

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В. Чумаков, Д.В. Заяц**
(*РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь*)
В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Т.А. Непарко
(*УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь*)
Е.В. Зубенко
(*УО «Марьиногорский государственный
аграрно-технический колледж»
г. Марьина Горка, Республика Беларусь*)

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
КОМПЕНСАЦИОННОЙ
ЕМКОСТИ
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-
СУШИЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА**

Введение

Важным условием стабильной работы зерноочистительно-сушильного комплекса является соответствие производительности основных его машин – машины предварительной очистки зерна и зерносушилки. При этом вследствие существенного изменения в процессе уборки засоренности, влажности и видового состава обрабатываемого зернового вороха процессы предварительной очистки и сушки всегда значительно отличаются по производительности [1–3]. Компенсационный бункер между машинами нужен также в тех случаях, когда происходят остановки машин по каким-либо причинам. Поэтому для обеспечения совместной стабильной и равномерной работы обеих машин в технологической линии между ними необходимо устанавливать дополнительную компенсирующую емкость.

Основная часть

При проектировании зерновых элеваторов параметры межоперационных компенсирующих емкостей закладывают в соответствии с установленными нормативами. При этом по нормам технологического проектирования вместимость над- и подсушильных бункеров должна быть не менее часовой производительности нории и в 3...4 раза выше производительности зерносушилки [3]. Однако на элеваторах обрабатывается практически чистое высушенное зерно, а в случае обработки в сельскохозяйственном предприятии зернового комбайнового вороха вместимость компенсирующей емкости должна соответствовать следующему условию:

$$V_{ке} = \frac{q_{мпo} \tau_{мпo}}{\rho_{кв}} - \frac{q_{зс} \tau_{зс}}{\rho_{пш}}, \quad (1)$$

где $q_{мпo}$ – производительность машины предварительной очистки зерна, m^3/h ;

$\tau_{мпo}$ – время работы машины предварительной очистки зерна, $ч$;

$q_{зс}$ – производительность зерносушилки, m^3/h ;

$\tau_{зс}$ – время работы зерносушилки, $ч$;

$\rho_{кв}$ – насыпная плотность комбайнового зернового вороха, m^3/m^3 ;

$\rho_{пш}$ – насыпная плотность зерна после предварительной очистки, m^3/m^3 .

Кроме того, объем компенсирующей емкости должен определяться с учетом целого ряда противоречивых факторов [4]. С одной стороны, недостаточная вместимость компенсирующей емкости приводит к простоям машины предварительной очистки зерна, убыткам от снижения ее производительности, ухудшению сохранности и качества поступившего от комбайнов необработанного зернового вороха.

С другой стороны, бесконечно малое изменение производительности машины предварительной очистки зерна и зерносушилки при их работе за бесконечно малый

промежуток времени $d\tau$, в зависимости от заполненности компенсирующей емкости, может быть описано следующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dq_{\text{мпо}}}{d\tau} = -k_{\text{мпо}} \frac{q_{\text{мпо}}}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}}; \quad (2)$$

$$\frac{dq_{\text{зс}}}{d\tau} = -k_{\text{зс}} \frac{q_{\text{зс}}}{q_{\text{мпо}} - q_{\text{ке}}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{мпо}}$ – коэффициент, зависящий от текущей производительности машины предварительной очистки зерна и суммы производительности зерносушилki и текущей наполненности компенсирующей емкости, m^{-1} ;

$k_{\text{зс}}$ – коэффициент, зависящий от текущей производительности зерносушилki и разницы между производительностью машины предварительной очистки зерна и текущей наполненностью компенсирующей емкости, m^{-1} ;

$q_{\text{мпо}}$ – производительность машины предварительной очистки зерна, m^3/h ;

$q_{\text{зс}}$ – производительность зерносушилki, m^3/h .

$q_{\text{ке}}$ – средняя часовая заполненность компенсирующей емкости, m^3 .

