

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КОНВЕКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ СТУПЕНИ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Родионов, В.Г. Однолько, И.В. Попова

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Ключевые слова и фразы: быстрота действия насоса; вакуумный импульс; время вакуумирования; необходимое остаточное давление; экономия электроэнергии.

Аннотация: Рассматривается задача выбора жидкостнокольцевых вакуумных насосов для конвективной вакуум-импульсной сушки на основе расчета быстроты действия предельного вакуума с учетом физико-механических свойств исходного продукта, полученных экспериментальными исследованиями. Предложена методика инженерного расчета энергетических затрат.

Введение

В процессе интенсификации сушки растительных материалов наиболее перспективным направлением является использование комбинированного способа, состоящего из двух ступеней: конвективной сушки во взвешенном закрученном слое и вакуум-импульсной сушки [5, 6]. Наиболее важной задачей на второй ступени сушки является правильный подбор режимов, с точки зрения энергетических затрат и длительности процесса. Проведенные исследования показали, что конвективная сушка во взвешенном закрученном слое должна проводиться в первом периоде сушки, характеризующегося постоянной скоростью изменения влагосодержания при температуре теплоносителя в пределах 100–120 °С. Точка окончания первого периода сушки для каждого растительного материала определяется экспериментально, если ранее она была неизвестна. При вакуум-импульсной сушке исходными данными для выбора вакуумного насоса являются масса, загружаемого в вакуумный шкаф подсушенного растительного материала, скорость теплоносителя при продувке, время вакуумирования.

Вакуумный шкаф представляет собой короб с теплоизоляцией. Снизу расположены подводы для конвективной подачи подогретого воздуха, вакуумирования и отвода паровоздушной смеси. Действительная быстрота действия определяется скоростью теплоносителя. Для определения быстроты действия насоса необходимо, $v_{\text{прод.}} \leq 4$ м/с [3], тогда:

$$S_p = \sum_{i=1}^n F_i \cdot \varepsilon \cdot v_{\text{прод.}}; \quad (1)$$

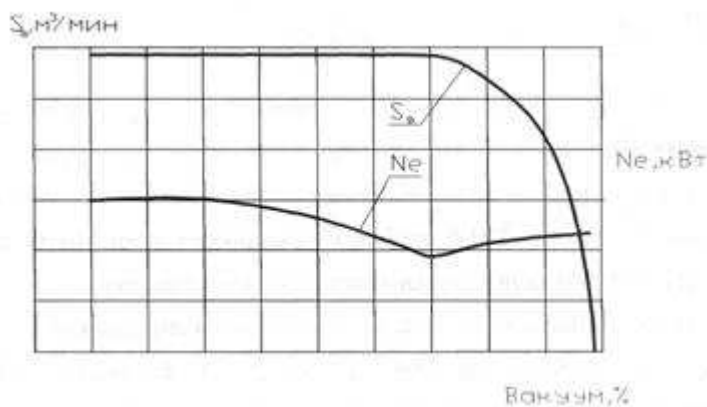
где F_i – площадь i -го лотка, м^2 ; S – быстрота действия насоса, $\text{м}^3 / \text{мин.}$; ε – порозность высушиваемого материала на лотках; $v_{\text{прод.}}$ – скорость продувки, $\text{м} / \text{с}$.

Согласно температуре денатурации определяем значение давления, при котором жидкость будет кипеть без ущерба термолабильным веществам растительного материала. Принимая среднюю температуру денатурации материала 40 °С, кипение произойдет при давлении примерно 8 кПа, но при испарении остаточное давление за счет водяного пара будет повышаться, что не желательно для эффективного ведения процесса. Для этого необходимо в систему включить дополнительный насос с меньшей быстротой действия, но способного создать остаточное давление 8 кПа. Это необходимо для соблюдения технологического режима, и для снижения энергетических затрат, расходуемых на основной насос.

Отсюда вытекает определение или, уже существующего подбора стандартного ЖВН, проектирование нового ЖВН, исходя из быстроты действия насоса и его геометрического объема первой ступени умноженной на коэффициент откачки. С точки зрения энергетических затрат наиболее перспективным является двухступенчатый ЖВН с последовательным включением ступеней [2].

