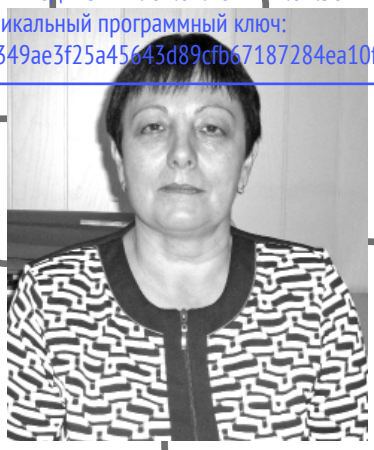
Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 02.02.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae3f25a45643d89cfb67187284ea10f48e8

DOI 10.35694/YARCX.2020.52.4.013

РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ЗЕРНОВОГО ВОРОХА



В.А. Николаев
д.т.н., доцент, профессор кафедры строительных и дорожных машин
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль
И.В. Кряклина (фото)
к.т.н., доцент, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

Сушка зерна, зерновой ворох, теплоноситель, поверхность теплообмена

Grain drying, grain trashed heap, heat-conducting medium, heat-exchange surface

В контактно-конвективной сушилке для сушки зерна используется тепло жидкости из системы охлаждения двигателя [1]. Эта жидкость поступает в трубки контактно-конвективной сушилки. Трубки теплоносителя расположены наклонно под углом 40° параллельно друг другу по всей ширине сушилки. Над ними, в шахматном порядке – паросборники. Над паросборниками установлен плавающий разравнивающий транспортёр, который изменяет своё положение в зависимости от объёма зерна в контактно-конвективной сушилке. Движущееся в контактно-конвективной сушилке зерно будет стекать с паросборников, перемещаться между паросборниками и трубками теплоносителя и падать через щель между трубками теплоносителя на заднюю нижнюю стенку контактно-конвективной сушилки.

Методика

Определим расчётную поверхность теплообмена теплоносителя с зерновым ворохом, который обтекает верхнюю часть трубок теплоносителя. На рисунке 1 представлена схема движения зерновок по поверхности трубок теплоносителя [2].

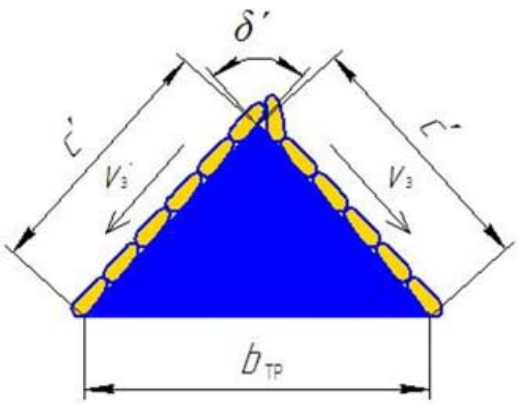


Рисунок 1 – Схема движения зерновок по поверхности трубок теплоносителя

Температура нагретого воздуха $t_{вз}^{к}$= 37°С. Температура зерна, выходящего из контактной сушилки $t_{к}^{з}$ = 42°С. Будем нагревать зерно в контактно-конвективной сушилке до $t_{к-к}^{з}$ = 45°С. Потоки зерна из контактной сушилки и контактно-конвективной сушилки будут смешиваться. Температура зерна в общем потоке будет выравниваться, поэтому в трубу возврата зерно должно поступать с температурой $t_{в}^{з} \approx$ 40°С. При движении зерна по трубе возврата и падении в контактно-конвективную сушилку его температура понизится приблизительно на 3…4°С. Поэтому начальная температура зернового вороха, движущегося по поверхности трубок теплоносителя $t_{з1} \approx$ 36°С.

Рассмотрим отдельную зерновку, движущуюся по поверхности трубки теплоносителя на рисунке 2. В результате нагрева зерновки происходит её отпотевание – появление влаги на поверхности зерновки [3]. Влага скапливается под зерновкой, между зерновками находится воздух. Зерновка, влага и воздух нагреваются от поверхности трубки теплоносителя. Допустим, зерновки на трубке теплоносителя расположены плотно друг к другу (рис. 1). Примем для расчёта площадь контакта каждой зерновки с трубкой теплоносителя постоянной $S_з = 2$ мм^2 (рис. 3). Площадь контакта влаги, находящейся под зерновкой, $S_{вд} = 20 - 2 = 18$ мм^2 с трубкой теплоносителя.

