

УДК 631.365.22

И. Н. ШИЛО, В. П. ЧЕБОТАРЕВ, Е. И. МИХАЙЛОВСКИЙ, И. В. БАРАНОВСКИЙ

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОСУШИЛКИ М-819

Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства

(Поступила в редакцию 15.04.2009)

Введение. Сушка является наиболее надежным способом долгосрочного консервирования сельскохозяйственных продуктов. В то же время это один из наиболее энергоресурсоемких процессов в сельскохозяйственном производстве. Так, на сушку зерна приходится около 30–40% расхода топлива, 15–20% расхода металла и около 10% трудозатрат при его производстве в республике. 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 при послеуборочной обработке зерна являются следствием технологического несовершенства и физической изношенности применяемых машин и оборудования, поскольку средний срок службы значительной части комплексов для очистки и сушки зерна в сельскохозяйственных предприятиях превысил 15 лет. Из-за этих причин в хозяйствах увеличиваются сроки уборки урожая и республика ежегодно теряет 0,5–1,0 млн т зерна.

Замена изношенного оборудования требует крупных единовременных затрат, поэтому наряду с заменой отработавших свой ресурс зерносушилок путем строительства новых зерноочистительно-сушильных комплексов важно проводить и реконструкцию существующего зерносушильного хозяйства.

К такому сушильному оборудованию, требующему незамедлительной реконструкции, относятся зерносушилки польского производства М-819 производительностью 20 т/ч, которые начали поставляться в нашу страну более 25 лет назад. Их парк в настоящее время насчитывает свыше 1100 ед.

Резервы продления срока эксплуатации зерносушилки. Начиная с 1979 г. в республику было поставлено примерно 1600 зерносушилок М-819 польской фирмы «Рофама». Машин оказались надежными и приспособленными к условиям Беларуси. Прошло уже более 25 лет (т. е. 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 наработка составляет около 2275 т, тогда как ближайшая по классу зерносушилка СЗШ-16 (и зерноочистительно-сушильные комплексы на их основе) обеспечивает только 1780 т.

Большим достоинством зерносушилки М-819 является и то, что, несмотря на столь продолжительный срок эксплуатации, ее технологические параметры остаются практически неизменными, особенно параметры, определяющие качество сушки: неравномерность сушки ($\pm 1,8\%$), механические и тепловые повреждения зерна (в среднем 0,16%).

И все же срок эксплуатации не беспределен. В последнее время резко обозначились признаки механического и коррозионного износа. Этот процесс усугубляется из-за недостатка запчастей и отсутствия должного профессионального ремонта и обслуживания. Ускоренный выход из строя более 30% наличного потенциала зерносушилок может существенно отразиться на объемах и качестве собранного урожая, поэтому необходимо обеспечить эффективные меры по поддержанию работоспособности и продлению срока службы имеющихся в хозяйствах 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:

агрегат топочный – 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;

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

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

Результаты обследования позволяют сделать вывод, 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 сушилок целесообразно проработать возможности повышения эффективности их функционирования. Приведенный анализ состояния машин показывает, что это возможно. Резервы этого направления следующие: повышение емкости сушильной камеры за счет включения в зону сушки охладителя зерна с выносом его функций в отдельный автономный бункер-охладитель; переоснащение (дооснащение до нормы) реконструированной зерносушилки современными топочными агрегатами тепловой мощностью до 2,0 МВт и вентиляторами производительностью до 30 тыс. м³/ч.

Повышение производительности зерносушилки путем включения в зону сушки охладителя зерна с выносом его функций в автономный бункер-охладитель. Оптимальным способом повышения производительности зерносушилок является увеличение параметров (зоны сушки) за счет использования имеющихся резервов в их конструкции. В качестве одного из таковых в зерносушилке М–819 должен быть перевод в зону сушки зоны охладителя зерна с выносом его функций в автономный бункер-охладитель. Этот способ часто используют зарубежные фирмы «Petkus Wuta» и «Riela» (Германия), «Lau» (Франция), «Agał» (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.

Зерносушилка 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 зерносушилки составляет $TN = 2,1$ МВт, а расход отработавшего теплоносителя (с остаточной температурой $T = 34$ °С) – $L = 78133$ м³/ч и зерновая вместимость зоны сушки – 34,2 м³. Эти параметры обеспечивают зерносушилке М–819 расчетную производительность 20 пл. т/ч.

Если исходить из того, что удельные значения (в расчете на 1 пл. т производительности) указанных параметров сохранить неизменными, то количество тепла, приходящегося на одну сушильную секцию, должно составить 0,105 МВт (2,1 : 20), а количество теплоносителя – 3907 м³/ч (78133 : 20).