После преобразования уравнений (2) и (3) получаются дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными следующего вида:

$$\frac{dq_{\text{мпо}}}{q_{\text{мпо}}} = -k_{\text{мпо}} \frac{d\tau}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}}; \quad (4)$$

$$\frac{dq_{\text{зс}}}{q_{\text{зс}}} = -k_{\text{зс}} \frac{q_{\text{зс}}}{q_{\text{мпо}} - q_{\text{ке}}}. \quad (5)$$

Интегрирование дифференциальных уравнений (4) и (5) позволяет получить следующие уравнения:

$$\ln q_{\text{мпо}} = -k_{\text{мпо}} \frac{\tau}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}} + C_1. \quad (6)$$

$$\ln q_{\text{зс}} = -k_{\text{зс}} \frac{\tau}{q_{\text{мпо}} - q_{\text{ке}}} + C_2. \quad (7)$$

Значение постоянных интегрирования C_1 и C_2 определяется путем соответствующей подстановки в уравнения (6) и (7) следующих начальных условий: $\tau = 0$, $q_{\text{мпо}} = q_{0\text{мпо}}$, $q_{\text{зс}} = q_{0\text{зс}}$. Тогда они будут равны: $C_1 = \ln q_{0\text{мпо}}$ и $C_2 = \ln q_{0\text{зс}}$.

После подстановки соответствующих значений постоянных интегрирования C_1 и C_2 в уравнения (6) и (7), а также соответствующих преобразований решение дифференциальных уравнений (2) и (3) будет представлено в следующем виде:

$$\ln \frac{q_{\text{мпо}}}{q_{0\text{мпо}}} = -k_{\text{мпо}} \frac{\tau}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}}; \quad (8)$$

$$\ln \frac{q_{\text{зс}}}{q_{0\text{зс}}} = -k_{\text{зс}} \frac{\tau}{q_{\text{мпо}} - q_{\text{ке}}}, \quad (9)$$

а после потенцирования

$$\frac{q_{\text{мпо}}}{q_{0\text{мпо}}} = e^{-k_{\text{мпо}} \frac{\tau}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}}}; \quad (10)$$

$$\frac{q_{\text{зс}}}{q_{0\text{зс}}} = e^{-k_{\text{зс}} \frac{\tau}{q_{\text{мпо}} - q_{\text{ке}}}}. \quad (11)$$

С учетом текущей наполненности компенсирующей емкости фактическая производительность машины предварительной очистки зерна будет равна:

$$q_{\text{мпо}} = q_{0\text{мпо}} e^{-k_{\text{мпо}} \frac{\tau}{q_{\text{зс}} + q_{\text{ке}}}}, \quad (12)$$

а фактическая производительность зерносушилки соответственно будет равна:

$$q_{зс} = q_{0зс} e^{-k_{мп\o} \frac{\tau}{q_{мп\o} - q_{ке}}} \quad (13)$$

Кроме того, уравнение (8) может быть представлено в следующем виде:

$$q_{зс} + q_{ке} = - \frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{мп\o}}{q_{0мп\o}}} = \frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{0мп\o}}{q_{мп\o}}} \quad (14)$$

Из уравнения (14) определяется текущая наполненность компенсирующей емкости с учетом текущей производительности зерносушилки и соотношения номинальной и текущей производительности машины предварительной очистки зерна:

$$q_{ке} = \frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{0мп\o}}{q_{мп\o}}} - q_{зс} \quad (15)$$

Уравнение (9) также может быть представлено в следующем виде:

$$q_{мп\o} - q_{ке} = - \frac{k_{зс} \tau}{\ln \frac{q_{зс}}{q_{0зс}}} \quad (16)$$

Из уравнения (16) определяется текущая наполненность компенсирующей емкости с учетом текущей производительности машины предварительной очистки зерна и соотношения номинальной и текущей производительности зерносушилки:

$$q_{ке} = q_{мп\o} + \frac{k_{зс} \tau}{\ln \frac{q_{зс}}{q_{0зс}}} \quad (17)$$

Поэтому наполненность компенсирующей емкости, исходя из значительно более высокой текущей производительности машины предварительной очистки зерна и существенно меньшей текущей производительности зерносушилки, будет находиться в следующем диапазоне:

$$q_{мп\o} + \frac{k_{зс} \tau}{\ln \frac{q_{зс}}{q_{0зс}}} > q_{ке} > \frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{0мп\o}}{q_{мп\o}}} - q_{зс} \quad (18)$$

С другой стороны, разность между крайними значениями интервалов наполненности компенсирующей емкости, согласно зависимости (18), и средним дневным временем вынужденного простоя машины предварительной очистки зерна и зерносушилки позволяет определить требуемую величину объема компенсирующей емкости:

$$\begin{aligned} (q_{мп\o} + \frac{k_{зс} \tau}{\ln \frac{q_{зс}}{q_{0зс}}}) \tau_{мп\o \text{ ост}} - (\frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{0мп\o}}{q_{мп\o}}} - q_{зс}) \tau_{зс \text{ ост}} = q_{мп\o} \tau_{мп\o \text{ ост}} + q_{зс} \tau_{зс \text{ ост}} + \\ + ((\frac{k_{зс} \tau}{\ln \frac{q_{зс}}{q_{0зс}}}) \tau_{мп\o \text{ ост}} - (\frac{k_{мп\o} \tau}{\ln \frac{q_{0мп\o}}{q_{мп\o}}} - q_{зс}) \tau_{зс \text{ ост}}), \end{aligned} \quad (19)$$

