

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА ПРОЦЕСС ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ КОНТАКТНОГО ТИПА

В.И. Курдюмов, д.т.н., профессор, **А.А. Павлушин**, к.т.н., доцент,
Г.В. Карпенко, к.т.н., доцент, **К.В. Шлёнкин**, к.т.н., доцент
 ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
 Тел.: 89084788926, e-mail: andrejpavlu@yandex.ru

Ключевые слова: тепловая обработка зерна, энергосбережение, контактный способ подвода теплоты.

Приведены основные закономерности, позволяющие определить суммарные энергозатраты на процесс тепловой обработки зерна в установке контактного типа. Выявлено, что при определении мощности, необходимой для осуществления процесса тепловой обработки зерна в устройстве контактного типа, нужно учитывать все элементы устройства, потребляющие энергию. При этом следует принимать во внимание конструктивные и режимные параметры, оказывающие прямое воздействие на изменение мощности, потребляемой устройством.

Мощность, которая необходима для обеспечения процесса тепловой обработки зерна в установке контактного типа для тепловой обработки зерна, требуется на:

- вращение вала шнека, перемещающего зерно от загрузочного бункера к выгрузному окну;
- нагрев цилиндрического кожуха устройства;
- привод вентилятора, установленного в воздуховоде устройства;
- нагрев воздуха, подаваемого вентилятором.

Таким образом, мощность, Вт, требуемая на процесс тепловой обработки зерна,

$$N = N_{\text{вр}} + N_{\text{нз}} + N_{\text{в}} + N_{\text{зк}},$$

где $N_{\text{вр}}$ - мощность, снимаемая с вала двигателя, не-

обходимая для вращения шнека, Вт; $N_{\text{нз}}$ - мощность, необходимая для нагрева цилиндрического кожуха

устройства, Вт; $N_{\text{в}}$ - мощность, потребляемая вентилятором, установленным в воздуховоде устройства,

Вт; $N_{\text{зк}}$ - мощность, потребляемая нагревательным элементом, установленным в воздуховоде, Вт.

Мощность, снимаемая с вала двигателя, необходимая для вращения шнека, требуется на:

- преодоление сил инерции, возникающих при изменении скорости движения зерна (в момент загрузки);
- преодоление трения зерна о внутреннюю поверхность кожуха;
- перемещение зерна вдоль оси винта и прео-

доление трения зерна о винтовую поверхность шнека.

Мощность, Вт, требуемая на преодоление сил инерции в момент загрузки зерна в устройство

$$N_1 = 0,278Qv_a^2,$$

где Q - пропускная способность устройства, т/ч; v_a - абсолютная скорость перемещения зерна, м/с.

Мощность на преодоление трения зерна о внутреннюю поверхность кожуха, Вт,

$$N_2 = F_x v_a,$$

где F_x - сила трения зерна о поверхность кожуха, Н;

$$F_x = f_2(P_c + G \cos \beta \cos \varphi),$$

где f_2 - коэффициент трения зерна о стенку кожуха;

P_c - центробежная сила, Н; G - вес зерна, находя-

щегося в устройстве, Н; φ - угол отклонения частицы относительно вертикали при вращении шнека с постоянной угловой скоростью ω , с⁻¹.

Центробежную силу и вес зерна, H , находящегося в устройстве, соответственно определим из уравнений

$$P_c = \frac{G\omega^2 D_0}{2g};$$

$$G = \frac{QLg}{3,6v_{1cp}},$$

где ω - угловая скорость абсолютного движения зерна в устройстве, c^{-1} ; D_0 - диаметр окружности, проходящей через центр давления зерна на поверхность витка шнека, м (условно принимаем $D_0 \approx D_w$, так как в устройстве тепловой обработке подвергается единичный слой зерна); L - рабочая длина шнека, м; v_{1cp} - средняя осевая скорость движения зерна в устройстве, м/с.

Средняя осевая скорость зерна в устройстве, м/с,

$$v_{1cp} = \frac{Q}{900\pi(D_w^2 - d_g^2)\psi\gamma_0 C_0},$$

где Q - пропускная способность устройства, кг/ч; D_w - диаметр шнека, м; d_g - диаметр вала шнека, м; ψ - коэффициент заполнения межвиткового пространства; γ - насыпная плотность обрабатываемого зерна, kg/m^3 ; C_0 - коэффициент осыпания зерна через зазоры между кромкой шнека и внутренней поверхностью кожуха.

Мощность, требуемая на перемещение зерна вдоль оси винта и преодоление трения зерна о винтовую поверхность шнека, Вт,

$$N_3 = \frac{P'_0 D_0 (\omega_0 - \omega)}{2} + \frac{P''_0 D_\theta (\omega_0 - \omega)}{2}, \quad (1)$$

где P'_0 - движущая сила, касательная к окружности, проходящей через центр давления зерна на винтовую поверхность, Н; P''_0 - окружная сила на наружной кромке винта, Н.

