

О РЕКОНСТРУКЦИИ ЗЕРНОСУШИЛКИ М-819

И.Н.Шило, докт. техн. наук, профессор (УО БГАТУ); Е.И. Михайловский, канд. эконом. наук (РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)

Аннотация

В статье отражены резервы повышения срока службы и эффективности использования зерносушилок М-819, представлено обоснование повышения производительности сушилки путем включения в зону сушки охладителя зерна и топливно-энергетической эффективности сушилки путем повышения эффективности предварительной очистки зернового вороха, приведены варианты замены теплогенераторов.

Введение

Сушка является наиболее надежным способом долгосрочного консервирования сельскохозяйственных продуктов. В то же время это один из наиболее энергоресурсоемких процессов механизации сельскохозяйственного производства. Подсчитано, что на сушку зерна приходится 35% расхода топлива, 24% расхода металла и 8,9 % трудозатрат при его производстве в Республике Беларусь. Это, примерно, в 1,3...1,5 раза выше, чем потребление ресурсов на тех же процессах в схожих по природно-климатическим условиям странах Западной Европы.

Такие высокие затраты ресурсов на завершающей стадии производства зерна являются следствием технологического несовершенства и физической изношенности применяемого оборудования. В последние годы оно в республике практически не менялось, средний срок службы комплексов для очистки и сушки зерна в сельскохозяйственных организациях превысил 15 лет. Наиболее интенсивной изношенности подверглись зернопроводящие элементы и теплогенерирующие устройства (топки) зерносушилок. Это является главной причиной, по которой республика, из-за возникающих задержек с уборкой, ежегодно теряет до 1,5 млн. тонн зерна.

Замена изношенного оборудования потребует крупных одновременных затрат, что нереально. Поэтому, наряду с капитальной заменой отработавших свой ресурс зерносушилок и строительством новых зерноочистительно-сушильных комплексов, важно проводить и реконструкцию существующего зерносушильного хозяйства.

К такому сушильному оборудованию, требующему незамедлительной реконструкции, относится зерносушилка польского производства М-819, производительностью 20 т/ч. Данный тип зерносушилок начал поставляться в нашу страну более 25 лет назад, и их парк в настоящее время насчитывает свыше 1100 единиц.

Основная часть

Резервы повышения сроков службы и эффективности использования зерносушилок М-819

Начиная с 1979 г., в республику было поставлено примерно 1600 зерносушилок М-819 польской фирмы «Рофама». Машины оказались настолько удачными и

приспособленными к условиям Беларуси, что их популярность не снижается и сегодня. Прошло уже более 25 лет (два амортизационных срока), а 1100 сушилок М-819 продолжают сушить зерно, и доля их участия в ежегодной уборке занимает 35-39% от валового сбора. В расчете на одну машину средняя нагрузка составляет 2275 тонн, тогда как ближайшие по классу зерносушилки СЗШ-16 и зерноочистительно-сушильные комплексы на их основе обеспечивают только 1780 тонн.

Большим достоинством зерносушилки М-819 является и то, что, несмотря на столь продолжительный срок эксплуатации, её технологические параметры остаются практически неизменными, особенно параметры, определяющие качество сушки: неравномерность сушки (+1,8; -1,8%), механические и тепловые повреждения зерна (в среднем 0,16%). В связи с этим сушилки М-819 получили большое распространение в семеноводческих хозяйствах. Они безопасны и удобны в эксплуатации.

И всё же срок эксплуатации не беспределен. В последнее время резко обозначились признаки механического и коррозионного износа, особенно ржавление ответственных рабочих органов. Есть опасность, что этот процесс может принять аварийные формы из-за недостатка запчастей и отсутствия должного профессионального ремонта и обслуживания. Ускоренный выход из строя более 30% наличного потенциала сушилки может поставить под угрозу судьбу урожая и продовольственную безопасность страны. Необходимо принять действенные меры по поддержанию работоспособности и продлению срока службы имеющихся в распоряжении республики зерносушилок.