где $\tau_{мп\o \text{ ост}}$ – среднее время вынужденного дневного простоя машины предварительной очистки зерна из-за отказов зерносушилки, ч;

$\tau_{зс \text{ ост}}$ – среднее время вынужденного дневного простоя зерносушилки из-за отказов машины предварительной очистки зерна, ч.

Так как $\tau_{мп\o \text{ ост}} = 3 \dots 4$ ч, $\tau_{зс \text{ ост}} = 5 \dots 6$ ч, то компенсирующая емкость, устанавливаемая между машиной предварительной очистки зерна и зерносушилкой, согласно зависимости (13), должна иметь вместимость не менее $(3 \dots 6)(q_{мп\o} + q_{зс})$.

Выводы

Таким образом, исходя из типоразмерного ряда зерноочистительно-сушильных комплексов в республике, соответствующий ряд компенсирующих емкостей, устанавливаемых между машиной предварительной очистки зерна и зерносушилкой, должен быть следующим: для комплекса производительностью 15 пл. т/ч – емкостью 200 т; 20 пл. т/ч – 250 т; 30 пл. т/ч – 350 т; 40 пл. т/ч – 400 т; 60 пл. т/ч – 450 т; 80 пл. т/ч – 500 т и 100 пл. т/ч – 600 т. При этом для исключения процессов самосогревания обрабатываемого зернового вороха путем его перемещения и

перелопачивания необходимо устанавливать не менее двух компенсирующих емкостей указанного суммарного объема.

28.06.2016

Литература

1. Чеботарев, В.П. Сушка зерна. Теория, расчет, эксперимент / В.П. Чеботарев, И.В. Чеботарев. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – 520 с.
2. Ловкис, В.Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В.Б. Ловкис, В.А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 13–19.
3. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов [и др.]. – М.: Де Ли принт, 2010. – 696 с.
4. Краусп, В.Р. Метод определения оптимальных параметров послеуборочной обработки зерна / В.Р. Краусп // Доклады ВАСХНИЛ. – 1970. – № 2. – С. 49–52.

УДК 631.365

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В. Чумаков, Д.В. Заяц**
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»),
г. Минск, Республика Беларусь)*
В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Д.А. Жданко
*(УО «БГАТУ»),
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ
КОМПЕНСИРУЮЩЕГО
РЕЖИМА РАБОТЫ
ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ**

Введение

Сушка является одной из самых энергоемких операций в технологических процессах производства зерна (35...50 % от всех затрат энергии). Имеющийся в республике парк зерносушилок рассчитан на применение жидкого топлива или природного газа, а также местных видов топлива [1–4]. Именно благодаря возможности тонкого оперативного управления извлечением и подачей тепла на сушку, эти традиционные виды топлива на сегодняшний день доминируют в мире при проведении сушки зерна [5–11]. Они незаменимы при сушке семян. Между тем складывающаяся в мире ситуация с энергопотреблением все больше требует использования возобновляемых источников тепла, которыми, в частности, являются дрова, солома, торф – наиболее распространенный и доступный энергоресурс Беларуси [10]. Поэтому в Республике Беларусь будут востребованы зерносушилки, работающие как на традиционном топливе (нефтяного происхождения, газе), так и на твердом местном – дровах, соломе, торфе, торфобрикетах [1, 10]. Это означает, что сельскохозяйственное производство должно оснащаться воздухонагревателями широкого типоразмерного ряда, работающими на различных видах топлива.

Основная часть

Опыт использования и научные исследования показывают, что для целей сушения зерна в сельском хозяйстве лучше всего подходят воздухонагреватели с теплообменниками, простыми конструктивно и лучше других использующими тепловой потенциал сжигаемого топлива [12, 13]. Помимо экономичности, такие воздухонагреватели должны соответствовать важнейшему требованию – обеспечивать поддержание стабильной (на заданном уровне) температуры агента сушки. Если в воздухонагревателях, работающих на традиционных углеводородных видах топлива, проблем не возникает, то при сжигании твердого топлива (дров, торфа, соломы)