При реконструкции в сушильную камеру добавляется восемь секций, следовательно, тепловая мощность реконструируемой зерносушилки должна увеличиться до 2,94 МВт ($N_T = 2,1 + 0,105 \cdot 8$), а расход теплоносителя – до 109389 м³/ч ($L = 78133 + 3907 \cdot 8$), т. е. в среднем каждый из четырех вентиляторов зерносушилки должен вытягивать 27347 м³/ч (109389:4) отработавшего теплоносителя, что на 14% больше их номинальных значений (24000 м³/ч).

Введение в зону сушки дополнительно восьми секций увеличивает емкость зерносушилки до 48 м³ ($V_z = (20+8) \cdot 1,71$). Следовательно, при таких значениях параметров N_T , L и V_z можно рассчитывать на производительность реконструированной зерносушилки 32 пл. т/ч ($Q = -1,9156 + 0,0070 \cdot N_T + 2,5235 \cdot 10^{-5} \cdot L + 0,2245 \cdot V_z = -1,9156 + 0,0070 \cdot 2940 + 2,5235 \cdot 10^{-5} \cdot 109389 + 0,2245 \cdot 48$). Таким образом, полная реконструкция зерносушилки 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%) от 20 до 32 пл. т/ч. Кроме того, автономный охладитель дополнительно повысит производительность не менее чем на 0,2 пл. т/ч.

Если зерносушилка М–819 в среднем на 1 пл. т/ч производительности затрачивает 105 кВт·ч (2100:20) тепла, а теплоносителя – 3907 м³ (78133:20), то реконструируемая потребует 91,88 кВт·ч (2940:32) тепла и 3418 м³ (109389:32) теплоносителя.

Таким образом, наряду с повышением производительности реконструкция зерносушилки позволяет уменьшить расход ресурсов сушки в среднем на 10–14%.

Полная реконструкция потребует немалых средств (не менее 30% балансовой стоимости М–819), поэтому для практической реализации будет приемлем 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 – от 34,2 до 48 м³. Такое изменение мало затратно и может быть выполнено оперативно.

В этом случае ожидаемая расчетная производительность восстановленной зерносушилки будет составлять 25,5 пл. т/ч ($Q = -1,9156 + 0,0070 \cdot 2100 + 2,5235 \cdot 10^{-5} \cdot 78133 + 0,2245 \cdot 8$). При этом на 1 пл. т/ч производительности будет израсходовано 82,3 кВт·ч (2100:25,5) тепла и 3064 м³ (78133:25,5) теплоносителя. Следовательно, этот вариант наиболее экономичен в расходовании ресурсов сушки (табл. 1).

Таблица 1. Варианты повышения производительности зерносушилки

Параметры	Контроль (до реконструкции)	I (простое восстановление)	II (охладитель переключен на сушку)	III (охладитель переключен на сушку и полная реконструкция)
Производительность, т/ч	20,0	20,0	25,5	32,0
Тепловая мощность, МВт	2,1	2,1	2,1	2,9
Подача нагретого воздуха, м ³ /ч	78130	78130	78130	109390
Емкость сушильной камеры, м ³	34,2	34,2	48,0	48,0
Удельные расходы:				
тепла, кВт/пл. т	105,0	105,0	82,8	92,2
нагретого воздуха, м ³ /пл. т	3907	3907	3064	3418

Таким образом, наиболее эффективное использование ресурсов ожидается во II 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 повысить в 1,6 раза, а расход ресурсов понизить в 1,14 раза.

Реконструкция зерносушилки с использованием универсального воздушонагревателя и другого периферийного оборудования. Промышленность республики в настоящее время имеет возможность поставить сельскому хозяйству воздушонагреватель, работающий как на жидком топливе или газе, так и на местном твердом топливе. Параметры воздушонагревателей, наиболее подходящих для замены изношенных в зерносушилке М–819, приведены в табл. 2.

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

Т а б л и ц а 2. **Параметры современных воздушонагревателей отечественного производства**

Параметры	ВУ-Т-1,5	ВУ-Т(Ж, Г)-2,0	АТ-2,0
Изготовитель	ООО «Амкадор-Можа», ОАО «Мозырьсельмаш»	ООО «Амкадор-Можа», ОАО «Мозырьсельмаш»	ОАО «Брестсельмаш»
Тип	Топка с теплообменником		
Рабочее положение	Горизонтальное		
Вид топлива	Твердое (дрова)	Жидкое, газ	Жидкое, газ
Расход топлива, кг/ч	До 500	До 200	До 230
Продуцируемый интервал температур нагретого воздуха, °С	До 120	До 120	До 120
Теплопроизводительность, МВт	До 1,5	До 2,0	До 2,0
Объемная подача нагретого воздуха, м³/ч	До 65000	До 65000	До 54000
Установленная электрическая мощность, кВт	61	62,5	60
Масса, кг не более	14720	14960	5000
Габаритные размеры, мм:			
длина	10200	10200	8200
ширина	3240	3240	2400
высота	2650	2650	2400

Снижение затрат топлива и электрической энергии зерносушилки 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 [1–3] и градацией характеристик зернового вороха, поступающего на сушку с поля от комбайнов (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. **Обобщенные характеристики зернового вороха, %**

Показатель	Средние значения, 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 зерновой 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.

