

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 функции 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 таковых в реконструированной сушилке М-819 будет осуществлен перевод в зону сушки охладителя зерна с выносом его функции 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:

– тепла $2100:20 = 105$ кВт·ч;

– теплоносителя $78133:20 = 3907$ м³,

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	РМТ-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:

$$0,27 : 3,15 = 0,0857 \text{ кг/пл.т.}$$

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, норрии, 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, норриями, 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.