Далее необходимо определить время создания необходимого остаточного давления и время вакуумирования (рис. 1), определяемого температурой кипения влаги внутри растительного материала с учетом понижения температуры, при выдержке под вакуумом, причем время создания необходимого вакуума не должно быть меньше критического времени, в результате которого происходит разбрызгивание питательных веществ вместе с влагой.

После достижения остаточного давления, необходимо отключить двухступенчатый ЖВН, однако, во избежание конденсации паров, а также для увеличения времени цикла выдержки под



вакуумом включаем в схему

Рис. 1. Зависимости эффективной быстроты действия от величины вакуума для ЖВН ДМ 300 ЖВН с регулируемым нагнетательным окном меньшей быстроты действия, соответственно и энергетических затрат, но позволяющего поддерживать достаточно глубокое давление (при котором жидкость внутри растительного материала выходит на поверхность в виде паров).

Время вакуумирования [4] рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{V_a}{S} \ln \frac{1 - \frac{V_a}{S}}{\frac{P T_0}{P_0 T} - \frac{V_a}{S}}; \quad (2)$$

P_0 и P – начальное и конечное давление в аппарате, из которого откачивается газ, Па;

$\tau \geq \tau_{\text{крит.}}$, причем вакуумный импульс не должен выдавливать питательные вещества из

растительного материала наружу, т.е. $0 \leq \epsilon \leq 1$ (принимаем $\epsilon \approx 0,5$); $\tau_{\text{крит.}}$ – время создания

необходимого остаточного давления, в результате которого не произойдет разбрызгивание

влаги с питательными веществами, мин.; V_a – объем аппарата или системы, м³.

На рис. 2. видно, что максимальное значение мощности затрачивается вначале процесса откачки воздуха из сушильной емкости. Минимальные значение мощности наблюдаются в пределах 70 % вакуума. Можно сделать вывод, что создается необходимость, в целях экономии электроэнергии вакуум держать в пределах 70 % \pm 5 %. Если же этого не делать, то во время откачки воздуха будет расходоваться 1 кВт лишней энергии.

При учете, что за период конвективной вакуум импульсной сушки циклы повторяются от 10 до 15 раз (в зависимости от заданной конечной влажности растительного материала) то при сушке одной партии будет расходоваться лишних 10 ÷ 15 кВт, следовательно, включаем в схему ЖВН меньшей быстроты действия с меньшей затрачиваемой мощностью [1]:

$$S = \frac{V_a}{m \cdot \tau} \ln \frac{P_0}{P}; \quad (3)$$

где V_a – производительность вакуумного насоса, м³.

Но включение в сушильную схему ЖВН меньшей быстроты действия с меньшей затрачиваемой мощностью необходимо еще потому, что если процесс расширения газа в аппарате сопровождается понижением температуры, то элементарный вес газа отсасываемого вакуумным насосом за время $d\tau$ без учета сопротивления и подогрева во всасывающем трубопроводе составит:

$$dG = -S \frac{P}{RT} \cdot d\tau; \quad (4)$$

где dG – элементарный вес газа, отсасываемый вакуумным насосом из аппарата, кг; $d\tau$ – время отсасывания газа из аппарата, с; $R = 8,314 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – универсальная газовая постоянная; T – температура газа в аппарате, К.

И если считать, что $dG = (C_{2i} - C_{2i-1})d\tau$, при сбросе температуры конца кипения можно подобрать вакуумный насос меньшей производительности решив совместно (1) и (2) найти $S_{\text{ЖВН}}$ при $0 \leq \tau \leq \tau_k$.

Методика расчета энергетических затрат. Затраты электроэнергии на второй ступени складываются из затрат электроэнергии на продувку:

$$W_1 = Ne_{2n} \cdot \tau_{np}; \quad (5)$$

Затраты электроэнергии на вакуумирование:

$$W_2 = \int_0^z \int_0^i (ap + bp^2 - cp^3) \cdot d\omega dp; \quad (6)$$

Мощность поддержания вакуума во времени от 0 до $t_{\text{подв.}}$ определяется характеристикой малого насоса.

