

OBOLENSKII NIKOLAI VASIL'EVICH – the doctor of technical sciences, the professor of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (obolenskinv@mail.ru).

ДАНИЛОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (danilovsky@mail.ru).

DANILOV DMITRII YUR'EVICH – the senior teacher of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (danilovsky@mail.ru).

МУСТАФИН ШАМИЛЬ ХУСЯИНОВИЧ – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки с.-х. продукции, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, Нижний Новгород, (mustafinsh@mail.ru).

MUSTAFIN SHAMIL KHUSYAINOVICH – the candidate of agricultural sciences, the professor of chair of technology of storage and processing of agricultural production, the Nizhniy Novgorod state agricultural academy, Russia, Nizhniy Novgorod, (mustafinsh@mail.ru).

УДК 621.3

Н. В. ОБОЛЕНСКИЙ, Д. Ю. ДАНИЛОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КАССЕТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Ключевые слова: конструкционно-технологические параметры; теплофизические параметры; подача вентилятора; пропускная способность; затраты энергии.

© Оболенский Н. В., Данилов Д. Ю.

***Аннотация.** Создано кассетное устройство для обеспечения кондиционной влажности зерна: предложены уравнения для расчета: мощности, требуемой для тепловой обработки зерна и удельного расхода электроэнергии на удаление 1 % влаги из 1 кг зерна.*

Характер протекания процесса тепловой обработки зерна определяется, прежде всего, механизмом перемещения влаги внутри зерна, энергетикой испарения и механизмом перемещения влаги с поверхности зерна в окружающую среду через так называемый пограничный слой, расположенный у поверхности зерна, а также конструктивно-технологической схемой и конструкцией устройства для тепловой обработки зерна.

Конструктивно-технологическая схема устройства заявлена как полезная модель (заявка № 2011139529, по которой получено положительное решение от 13.01.2012 г. о выдаче патента на полезную модель).

Сущность конструкции устройства в целом поясняется рис. 1.

Устройство содержит: теплогенератор 1, в котором установлены ТЭН 2, преобразующие электрическую энергию в тепловую; загрузочный бункер 3 с заслонкой 4; вентилятор 5 с заслонкой 6, воздуховод 7 с расположенными в нём турбулизатором 8, термодатчиками 9, вырезом 10 для установки кассеты 11 и вырезом 12 с раскрывающимися створками 13 для разгрузки кассеты 11. Устройство оснащено щитом управления с электросчетчиком, вольтметром, амперметром и ваттметром. Кассета 11, представляющая собой металлический короб, у которого передняя и задняя стенки выполнены в виде сетки, вверху расположено загрузочное, а внизу – разгрузочное отверстия. Толщина зернового слоя в кассете – 150 мм. В кассете предусмотрена также возможность установки одной или двух

перегородок с целью варьирования толщины слоя зерна: 50, 100 и 150 мм. Заслонка, установленная в кожухе вентилятора, позволяет изменять расход воздуха. Температура нагретого воздуха контролируется с помощью термодатчиков, установленных перед кассетой с зерном.

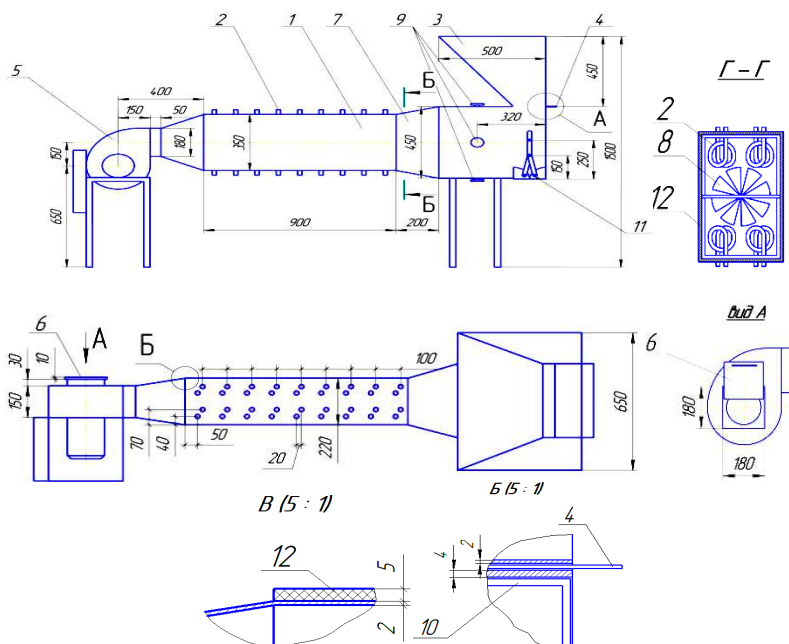


Рисунок 1 – Чертеж устройства для тепловой обработки зерна:

- 1 – теплогенератор; 2 – ТЭН; 3 – бункер; 4 – заслонка;
 5 – вентилятор; 6 – заслонка; 7 – воздуховод; 8 – турбулизатор;
 9 – термодатчик; 10 – вырез для установки кассеты;
 11 – кассета; 12 – раскрывающиеся створки

Устройство обеспечивает такие режимы работы, при которых достигается наибольшая производительность, минимальные энерго- и трудозатраты, а также соблюдение

технологических и экологических требований, требований по безопасности работы и др.

