

ВАРИАНТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ СУШКИ ЛИГНИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ЭНЕРГОПОДВОДА

Доц. Ольшанский А.И.; доц. Двоглазов Г.В.;
Реут Т.А. (ВГТУ)

Важнейшей задачей топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь, которая не располагает достаточными энергетическими ресурсами, является разработка высокоэффективного энергосберегающего оборудования для переработки таких промышленных отходов, которые позволяют получить дополнительные источники энергии.

К таким промышленным отходам относится лигнин – побочный продукт гидролизного производства, которого в Республике Беларусь к настоящему времени накопилось десятки тысяч тонн. Переработка и утилизация лигнина в промышленном масштабе позволила бы получить технический углерод (лигнинный уголь) с выходом 45-47 %, а также сопутствующие ацетон, уксусную кислоту, деготь и другие ценные продукты. В настоящее время эти ценные промышленные отходы находятся в состоянии отвалов под воздействием окружающей среды и имеют влажность выше 100 %. При промышленной переработке лигнина возникает необходимость в предварительном его обезвоживании и разработке рациональной схемы сушильной промышленной установки.

Выбор технологии тепловой обработки, типа теплотехнологического оборудования и теплоносителя играет первостепенную роль при организации рационального метода энергоподвода и способа сушки. Способ сушки лигнина определяется его дисперсностью и может осуществляться во взвешенном состоянии в пневматических трубах-сушилках, в сушилках с кипящим слоем или трубчатых барабанных сушилках. При выборе конструкции сушильной установки для сушки лигнина, прежде всего, необходимо исходить из следующих требований:

1. Обеспечение минимальных удельных расходов тепла и электроэнергии на 1 кг испаренной влаги.
2. Высокая интенсивность процесса сушки при минимальных габаритах установки и стоимости.
3. Максимальная единичная мощность сушильного агрегата и наиболее полная автоматизация установки и технологического процесса при сохранении высокого качества готового продукта.
4. Минимальная стоимость высушенного продукта при максимальной производительности сушильного агрегата.

Таким образом, только при сравнительном анализе, с учетом всех перечисленных показателей, можно правильно подойти к выводу сушильного оборудования и типу сушилки для промышленной сушки лигнина.

Для предварительного обезвоживания лигнина перед технологической переработкой были проведены технико-экономические расчеты трех типов сушильных установок производительностью 250 кг/ч по сухому материалу: 1. барабанной; 2. с кипящим слоем; 3. пневматической трубы-сушилki.

Исходные данные для расчета и сравнительного анализа сушки выбраны следующие: начальное влагосодержание $w_1 = 105\%$, конечное $w_2 = 5\%$, средний диаметр частиц $d_{cp} \approx 1.2$ мм (около 76 % по массе) по ситовому анализу.

Температура материала на входе $t_{m1} \approx 20^\circ\text{C}$, на выходе $t_{m2} \approx 40^\circ\text{C}$, температура сушильного агента (воздуха) на входе в сушильную камеру $t_1 = 130^\circ\text{C}$, на выходе $t_2 = 40^\circ\text{C}$, плотность лигнина на входе в камеру $\rho_1 = 456 \text{ кг/м}^3$, на выходе $\rho_2 = 226 \text{ кг/м}^3$.

Расчет барабанной сушилки выполнен по методике Н.М. Михайлова [1], пневматической трубы-сушилки по методике П.Д. Лебедева [2, 3, 4], сушилки с кипящим слоем по методике И.М. Федорова [3, 5, 6, 7].

При теплотехническом расчете барабанной сушилки, заданной производительности удовлетворяет сушилка с длиной барабана $l = 6$ м, диаметром $D = 1.2$ м, с мощностью дутьевого вентилятора $N = 2.9$ кВт, время сушки $\tau = 10$ мин.

Теплотехнический расчет пневматической трубы-сушилки выполнен по методике П.Д. Лебедева [3, 4].

Интенсивность теплообмена определялась по уравнению:

$$Nu = 0.4 Fe^{0.9} \quad (1)$$

Здесь: $Nu = \alpha d_{cp} / \lambda_a$ - критерий Нуссельта,

α - коэффициент теплообмена между газом и частицами, Вт/м²°С,

λ_a - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м°С.

Критерий Федорова определялся по соотношению:

$$Fe = d_{cp} \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_x - \rho_B)}{3 \cdot v_B^2 \cdot \rho_B}} \quad (2)$$

где: d_{cp} - средний диаметр частиц лигнина, м;

ρ_x, ρ_B - средние плотности частиц и воздуха, кг/м³;

v_B - кинетическая вязкость воздуха, м²/с.

Величина критерия Архимеда вычислялась по уравнению:

$$Ar = \frac{d_{cp}^3 \cdot \rho_{гcp} \cdot g}{v_B^2 \cdot \rho_{гB}} \quad (3)$$

где: Pr_B - число Прандтля для воздуха.

Диаметр пневматической трубы-сушилки, определялся с предварительным расчетом скорости витания частиц по графикам $Ar = f(Re_{вит})$, где критерий Рейнольдса $Re_{вит} = W_{вит} \cdot d_{cp} / v_a$; $W_{вит}$ - скорость витания частиц, м/с.