Затраты электроэнергии при выдержке под вакуумом с условием включения насоса малой быстроты действия:

$$W_3 = Ne_{\text{подв.}} \cdot \tau_{\text{подв.}}. \quad (7)$$

Общие затраты электроэнергии определяются как:

$$W = (W_1 + W_2 + W_3) \cdot z. \quad (8)$$

где z – число циклов повторений, но здесь следует отметить, что данная формула для приблизительной оценки затрат электроэнергии, так как время продувки, поддержка давления при вакууме и поддержка заданного вакуума изменяется с уменьшением влагосодержания.

Заключение

Рассмотрен вопрос аналитического обоснования выбора ЖВН для конвективной вакуум-импульсной суши, который заключается в следующем:

- необходимость использования двух ЖВН (продувка-вакуумирование, поддержание);
- с целью повышения экономической эффективности предложена методика расчета энергетических затрат.

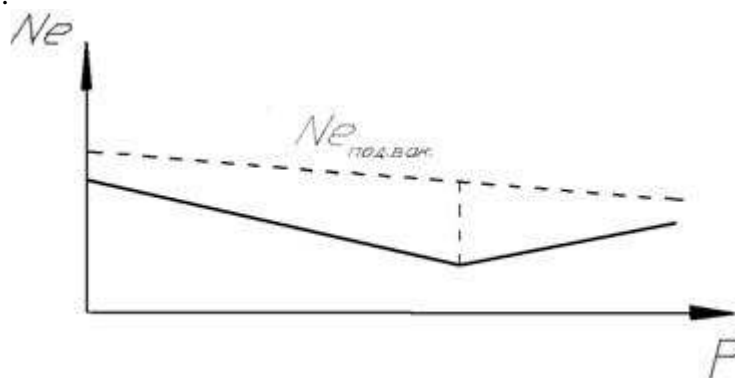


Рис. 2. Зависимости эффективной быстроты действия от величины вакуума для ЖВН с регулируемым нагнетательным окном

Список литературы

1. Вертепов, Ю.М. Исследование энергетических характеристик водокольцевых вакуум-насосов: дис. ... канд. Тех. наук / Ю.М. Вертепов. – М. : МВТУ, 1978. – 144 с.
2. Воробьев, Ю.В. Двухступенчатая жидкостно-кольцевая машина / Ю.В. Воробьев, А.В. Волков, В.А. Максимов, В.В. Попов, Ю.В. Родионов, М.М. Свиридов / Патент РФ №2291320 от 10.01.2007. Бюл. №1, авт.
3. Дмитриев, В.М. Кинетика и аппаратное оформление процесса конвективной сушки гранулированных и пленочных материалов / В.М. Дмитриев // Автореф. Тамбов, 2003. – 16 с.
4. Караганов, Л.Т. Расчет основных параметров жидкостнокольцевых вакуум-насосов и агрегатов на их базе по давлениям всасывания / Л.Т. Караганов, Е.И. Прямыцин // Сб. научных трудов ВНИИКомпрессормаш, Сумы, 1974. – В.6. – С. 56–71.
5. Митрохин, М.А. Комбинированная конвективно-вакуум-импульсная сушка – качественная переработка сельскохозяйственной продукции / М.А. Митрохин, И.В. Попова, Ю.В. Родионов, А.А. Флаат // Качество науки – качество жизни : Сборник материалов 4-й междунар. научно-практ. конф. Тамбов : Изд-во ТАМБОВПРИНТ, 2008. С. 156–157.
6. Попова, И.В. Условия комбинированной конвективной вакуум-импульсной сушки растительных продуктов / И.В. Попова, Ю.В. Родионов, С.А. Щербаков, В.М. Дмитриев, В.Г. Однолько, С.С. Хануни // Вопросы современной науки и практики. Ун-т В.И. Вернадского. – №4 (14), – Т.2. – С. 21–25.

Reason for Selection of Vacuum Pumps for Convective Vacuum Stage of Plant Materials Drying

Yu.V. Rodionov, V.G. Odnolko, I V. Popova

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: action speed of pump; vacuuming time; vacuum impulse; required vacuum; energy saving.

Abstract: The paper studies the task of selecting liquid-ring vacuum pumps for convective vacuum impulse drying on the basis of calculation of action speed of vacuum taking into account physical and mechanical properties of the original product in the course of experimental research. The technique of energy costs calculation is proposed.

© Ю.В. Родионов, В.Г. Однолько, И.В. Попова, 2009