В результате выборочного контроля семи комплексов с сушилками М-819 были выявлены узлы и агрегаты, подвергшиеся на сегодняшний день наибольшему износу. К ним отнесены:

- топочный агрегат – прогорание камеры сгорания, сильный коррозионный износ нижней части теплообменника;
- нория – коррозионное разрушение башмака, деформация и отрыв ковшей, износ и разрывы ленты, разрушение редуктора привода, подшипниковых опор;
- грейфер (разравниватель зерна) – износ цепи и звездочек, заклинивание механизма регулирования

натяжения транспортера, отрыв планок транспортера, заклинивание подшипниковых опор;

- выпускной механизм (лотки) – коррозионный износ и разваливание лотков, износ подшипников в подвесках лотков, заклинивание устройства регулирования производительностью выпуска;

- выгрузной шнек – износ вала и витков, разрушение подшипниковых опор вала, коррозия принимающих и отводящего окон, разрушение привода шнека;

- система аспирации – забивание пылеотделителей и мультициклонов, коррозия внешняя, заклинивание механизмов управления заслонками вентиляторов;

- электрооборудование – разводка силовой сети, контрольно-измерительное оборудование, сигнализация, ящики и шкафы управления.

Общим для всех сушилок является повсеместное повреждение лакокрасочного покрытия, что привело к очаговым повреждениям корпуса сушилки. Тем не менее, корпусные детали находятся в удовлетворительном состоянии, благодаря изначально высокой (3 мм) толщине их стенок. Опоры и рамные конструкции также не вызовут проблем. В удовлетворительном состоянии находятся корпусные и опорные детали вентиляторов. Полной замене подлежит элементная база электрооборудования, приборы, сигнализация.

В целом вышеизложенное позволяет заключить, что техническое восстановление зерносушилок М-819 возможно, и объемы восстановления не превысят 30-35% изначальной балансовой стоимости машины.

Совместно с проведением мероприятий по восстановлению работоспособности М-819 целесообразно проработать возможность повышения их производительности и эффективности. Приведенный анализ состояния машин показывает, что это возможно.

Резервы этого направления видятся в следующем:

1. Повышение емкости сушильной камеры за счет включения в зону сушки охладителя зерна с выносом его функций в отдельный автономный бункер-охладитель.

2. Переоснащение (дооснащение до нормы) реконструированной сушилки современными топочными агрегатами тепловой мощностью до 3,2 МВт и вентиляторами производительностью до 30 тыс. м³/ч.

3. Обязательное выполнение предварительной очистки зерна перед сушкой.

Повышение производительности сушилки путем включения в зону сушки охладителя зерна с выносом его функций в автономный бункер-охладитель

Самым весомым способом повышения производительности зерносушилок является увеличение параметров (зоны сушки) за счет использования имеющихся резервов в их конструкции. В качестве одного из таких в реконструированной сушилке М-819 будет осуществлен перевод в зону сушки охладителя зерна с выносом его функций в автономный бункер-охладитель. Такой способ часто используют зарубежные фирмы «Petkus Wuta» и «Riela» (Германия); «Lau» (Франция); «Araj» (Польша) и др. Отличие состоит в

том, что эти фирмы оснащают свои сушилки устройствами для частичного переключения на сушку емкостей охладителя в самой сушилке.

Полный перенос охладителя в автономное устройство будет более эффективным, так как в этом случае появляется дополнительная возможность более продолжительной отлежки нагретого зерна после сушки. Это способствует равномерному распределению влаги в зернах, т.е. повышает качество сушки и увеличивает производительность.

Сушилка М-819 состоит из 28 одинаковых секций, заполненных коробами, в том числе восемь из них отведены для охладителя. Секции имеют абсолютно одинаковое устройство и размеры, что упрощает проведение реконструкции (емкость одной секции 1,71 м³).

По данным испытаний [1], тепловая мощность теплогенератора сушилки составляет: $N_T = 2,1$ МВт, а расход отработавшего теплоносителя (с остаточной температурой $t = 34^\circ\text{C}$) – $L = 78133$ м³/ч и зерновая емкость зоны сушки – 34,2 м³. Эти параметры обеспечивают М-819 расчетную производительность 20 пл. т/ч.

