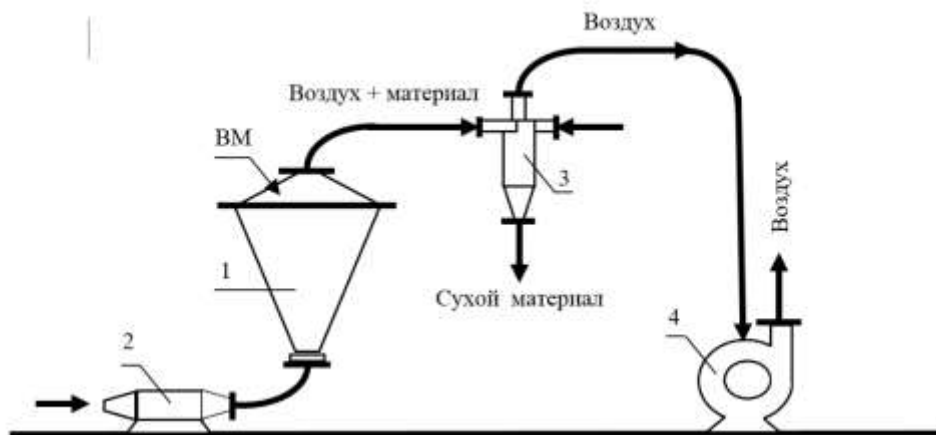


Рис. 1. Схема установки для сушки химически осажденного мела

Установка состоит из сушильной камеры - 1, теплогенератора - 2, уловителя готового продукта (аппарат ВЗП) - 3 и вентилятора - 4. Принцип действия установки следующий: Исходный влажный материал подается в сушильную камеру, где подвергается воздействию горячего теплоносителя. Высушенные частицы материала уносятся потоком теплоносителя в улавливающий аппарат, представляющий собой высокоэффективный аппарат ВЗП, и собираются в бункере готового продукта. Очищенный и отработанный воздух отсасывается вентилятором и выбрасывается в атмосферу.

Выводы.

Таким образом, для сушки химически осажденного мела предлагается сушильная установка аэрофонтанного типа, с параметрами, полученными на основе теплового и конструктивного расчетов, изложенных выше.

Список литературы

1. Паус К.Ф., Евтушенко И.С. Химия и технология мела. М., 1977.
2. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Альфа. М., 2006.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1981.
4. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. М., 1967. 664 с.
5. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. 432 с.