При $D_0 \gg D_w$ уравнение (1) принимает вид

$$N_3 = \frac{D_\theta (\omega_0 - \omega)}{2} (P'_0 + P''_0).$$

Силы P_0 определяют, исходя из теории движения тела по наклонной плоскости, Н,

$$P'_0 = G \sin \beta g (\alpha_0 + \rho_1),$$

$$P''_0 = F_\theta \sin \theta g (\alpha + \rho_1),$$

где $\alpha_0 = \arctg(S/\pi D_0)$ - угол подъема винтовой линии, проходящей через центр давления зерна на

винтовую поверхность шнека, град (при $D_0 \approx D_w$,

$\alpha_0 = \alpha$); θ - угол подъема винтовой линии, по которой движется зерно в устройстве, град; ρ_1 - угол

трения частицы о поверхность витка шнека, град.

При определении мощности двигателя необходимо учесть:

- трение в подшипниках вала;
- трение в передаточном механизме;
- возможность пуска устройства под нагрузкой после вынужденной остановки двигателя.

Мощность на валу шнека, Вт,

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_n},$$

где η_n - КПД подшипников качения вала шнека.

Мощность, снимаемая с вала двигателя, Вт

$$N_{ep} = k_1 \frac{N_0}{\eta_m}, \quad (2)$$

где k_1 - коэффициент запаса мощности; η_m - КПД трансмиссии.

Мощность, требуемая на нагрев кожуха устройства, определяется мощностью, потребляемой нагревательным элементом

$$N_{\text{нэ}} = \sum \frac{U_\phi^2 \pi d_{\text{нэ}}^2}{4 \rho_{\text{тнэ}} l_{\text{нэ}}}, \quad (3)$$

где U_ϕ - фазное напряжение, В; $d_{\text{нэ}}$ - диаметр нагре-

вательного элемента, м; $\rho_{\text{тнэ}}$ - удельное электрическое сопротивление материала нагревательного элемента,

Ом·м; $l_{\text{нэ}}$ - длина нагревательного элемента, м.

Вентилятор, перемещающий определенное

количество воздуха L , развивает полное давление

H , потребляя при этом мощность N .

Полное давление вентилятора - это энергия, которую передает колесо перемещаемому воздуху.

Не вся энергия, расходуемая на вращение рабочего колеса вентилятора, передается перемещаемому воздуху. Часть энергии теряется на преодо-

ление внутренних потерь в вентиляторе, а также на потери в приводе вентилятора.

Напор, Па, создаваемый вентилятором,

$$H = H_{\text{дин}} + H_{\text{п}},$$

где $H_{\text{дин}}$ – динамический напор, определяемый кинетической энергией подаваемого воздуха, Па; $H_{\text{п}}$ – различные виды потерь напора, Па.

Динамический напор, Па,

$$H_{\text{дин}} = \frac{F_{\text{в}}}{S_{\text{ж}}},$$

где $F_{\text{в}}$ – сила действия воздуха воздействует на зерно, Н; $S_{\text{ж}}$ – площадь кольцевого зазора между валом шнека и внутренней стенкой кожуха устройства, м².

Сила, с которой воздух воздействует на зерно, Н,

$$F_{\text{в}} = \frac{1}{2} L_{\text{в}} \rho v^2,$$

где $L_{\text{в}}$ – подача вентилятора, м³/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; v – скорость подачи воздуха, м/с.

Площадь кольцевого зазора между валом шнека и внутренней стенкой кожуха устройства, м²,

$$S_{\text{ж}} = \frac{\pi(D^2 - d_{\text{в}}^2)}{4},$$

где D – внутренний диаметр кожуха устройства, м;

$d_{\text{в}}$ – диаметр вала перфорированного шнека, м.

Таким образом, динамический напор вентилятора

$$H_{\text{дин}} = \frac{2L_{\text{в}} \rho v^2}{\pi(D^2 - d_{\text{в}}^2)}.$$

Потери давления, Па,

$$H_{\text{п}} = H_{\text{ж}} + \sum H_{\text{тр}} + \sum H_{\text{мс}},$$

где $H_{\text{ж}}$ – потери давления в калорифере, Па; $\sum H_{\text{тр}}$ –

суммарные потери напора на трение, Па; $\sum H_{\text{мс}}$ – суммарные потери напора на местные сопротивления, Па.

Потери давления в калорифере определяют по справочным данным или по паспортным данным, при использовании стандартного электронагревателя.

Суммарные потери напора на трение

$$\sum H_{\text{тр}} = \xi H_{\text{дин}},$$

где ξ – коэффициент пропорциональности, выражающий отношение действующих в подаваемом

воздухе сил сопротивления к силам инерции; $H_{\text{дин}}$ – динамический напор, определяемый кинетической энергией подаваемого воздуха, Па.

Условно принимая движение воздуха в устройстве ламинарным, определим коэффициент пропорциональности

$$\xi = \frac{64l_{\text{ж}}}{ReD},$$

где Re – число Рейнольдса; $l_{\text{ж}}$ – длина кожуха устрой-

ства, м; D – внутренний диаметр кожуха устройства, м.