Для обеспечения заданного режима работы, эксплуатационных и технологических требований сушки зерна устройство снабжено: узлом загрузки, генератором теплоты, теплоотдающими элементами (ТЭН), узлами отвода образовавшейся влаги и подвода сухого воздуха, узлами выгрузки, управления и контроля режимами тепловой обработки.

Для нормального протекания процесса тепловой обработки (прогрева, сушки, прокаливания и т. д.) устройством обеспечивается: равномерный подвод теплоты ко всей площади слоя зерна, подвергающегося тепловой обработке; постоянный отвод образующейся на поверхности зерна влаги (т. е. постоянный подвод сухого и отвод влажного воздуха). Биологические особенности зерна определяют его максимальную температуру нагрева и максимальный влагосъём. Выполнение этих требований (условий) напрямую связано с параметрами установки: в первую очередь с параметрами теплоотдающих элементов, которые определенным образом характеризуют источник теплоты и определяют его режимы работы: температуру, потребляемую мощность и др.; характером распределения температуры по объему зернового слоя, толщиной зернового слоя, расходом агента сушки и т. д. Помимо этого в процессе сушки учитывается состояние окружающей среды: температура и влажность.

Процесс сушки определяется большой совокупностью разнообразных факторов, каждый из которых прямо или косвенно влияет на эффективность работы зерносушилки в целом.

Устройство позволяет исследовать электропотребление при тепловой обработке зерна в двух режимах: в неподвижном и подвижном слоях зерна. В первом случае устройство работает следующим образом. Предварительно отмеряют количество зерна, равное объёму кассеты, и

взвешивают. Загрузочный бункер 3 засыпают зерном, открывают заслонку 4 и заполняют кассету 11. Включают под напряжение ТЭН 2 и вентилятор 5. Нагнетаемый вентилятором воздух турбулизуется и прокачивается через слой зерна, находящегося в кассете. Регулировка расхода воздуха осуществляется заслонкой 6. Контактная с нагретым воздухом, зерно нагревается и теряет излишки влаги. Спустя определенное время (экспозиция сушки) открывают створки 1, подсушенное зерно самотёком высыпается из кассеты и взвешивается. В процессе сушки замеряется её время и мощность, потреблённая ТЭН теплогенератора и вентилятором. Для создания подвижного режима сушки слоя зерна приоткрывают заслонку 4 и створки 13, и оно начинает истекать из кассеты в процессе сушки. Осуществляются те же замеры: потребляемой мощности с помощью ваттметра, а также с помощью амперметра и вольтметра; времени нагрева воздуха до заданной температуры с помощью термодатчиков и секундомера; экспозиции сушки в неподвижном режиме с помощью секундомера; времени истечения зерна через кассету в подвижном режиме также с помощью секундомера; расход электроэнергии на нагрев воздуха до заданной температуры и его прокачку с помощью электро-счетчика.

Кассетное устройство для тепловой обработки зерна в отличие от аналога [1] основано на применении только конвективного способа передачи теплоты зерну от нагретого воздуха, прокачиваемого через кассету.

Поступающее в устройство влажное зерно, независимо от конструкции сушильного устройства, обладает параметрами, приведёнными в [2].

Процесс тепломассообмена в кассетном устройстве аналогичен процессу в аналоге, т. е. протекает по аналогичным законам, в соответствии с которыми происходит перемещение влаги внутри зерна, парообразование и пе-

ремещение влаги с поверхности зерна в окружающую среду.

Эффективная работа кассетного устройства обеспечивается так же, как и аналога при постоянном отводе из него водяных паров, испаряемых из обрабатываемого зерна, т. е. в нашем случае применимы математические выкладки работы [2].

Пропускная способность кассетного устройства определяется свойствами и массой обрабатываемого зерна, параметрами кассеты и скоростью сушки. На пропускную способность устройства влияют температурный режим обработки зерна и требования, предъявляемые к качеству готового продукта.