Если исходить из того, что удельные значения (в расчете на одну плановую тонну производительности) указанных параметров сохранить неизменными, то количество тепла, приходящегося на одну сушильную секцию, должно составить:

$$2,1:20 = 0,105 \text{ МВт,}$$

а количество теплоносителя

$$78133:20 = 3907 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

При реконструкции в сушку добавляется восемь секций. Следовательно, энергообеспечение реконструируемой сушилки должно увеличиться до

$$N_T = 2,1 + 0,105 \cdot 8 = 2,94 \text{ МВт,}$$

а расход теплоносителя – до

$$L = 78133 + 3907 \cdot 8 = 109389 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

т.е. в среднем каждый из четырех вентиляторов сушилки должен вытягивать

$$109389:4 = 27347 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

отработавшего теплоносителя, что на 14 % больше их номинальных значений (24000 м³/ч).

Введение в зону сушки дополнительно восьми секций увеличивает ее емкость до

$$V_Z = (20+8) \cdot 1,71 = 48 \text{ м}^3.$$

Следовательно, при таких параметрах N_T , L и V_Z можно рассчитывать на производительность реконструированной М-819

$$Q = -1,9156 + 0,0070 N_T + 2,5235 \cdot 10^{-5} L + 0,2245 V_Z = \\ = -1,9156 + 0,0070 \cdot 2940 + 2,5235 \cdot 10^{-5} \cdot 109389 + \\ + 0,2245 \cdot 48 = 32 \text{ пл. т/ч,}$$

т.е. полная реконструкция с повышением емкости сушки, расхода теплоносителя и тепловой мощности теплогенератора (в среднем на 40%) позволит повысить производительность на сушке пшеницы при снижении влажности с 20 до 14 % – 32 т/ч, т.е. в 1,6 раза больше, чем собственно М-819. Кроме того, автономный охладитель добавит еще не менее 0,2 пл. т/ч.

Если М-819 в среднем на одну пл. т/ч производительности затрачивает:

$$- \text{тепла } 2100:20 = 105 \text{ кВт}\cdot\text{ч;}$$

$$- \text{теплоносителя } 78133:20 = 3907 \text{ м}^3,$$

то реконструируемая потребует:

- тепла $2940:32 = 91,88$ кВт·ч;
- теплоносителя $109389:32 = 3418$ м³.

Следовательно, наряду с повышением производительности, реконструкция позволяет уменьшить расход ресурсов сушки в среднем на 14 %.

Полная реконструкция потребует немалых средств (не менее 30% балансовой стоимости М-819). Поэтому для практической реализации будет приемлем более удобный вариант, когда, например, механизмы и их параметры восстанавливаются до изначальных, т.е. остаются прежними, как и в М-819, а изменяться будет только емкость сушильной камеры – с 34,2 м³ до 48 м³. Такое изменение малозатратно и может быть выполнено оперативно.

В этом случае ожидаемая расчетная производительность восстановленной М-819 будет

$$Q = -1,9156 + 0,0070 \cdot 2100 + 2,5235 \cdot 10^{-5} \cdot 78133 + 0,2245 \cdot 8 = 25,5 \text{ пл. т/ч.}$$

При этом на одну пл. т/ч производительности будет потрачено:

- тепла $2100:25,5 = 82,3$ кВт·ч;
- теплоносителя $78133:25,5 = 3064$ м³,

т.е. получается, что этот вариант наиболее экономичен в расходовании ресурсов сушки. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Варианты реализации направлений повышения производительности зерносушилки М-819

| Параметры | Варианты | | | |
|---|------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| | контроль | 1 | 2 | 3 |
| Вносимые изменения | до реконструкции | простое восстановление | охладитель переключен на сушку | охладитель переключен на сушку и полная реконструкция |
| Производительность, т/ч | 20 | 20 | 25,5 | 32 |
| Тепловая мощность, МВт | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,94 |
| Подача нагретого воздуха, м ³ /ч | 78130 | 78130 | 78130 | 109390 |
| Емкость сушильной камеры, м ³ | 34,2 | 34,2 | 48 | 48 |
| Удельные расходы | | | | |
| -тепла, кВт/пл.т | 105 | 105 | 82,8 | 92,2 |
| -нагретого воздуха, м ³ /пл.т | 3907 | 3907 | 3064 | 3418 |