Площадь контакта воздуха с трубкой теплоносителя $S_{вз} = 24 - 18 = 6$ мм^2.

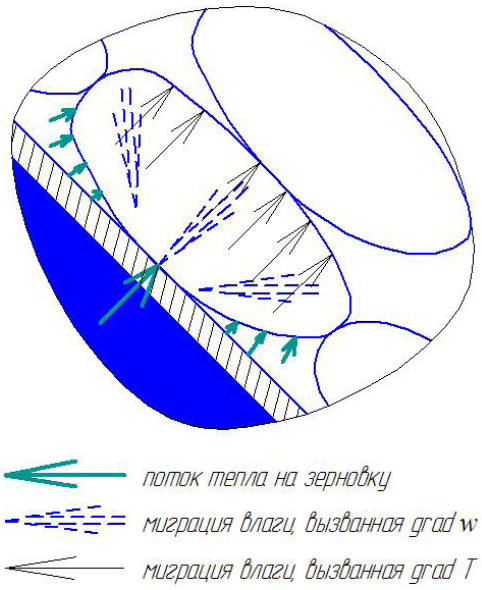


Рисунок 2 – Контактный нагрев зерновки при движении по поверхности трубки теплоносителя

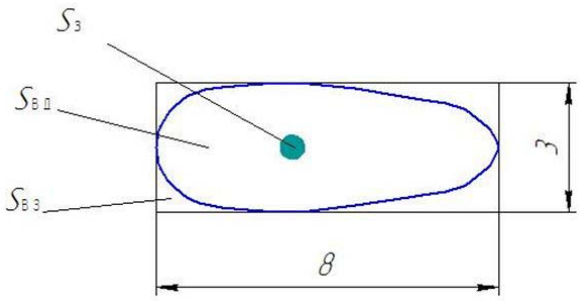


Рисунок 3 – К определению площади контакта зерновки $S_з$; площади контакта влаги, находящейся под зерновкой $S_{вд}$; площади контакта воздуха $S_{вз}$ с трубкой теплоносителя

Определим количество тепла, передающегося зерновке в результате контактного теплообмена согласно основному закону теплопроводности Фурье [4]:

$$Q_з = \frac{\lambda_з \cdot S_з (t_m - t_з)}{\delta_з}, \qquad (1)$$

где $\lambda_з$ – коэффициент теплопроводности зерновки тритикале, $\lambda_з$ = 0,35 Вт/м·град;
$\delta_з$ – толщина зерновки, $\delta_з = 2 \cdot 10^{-3}$ м;
$t_т$ – температура трубки теплоносителя, $t_т$ = 95°С;
$t_з$ – температура нагрева зерновки в контактно-конвективной сушилке, $t_з$ = 45°С.

Отсюда $Q_з = \frac{0{,}35 \cdot 2 \cdot 10^{-6}(95 - 45)}{2 \cdot 10^{-3}} = 0{,}014$ Дж.

Определим количество тепла, передающегося влаге, находящейся под зерновкой:

$$Q_{вд} = \frac{0{,}68 \cdot 18 \cdot 10^{-6}(95 - 45)}{0{,}2 \cdot 10^{-3}} = 2{,}448 \text{ Дж.}$$

Количество тепла, передающегося воздуху:

$$Q_{вз} = \frac{0{,}025 \cdot 6 \cdot 10^{-6}(95 - 45)}{2 \cdot 10^{-3}} = 0{,}003 \text{ Дж.}$$

Следовательно, общее количество тепла, передающегося теплопроводностью через одну зерновку:

$$Q_{об} = Q_з + Q_{вд} + Q_{вз};$$

$$Q_{об} = 0{,}014 + 2{,}448 + 0{,}003 = 2{,}465 \text{ Дж.}$$

Согласно предыдущим расчётам примем боковую сторону треугольного сечения трубки теплоносителя c = 0,054 м. Тогда количество зерновок, которые могут разместиться на теплообменной поверхности трубок теплоносителя:

$$N_з = \frac{2 \cdot c \cdot L \cdot n_{тр}}{\ell_з \cdot b_з}, \quad (2)$$

где L – длина трубки теплоносителя, L = 2,29 м;
$n_{тр}$ – число трубок теплоносителя, $n_{тр}$ = 17 шт.;
$\ell_з$ – длина зерновки, $\ell_з$ = 0,008 м;
$b_з$ – ширина зерновки, $b_з$ = 0,003 м.