Мощность, требуемая на процесс тепловой обработки зерна в устройстве-аналоге определяется по уравнению:

$$N = k_1 \frac{N_0}{\eta_m} + \sum \frac{U_\phi^2 \pi l_{нэ}^2}{4 \rho_T l_{нэ}} + \frac{L_6 \left[\frac{2L_6 \rho v}{\pi(D^2 - d_6^2)} \left(1 + \frac{64l_k}{\text{Re}D} + \xi_m \right) + H_k \right]}{\eta_e \eta_m \eta_n} + k_3 \frac{c_e \rho L_6 (t_{вbx} - t_{вx})}{\eta}, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент запаса мощности;

N_0 – мощность на валу шнека, Вт;

η_m – КПД трансмиссии;

U_ϕ – фазное напряжение, В;

$d_{нэ}$ – диаметр нагревательного элемента, м;

ρ_T – удельное электрическое сопротивление материала нагревательного элемента, Ом·м;

$l_{нэ}$ – длина нагревательного элемента, м;

L_6 – подача вентилятора, м³/с;

v – скорость воздуха, м/с;

D – внутренний диаметр кожуха устройства, м;

d_6 – диаметр вала шнека, м;

l_k – длина кожуха устройства, м;
 Re – число Рейнольдса;
 ξ_m – приведенный коэффициент местных сопротивлений;
 H_k – потери давления в теплогенераторе, Па;
 η_z – гидравлический (аэродинамический) КПД вентилятора;
 η_m – механический КПД вентилятора;
 η_n – КПД привода вентилятора;
 c_g – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C);
 $t_{вых}$ – температура воздуха на выходе из теплогенератора, °C;
 $t_{вх}$ – температура воздуха на входе в теплогенератор, °C;
 η – КПД теплогенератора.

В кассетном устройстве отсутствует шнек и, как следствие, отсутствует необходимость затраты электроэнергии на его вращение. Кроме того, в кассетном устройстве нет необходимости нагревать корпус и, как следствие, нет необходимости в специальном электронагревателе. В связи со сказанном в уравнении (1) опускаются 1 и 2 слагаемые и оно приобретает вид:

$$N = \frac{L_g \left[\frac{2L_g \rho v}{\pi(D_3^2 - d_6^2)} \left(1 + \frac{64l_k}{Re D_3} + \xi_m \right) + H_k \right]}{\eta_z \eta_m \eta_n} + k_3 \frac{c_g \rho L_g (t_{вых} - t_{вх})}{\eta}, \quad (2)$$

где D_3 – диаметр сечения кожуха эквивалентного прямоугольному, определяемый по формуле, м [3]:

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot b \cdot h}{\pi}}, \quad (3)$$

где b – ширина живого сечения теплогенератора, м;

h – высота живого сечения теплогенератора, м;

В работе [2] дано определение удельных затрат энергии в Вт·ч/кг, выраженное уравнением:

$$q_{y\partial} = N/Q. \quad (4)$$

Однако в приведённом определении отсутствует сущность сушки зерна – уменьшение процента его влажности.

Удельный расход электроэнергии ($W_{y\partial}$) на удаление 1 % влаги из 1 кг зерна, Вт ч/кг % более верно определять по формуле:

$$W_{y\partial} = \frac{W}{G_3 \Delta \omega}, \quad (5)$$

где W – количество электроэнергии, израсходованной на сушку зерна и прокачку воздуха, Вт·ч;

G_3 – масса просушенного зерна, кг;

$\Delta \omega$ – разница влажности зерна до и после сушки, %, определяемая по уравнению:

$$\Delta \omega = \omega_{вх} - \omega_{вых}, \quad (6)$$

где $\omega_{вх}$ – влажность зерна до сушки, %;

$\omega_{вых}$ – влажность зерна после сушки, %;

Таким образом, в настоящее время: создано кассетное устройство для обеспечения кондиционной влажности зерна: предложены уравнения для расчета: мощности, требуемой для тепловой обработки зерна и удельного расхода электроэнергии ($W_{y\partial}$) на удаление 1 % влаги из 1 кг зерна. Как следствие, начаты экспериментальная проверка функциональности устройства и работоспособности предложенных уравнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 96466. (Заявка: 2010105279/22). Устройство для сушки зерна / Курдюмов В. И., Павлушин А. А., Сутягин С. А. Оpubл.: 10. 08. 2010. Бюл. № 22. 2 с.

2. Зозуля И. Н. Обоснование параметров и режимов работы энергосберегающего устройства для тепловой обработки зерна: Диссертация на соискание уч.степ. к.т.н. Ульяновск: УГСХА. 2010. 230 с.

3. Оболенский Н. В. Электронагрев в сельскохозяйственных обрабатывающих и перерабатывающих производствах / Монография. Н.Новгород: НГСХА. 2007, 350 с.

THEORETICAL PRECONDITIONS OF CREATION OF THE CASSETTE ARRANGEMENT FOR THERMAL PROCESSING OF GRAIN

***Keywords:** constructional-technological parameters; heatphysical parameters; supply of the fan; throughput; expenses of energy.*

***Annotation.** The cassette arrangement for maintenance conditional humidity of grain is created: the equations for calculation of the capacity required for thermal processing of grain and specific expense of the electric power on removal 1 % of moisture from 1 kg of grain are offered.*

ОБОЛЕНСКИЙ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (obolenskinv@mail.ru).

OBOLENSKII NIKOLAI VASIL'EVICH – the doctor of technical sciences, the professor of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (obolenskinv@mail.ru).

ДАНИЛОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (danilovdy@mail.ru).

DANILOV DMITRII YUR'EVICH – the senior teacher of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (danilovdy@mail.ru).