Из таблицы видно, что наиболее эффективное использование ресурсов ожидается во 2-м варианте, т.е. в том случае, когда зона сушки увеличивается за счет охладителя, а остальные параметры (тепловая мощность, подача нагретого воздуха) остаются неизменными. За счет увеличения зоны сушки ожидаемая производительность повысится в 1,3 раза, а расходы тепла

и воздуха во столько же раз понизятся. В то же время, при полной (естественно, более дорогой) реконструкции производительность можно было бы повысить в 1,6 раза, а расход ресурсов понизить в 1,14 раза.

Реконструкция зерносушилки М-819 с использованием универсального топочного агрегата и другого периферийного оборудования

Промышленность Республики Беларусь в настоящее время имеет возможность поставить сельскому хозяйству топочный агрегат, работающий как на жидком топливе или газе, так и на местном твердом. Характеристики топок, наиболее подходящих для замены изношенных в М-819, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики современных топочных агрегатов отечественного производства

| Характеристики | Наименование топки | | | |
|---|--|--|--------------------|---------------------|
| | ВУ-Т-1,5 | ВУ-Т(Ж,Г)-2,0 | АТ-2,0 | РВТ-3200 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Изготовитель | ООО «Амкадор-Можа»; ОАО «Мозырьсельмаш» | ООО «Амкадор-Можа»; ОАО «Мозырьсельмаш» | ОАО «Брестсельмаш» | ОАО «Мозырьсельмаш» |
| Тип | топка с теплообменником | | | |
| Рабочее положение | горизонтальное | горизонтальное | горизонтальное | горизонтальное |
| Вид топлива | твердое (дрова) | жидкое, газ | жидкое, газ | жидкое, газ |
| Расход топлива, кг/ч | до 500 | до 200 | до 230 | до 400 |
| Продуцируемый интервал температур нагретого воздуха, °С | до 120 | до 120 | до 120 | до 120 |
| Теплопроизводительность, МВт | до 1,5 | до 2,0 | до 2,0 | до 3,2 |
| Объемная подача нагретого воздуха, м ³ /ч | до 65000 | до 65000 | до 54000 | до 129000 |
| Установленная электрическая мощность, кВт | 61 | 62,5 | 60 | 55 |
| Масса, кг (не более) | 14720 | 14960 | 5000 | 8500 |
| Габаритные размеры, мм | | | | |
| длина | 10200 | 10200 | 8200 | 8450 |
| ширина | 3240 | 3240 | 2400 | 3380 |
| высота | 2650 | 2650 | 2400 | 5980 |

Для целей рекомендуемого способа реконструкции наиболее приемлемым будет универсальный воздухонагреватель ВУ-Т (Ж, Г)-2,0 тепловой мощностью от 1,5 до 2,0 МВт, работающий на дровах, газе или жидком топливе. Предпочтение в использовании той или иной модификации воздухонагревателя должно исходить от потребителя в зависимости от располагаемого наличия указанных видов топлива.

Повышение топливно-энергетической эффективности сушилки за счет повышения эффективности предварительной очистки зернового вороха

Эффективность применения предварительной очистки определяется при прочих равных условиях тем, насколько полно из зернового вороха удалены примеси и каким образом этот процесс оказывает влияние на сушку.

Сначала выясним, какое количество топлива расходуется при сушке зернового вороха на примеси, входящие в его состав. Для этого воспользуемся данными испытаний зерносушилок [1], [2], [3] и градацией характеристик зернового вороха, поступающего на сушку с поля от комбайнов (по многолетним данным, приведенным в табл. 3).

Таблица 3. Обобщенные характеристики зернового вороха

| Характеристики | Средние значения характеристик вороха, распределенные по градациям влажности зерна | | |
|---------------------|--|---------------------|--------------------|
| | сухого (до 17%) | влажного (17 – 20%) | сырого (более 20%) |
| Содержание, % зерна | 97,2 | 94,9 | 92,3 |
| примесей | 2,8 | 5,2 | 7,7 |
| Влажность, % зерна | 16,9 | 19,9 | 23,0 |
| примесей | 17,7 | 32,8 | 48,1 |

Необходимо отметить, что, чем суше ворох, тем меньше в нем примесей и меньше их влажность. Поэтому наибольший эффект от предварительной очистки следует ожидать при доработке сырого вороха.