Данные теплотехнического расчета дали следующие параметры пневматической трубы-сушилки: высотой с учетом разгонного участка $l = 10$ м, диаметр $D = 700$ мм, мощность дутьевого вентилятора $N_B = 6.5$ кВт, продолжительность сушки $\tau = 10$ сек.

Основные положения теории сушки в кипящем слое разработаны И.М. Федоровым и П.Г. Романковым [5, 6, 7]. Для определения критической скорости псевдооживления вычислялся критерий Лященко Ly по уравнению:

$$Ly = \frac{W_{кр}^3 \cdot \rho_B}{v_B \cdot g(\rho_T - \rho_B)} = \frac{Re^3}{Ar} \quad (4)$$

где: $W_{кр}$ - критическая скорость кипящего слоя, м/с.

Пользуясь графической зависимостью $Ar = f(Ly)$ определялась критическая скорость $W_{кр}$, а затем рабочая скорость теплоносителя при принятой порозности слоя $\epsilon = 0.55$. Расчетная скорость воздуха в отверстиях решетки при температуре $t_1 = 130$ °С оказалась равной $W_{от} \approx 11$ м/с, площадь решетки $S_p = 2.1$ м², диаметр решетки $D_p = 1.6$ м, высота кипящего слоя $h_k = 400$ мм, высота сепарационного пространства $H = 1800$ мм, продолжительность сушки в кипящем слое $\tau = 4.6$ мин. Мощность привода дутьевого вентилятора $N = 17.5$ кВт.

Результаты технико-экономических расчетов приведены в таблице 1.

Анализ расчетов и таблицы сводных сравнительных данных по трем вариантам сушки показывает, что барабанная сушилка имеет практически одинаковый удельный расход тепла, но значительно большие габариты, металлоемкость и стоимость в 10 раз большую, чем сушилка с кипящим слоем и в 4 раза, чем пневмотруба.

Сушилка с кипящим слоем отличается компактностью, малой металлоемкостью (в 6.6 раза меньше чем барабанная сушилка) и минимальной стоимостью изготовления. Стоимость изготовления установок соотносится как 1:2.5:10 (кипящий слой-пневмотруба-барабанная сушилка).

Удельный расход электроэнергии для установок с кипящим слоем в 5 раз больше чем в барабанных и 2.5 раза, чем в пневматической трубе-сушилке.

Таблица 1. Техничко-экономическое сравнение трех вариантов сушильных установок: барабанной, пневматической трубы-сушилки и с кипящим слоем

Показатели	Размерность	Барабанная сушилка	Пневматическая труба-сушилка	Сушилка с кипящим слоем
Примерные габариты установки	м	20 x 7 x 2.6	12 x 8 x 10	6 x 6 x 4.5
Объем установки	м ³	170	120	50
Металлоемкость	кг/м ³	90	50	35
Удельный расход электроэнергии на 1 кг/исп влаги	кВт/кг	0.0147	0.029	0.074
Удельный расход тепла на 1 кг/исп влаги	кДж/кг	2633	2490	2680
Производственная площадь	м ²	40	60	20
Масса установки	т	40	8	6

Примечание: Отношение стоимости изготовления установок соотносится как 1:2.5:10 (кипящий слой: пневмотруба: барабанная сушилка).

Принимая во внимание сложность изготовления автоматического регулирования и монтажа установок с кипящим слоем и барабанной, очевидно, что самой простой и надежной с точки зрения изготовления монтажа и эксплуатации является пневматическая труба-сушилка, которую можно изготовить и смонтировать практически на любом механическом заводе.

Таким образом, к установке для сушки лигнина необходимо принять компоновку с пневматической трубой-сушилкой с производительностью по сухому материалу 250 кг/г, по испаренной влаге 237 кг/ч. Необходимо также учитывать местные условия производства: общезаводской транспорт, предварительные условия переработки материала до и после сушила и др. Необходимо отметить, что при увеличении единичной мощности сушильных агрегатов и сушке крупнодисперсных материалов соотношение в стоимости изготовления будет изменяться в сторону более предпочтительного выбора барабанной сушилки, а при переработке тонкодисперсных материалов, для которых требуется небольшая глубина сушки, в сторону установок с кипящим слоем и пневматических труб-сушилок. Следовательно, окончательный выбор типа установки должен на практике осуществляться на основании полного технико-экономического сравнения, оценки особенностей технологии и условий конкретного производства.

Литература:

1. Михайлов Н.М. Сушка топлива на электростанциях. - М.: Госэнергоиздат, 1958.
2. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. - М.: Химия, 1970.
3. Лебедев П.Д., Шукин. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1970.
4. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. - М.: Госэнергоиздат, 1963.
5. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. - М.: Химия, 1968.
6. Федоров И.М. Теория и расчет процесса сушки. - М.: Госэнергоиздат, 1955.
7. Сыромятников Н.И. Тепло- и массообмен в кипящем слое. - М.: Химия, 1967.