Отсюда $N_з = \frac{2 \cdot 0{,}054 \cdot 2{,}29 \cdot 17}{0{,}008 \cdot 0{,}003} = 175185$ шт.

Определим количество тепла, передающегося теплопроводностью через всю верхнюю поверхность трубок теплоносителя:

$$Q_{вс} = Q_{об} N_з; \quad (3)$$

$$Q_{вс} = 2{,}465 \cdot 175185 = 431831 \text{ Дж}.$$

Тогда время, за которое передаётся тепло от трубки теплоносителя зерновкам:

$$\tau_з = \frac{Q_{вс}}{Q_{охл2}}; \quad (4)$$

$$\tau_з = \frac{431831}{27100} = 16 \text{ с}.$$

Зерновка обтекает трубку теплоносителя, двигаясь по вертикали, и проходит путь c' по её поверхности. Рассечём трубку теплоносителя вертикальной плоскостью. Из пространственной модели можно определить проекцию на вертикальную плоскость угла при вершине $\delta' = 75°$ и путь зерновки $c' = 0{,}062$ м.

Определим скорость зерновки, движущейся по поверхности трубки теплоносителя:

$$\upsilon_з = \frac{c'}{\tau_з}; \quad (5)$$

$$\upsilon_з = \frac{0{,}062}{16} = 0{,}004 \text{ м/с}.$$

Отсюда объёмный расход зернового вороха, движущегося в контактно-конвективной сушилке:

$$V_{зв1} = a_{тр} \cdot L \cdot \upsilon_з (n_{тр} + 1); \quad (6)$$

$$V_{зв\,1} = 0{,}04 \cdot 2{,}29 \cdot 0{,}004(17+1) = 0{,}0064 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объём, занимаемый одной зерновкой, $V_з = 25 \cdot 10^{-9}$ м^3. Определим объём зернового вороха, высыпающегося из контактной сушилки за 1 с:

$$V_{зв} = \frac{N_{к-к} \cdot V_з}{(1-\varepsilon)}; \quad (7)$$

$$V_{зв} = \frac{216000 \cdot 25 \cdot 10^{-9}}{(1-0{,}45)} = 0{,}012 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Следовательно, из контактно-конвективной сушилки высыпается зерно в объёме, равном $V_{зв1} = \frac{0{,}0064}{0{,}012} = 0{,}53\ V_{зв}$.

Ориентировочная поверхность теплообмена теплоносителя и зернового вороха в контактно-конвективной сушилке составит:

$$S_m = N_m (S_з + S_{вд} + S_{вд}); \quad (8)$$

$$S_m = 175185 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 4{,}2\ м^2.$$

Вывод

Использование тепла охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания в контактно-конвективной сушилке приводит к энергосбережению при сушке зерна.

Литература

1. Николаев, В.А. Совершенствование зерноуборочного комбайна: конструктивная компоновка, теория и расчет. Часть 1 [Текст] / В.А. Николаев. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2015. – 252 с.

2. Николаев, В.А. Очистка зерна от примесей и его предварительная сушка [Текст] / В.А. Николаев, И.В. Кряклина. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2017. – 212 с.

3. Атаназевич, В.И. Сушка зерна [Текст] / В.И. Атаназевич. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.

4. Григорьев, В.А. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент [Текст]: справочник. Кн. 2 / под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 557 с.

References

1. Nikolaev, V.A. Sovershenstvovanie zernouborochnogo kombajna: konstruktivnaja komponovka, teorija i raschet. Chast' 1 [Tekst] / V.A. Nikolaev. – Jaroslavl': Izd-vo FGBOU VO Jaroslavskaja GSHA, 2015. – 252 s.

2. Nikolaev, V.A. Ochistka zerna ot primesej i ego predvaritel'naja sushka [Tekst] / V.A. Nikolaev, I.V. Kryaklina. – Jaroslavl': Izd-vo FGBOU VO Jaroslavskaja GSHA, 2017. – 212 s.

3. Atanazevich, V.I. Sushka zerna [Tekst] / V.I. Atanazevich. – M.: Agropromizdat, 1989. – 240 s.

4. Grigor'ev, V.A. Teoreticheskie osnovy teplotehniki. Teplotehnicheskij jeksperiment [Tekst]: spravochnik. Kn. 2 / pod obshh. red. V.A. Grigor'eva i V.M. Zorina. – M.: Jenergoatomizdat, 1988. – 557 s.