Суммарные потери напора, Па, на местные сопротивления

$$\sum H_{\text{мс}} = \xi_{\text{мс}} H_{\text{дин}},$$

где $\xi_{\text{мс}}$ – приведенный коэффициент местных сопро-

тивлений, $H_{\text{дин}}$ – динамический напор, определяемый кинетической энергией подаваемого воздуха, Па.

Мощность, потребляемая вентилятором, установленным в воздуховоде устройства, Вт,

$$N_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}} H}{\eta_2 \eta_{\text{м}} \eta_{\text{п}}} = \frac{L_{\text{в}} \left[\frac{2L_{\text{в}} \rho v^2}{\pi(D^2 - d_{\text{в}}^2)} \left(1 + \frac{64l_{\text{ж}}}{ReD} + \xi_{\text{мс}} \right) + H_{\text{ж}} \right]}{\eta_2 \eta_{\text{м}} \eta_{\text{п}}} \quad (4)$$

где $L_{\text{в}}$ – подача вентилятора, м³/с; H – напор, создаваемый вентилятором, Па; ρ – плотность воздуха,

кг/м³; v – скорость подачи воздуха, м/с; $l_{\text{ж}}$ – длина

кожуха устройства, м; h_2 – гидравлический (аэродина-

мический) КПД вентилятора; $h_{\text{м}}$ – механический

КПД вентилятора; $h_{\text{п}}$ – КПД привода вентилятора.

Суммарная мощность, требуемая на процесс тепловой обработки зерна, Вт,

$$N = k_1 \frac{N_0}{\eta_m} + \sum \frac{U_0^2 \pi d_{\text{ш}}^2}{4 \rho_r l_{\text{ш}}} + \frac{L_r \left[\frac{2L_r \rho}{\pi(D^2 - d_r^2)} \left(1 + \frac{64L_r}{\text{Re} D} + \xi_{\text{ш}} \right) + H_r \right]}{\eta_r \eta_u \eta_n} + k_r \frac{c_r \rho L_r (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})}{\eta} \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что при заданной пропускной способности все затраты мощности постоянны, кроме мощности, затрачиваемой на на-

грев кожуха. Поэтому изменяя напряжение и, соответственно, силу тока и определяя оптимальные их значения, мы можем добиться снижения энергетических затрат на тепловую обработку зерна при обеспечении требуемого качества.

При определении мощности, необходимой для осуществления процесса тепловой обработки зерна в устройстве, нужно учитывать все элементы устройства, потребляющие электроэнергию. При этом следует принимать во внимание конструктивные и режимные параметры, оказывающие прямое воздействие на изменение мощности, потребляемой устройством.

Библиографический список:

1. Курдюмов В.И. Особенности тепловой обработки зерна в установках контактного типа / В.И. Курдюмов, Г.В. Карпенко, А.А. Павлушин // Международный сельскохозяйственный журнал. 2010. - № 5. - С. 50-53.
2. Курдюмов В.И. Тепловая обработка зерна при подготовке комбикорма для поросят / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012. - № 3. - С. 102-107.
3. Курдюмов В.И. Особенности тепловой обработки пищевых продуктов в установках контактного типа / В.И. Курдюмов, Г.В., Карпенко, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2011. - Т. 322. - № 4. - С. 90-92.
4. Курдюмов В.И. Теоретические и экспериментальные аспекты контактного способа передачи теплоты при сушке зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - № 3. - С. 106-110.
5. Патент 96639 РФ, F26B 3/00. Устройство для сушки зерна. В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, И.А. Постников – Заявлено 24.02.2010; опубл. 10.08.2010 г. Бюл. № 22.
6. Патент 96467 РФ, A23B 9/08. Устройство для сушки зерна. В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин – Заявлено 15.02.2010; опубл. 10.08.2010 г. Бюл. № 22.
7. Патент 2428642 РФ, МПК F26B11/16. Устройство для сушки зерна. В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин. – Заявлено 14.04.2010; опубл. 10.09.2011 г. Бюл. № 25.
8. Патент 2436630 РФ, МПК B02B1/00. Устройство для сушки зерна. В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин – Заявлено 31.05.2010; опубл. 20.12.2011 г. Бюл. № 35.

TO DETERMINE THE TOTAL ENERGY CONSUMPTION FOR PROCESS HEAT PROCESSING OF GRAIN TO INSTALL A CONTACT TYPE

Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Karpenko G.V., Shlenkin K.V.

Keywords: *heat treatment of grain, energy, con-stroke method for supplying heat.*

The basic patterns to help you determine the total energy consumption for the process of heat treatment of grain in the installation of the contact type. Found that in determining the power required for the process of heat treatment of grain in the contact-type device, it is necessary to consider all elements of the device, the energy consumed. This should take into account the design and operating parameters that have a direct impact on the change in the power consumption of the device