Расчет проведем на примере, касающемся доработки именно такого материала.

Пусть (в среднем):

- содержание зерна в исходном ворохе (чистота) – 92,3%;

- влажность зерна – 23,0%;

- содержание примесей – 7,7%;

- влажность примесей – 48,1%;

- полнота выделения примесей (машиной ОЗЦ-50А) – 60,7%,

тогда удалено примесей, %

$$7,7 \cdot 0,607 = 4,7,$$

а осталось примесей в ворохе, %

$$7,7 - 4,7 = 3,0.$$

Масса исходного вороха, оставшегося после очистки и переходящего на сушку, %

$$92,3 + 3,0 = 95,3.$$

Масса вороха после удаления части примесей изменилась. Поэтому и его новый состав будет иным:

$$\left(\frac{92,3}{95,3} + \frac{3,0}{95,3} \right) = 0,9685 + 0,0315 = 1,$$

т.е. в очищенном ворохе новое содержание компонентов составит:

- зерна – 96,85%;

- примесей – 3,15%.

Далее естественным будет предположить, что затраты тепла на сушку очищенного вороха определяются теплоемкостью и содержанием его компонентов. Согласно теории зерносушения [4] теплоемкость зерна зависит от его влажности и в данном случае равна

$$C_3 = \frac{0,37(100 - 23) + 1 \cdot 23}{100} = 0,51 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

Аналогично примесей

$$C_n = \frac{0,52(100 - 48,1) + 1 \cdot 48,1}{100} = 0,75 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}},$$

где 0,37 и 0,52 ккал/кг·град – теплоемкость сухого вещества, соответственно зерна и примесей
 $1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ – теплоемкость воды.

Тогда, в среднем, теплоемкость высушиваемого очищенного вороха будет:

$$0,51 \cdot 0,9685 + 0,0315 \cdot 0,75 =$$

$$= 0,4939 + 0,0236 = 0,5175 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

Или в процентах по компонентам вороха:

- зерна 95,44;

- примесей 4,56.

Допускаем, что в таком же соотношении распределяются и затраты топлива в целом на сушку. Тогда, из 5,9 кг/пл.т жидкого топлива [3], израсходованного на сушку сырого вороха, $5,9 \cdot 0,9544 = 5,63$ кг/пл.т пошло на сушку собственно зерна и $5,9 \cdot 0,0456 = 0,27$ кг/пл.т – на сушку неотделенных примесей, что в расчете на 1% засоренности подработанного, направляемого на сушку вороха, составляет: $0,27 : 3,15 = 0,0857$ кг/пл.т.

В итоге получаем, что при плановой наработке зерноочистительных машин 400 часов в год, производительности машины предварительной очистки ОЗЦ-50А – 50 т/ч и количестве удаляемых ею примесей 3,85%, экономия жидкого топлива при доработке сырого зернового вороха составит:

$$400 \cdot 50 \cdot 1,31 \cdot 0,0857 \cdot 3,85 = 8645 \text{ кг (в литрах – } 8645 \cdot 1,13 = 9769 \text{)}.$$

Стоимость его – $9769 \cdot 1989 = 19430541$ руб. за один сезон работы. Здесь 1,31 – коэффициент перевода физической массы зерна в плановые тонны (при влажности 23% – до сушки и кондиционной 14% – после).

При цене машины 27000000 руб. в 2008 г. ее окупаемость по топливу не превысит
 $27000000 : 19430541 = 1,4$ г.

Если принять соотношение затрат электрической энергии таким же, то из 4,15 кВт ч/пл.т, израсходованных на сушку сырого вороха,

$4,15 \cdot 0,9544 = 3,96$ кВт·ч/пл.т пошло на сушку зерна и

$4,15 \cdot 0,0456 = 0,19$ кВт·ч/пл.т – на сушку при-
месей, что в расчете на 1% засоренности подработанного, направляемого на сушку вороха составило:

$$0,19 : 3,15 = 0,06$$
кВт·ч/пл.т.

В итоге получаем, что на сушке такого вороха экономия электрической энергии составит:

$400 \cdot 50 \cdot 1,31 \cdot 0,06 \cdot 3,85 = 6052$ кВт·ч за один сезон работы.

Из этого числа вычитаем количество израсходованной электрической энергии собственно машиной предварительной очистки ОЗЦ-50А, установленная мощность которой составляет 8,45 кВт

$$6052 - 8,45 \cdot 400 \cdot 0,7 = 3686$$
кВт·ч.

Тогда экономия электрической энергии на предварительную очистку и сушку сырого вороха составит 3686 кВт·ч за сезон на сумму:

$$3686 \cdot 219,4 = 808708$$
руб.

В целом по процессу доработки и сушки годовая экономия топливно-энергетических ресурсов за счет предварительной очистки сырого вороха составит в сумме:

$$19430541 + 808708 = 20239249$$
руб.

Объемы экономии топлива за сезон от предварительной очистки зерна, в зависимости от погодных условий, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Эффективность предварительной очистки

| Характеристика вороха и года | Экономия топлива за счет применения предварительной очистки зерна, тонна за сезон |
|------------------------------|---|
| Сухой | 1,33 |
| Влажный | 3,67 |
| Сырой | 8,64 |

Аналогичный подход применен в расчетах годовой топливно-энергетической эффективности машины ОЗЦ-50А при доработке сухого и влажного вороха.

Если учесть, что сухие годы случаются в 10%, влажные – в 50%, а сырые – в 40% времени (оценка), то экономия топлива в среднем за сезон составит:

$\approx (1,33 \cdot 0,1 + 3,67 \cdot 0,5 + 8,64 \cdot 0,4) = 5,43$ т на сумму:

$$5430 \cdot 1,13 \cdot 1989 = 12204305$$
 руб.,

а окупаемость по топливу составит:
 $27000000 : 12204305 = 2,2$ г.

Выводы

1. Зерносушилка М-819 содержит весомые резервы как в повышении производительности, потреблении энергоресурсов, так и в прочности конструкции. Поэтому восстановление и реконструкция сушилки возможны и целесообразны.

2. Работы по восстановлению работоспособности сушилки должны осуществляться по следующим направлениям:

- полная реконструкция, включающая замену основных узлов и агрегатов (сушильной колонны, теплогенератора, вентиляторов, норий, электрооборудования) и переключение емкости охладителя на сушку с переносом функции охлаждения в автономный бункер-охладитель;

- восстановление (ремонт) агрегатов с доведением параметров агрегатов до первоначальных и включением емкости охладителя на сушку с передачей функции охладителя в автономный бункер;
- простое восстановление.

3. Наиболее приемлемым вариантом повышения производительности зерносушилки, с учетом эффективного использования ресурсов, является вариант, когда зона сушки увеличивается за счет охладителя, а остальные параметры (тепловая мощность и подача нагретого воздуха) остаются неизменными, как наиболее доступный и менее затратный.

4. С целью повышения эффективности сушки необходимо сушить зерно, поступающее от комбайнов, только предварительно очищенным.

5. Реконструируемые зерносушилки должны оснащаться наиболее эффективным периферийным оборудованием (приемно-подающим, нориями, машинами предварительной и первичной очистки, бункерами-накопителями-охладителями, современными хранилищами зерна) с целью превращения их в эффективные зерноочистительно-сушильные комплексы производительностью до 30 пл. т/час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол №7-81-80 государственных испытаний зерновой шахтной сушилки М-819. – Западная МИС, 1980.

2. Протокол №135-99 приемочных испытаний опытного образца сушилки зерновой колонковой СЗК-8-1. – Бел. МИС, 1999.

3. Протокол №80-2001 приемочных испытаний опытного образца зерносушилки стационарной модульной шахтной СЗШР-16. – Бел. МИС, 2001.

4. Малин, Н.И. Справочник по сушке зерна/ Н.И. Малин.– М.:Агропромиздат, 1986.