Пример. Пусть (в среднем): содержание зерна в исходном ворохе (чистота) – 92,3%, влажность зерна – 23,0%, содержание примесей – 7,7%, влажность примесей – 48,1% и полнота выделения примесей машиной предварительной очистки зерна ОЗЦ–50А – 60,7%.

Тогда, удалено примесей 4,7% (7,7·0,607), а осталось 3,0% (7,7–4,7). Масса исходного вороха, оставшегося после очистки и переходящего на сушку, составит 95,3% (92,3+3,0). 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 содержание компонентов изменится и составит: зерна – 96,85, примесей – 3,15%.

Далее предполагаем, что затраты тепла на сушку очищенного вороха определяются теплоемкостью и содержанием его компонентов. Согласно [4], рассчитаем теплоемкость зерна:

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

Аналогично примесей:

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

где 0,37 и 0,52 – теплоемкость сухого вещества, соответственно зерна и примесей, ккал/кг·град

Тогда средняя теплоемкость высушиваемого очищенного вороха:

$$C = 0,51 \cdot 0,9685 + 0,0315 \cdot 0,75 = 0,4939 + 0,0236 = 0,5175 \text{ ккал/кг·град.}$$

Или по компонентам вороха: зерна – 95,44 и 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, израсходованного на сушку сырого вороха [3], 5,63 кг/пл. т (5,9·0,9544) пошло на сушку собственно зерна и 0,27 кг/пл. т (5,9·0,0456) – на сушку неотделенных примесей, что в расчете на 1% засоренности, направляемого на сушку вороха составляет 0,0857кг/пл. т (0,27:3,15).

Тогда при плановой наработке зерноочистительных машин 400 ч в год производительности машины предварительной очистки зерна ОЗЦ–50А 50 т/ч и количестве удаляемых ею примесей 3,85% экономия жидкого топлива при доработке сырого зернового вороха составит 8645 кг (400·50·1,31·0,0857:3,85), или 9769 л (8645·1,13), стоимость которого составит – 19430541 (9769·1989) руб. за один сезон работы. Здесь 1,31 – коэффициент перевода физической массы зерна в плановые тонны (при снижении влажности от 23 до 14%).

При цене машины 27 млн руб. в 2008 г. ее окупаемость по топливу не превысит 1,4 года (27000000:19430541).

Если принять соотношение затрат электрической энергии таким же, то из 4,15 кВт·ч/пл. т, израсходованных на сушку сырого вороха, 3,96 кВт·ч/пл. т (4,15·0,9544) пошло на сушку зерна и 0,19 кВт·ч/пл. т (4,15·0,0456) – на сушку примесей, что в расчете на 1% засоренности подработанного, направляемого на сушку вороха составило 0,06 кВт·ч/пл. т (0,19 : 3,15). Тогда на сушке такого зернового вороха экономия электрической энергии составит 6052 кВт·ч (400·50·1,31·0,06·3,85) за сезон работы.

Если не учитывать количество израсходованной электрической энергии собственно машиной предварительной очистки ОЗЦ–50А, установленная мощность которой составляет 8,45 кВт, то экономия электрической энергии на предварительную очистку и сушку сырого вороха составит 3686 кВт·ч (6052–8,45·400·0,7) за сезон на сумму 808708 руб. (3686·219,4).

В целом по процессу доработки и сушки годовая экономия топливно-энергетических ресурсов за счет предварительной очистки сырого вороха составит 20239249 руб. (19430541+808708). Объемы экономии топлива за сезон от предварительной очистки зерна, в зависимости от погодных условий, будут следующими: сухой год – 1,33, влажный год – 3,67, сырой год – 8,64 т за сезон.

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 примерно 5,43 т ($1,33 \cdot 0,1 + 3,67 \cdot 0,5 + 8,64 \cdot 0,4$) на сумму 12204305 руб. ($5430 \cdot 1,13 \cdot 1989$), а окупаемость по топливу – 2,2 года ($27000000:12204305$).

Заключение. Восстановление и реконструкция зерносушилки М–819 имеет значительные резервы как в повышении производительности, потреблении энергоресурсов, так и в прочности конструкции.

Работы по восстановлению работоспособности сушилки должны осуществляться по следующим направлениям:

полная реконструкция, включающая замену основных узлов и агрегатов (сушильной колонны, теплогенератора, вентиляторов, нории, 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.

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

С целью повышения эффективности сушки, дополнительно к мерам по восстановлению и реконструкции зерносушилки М–819, следует сушить зерно только предварительно очищенное.

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/ч.

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. М а л и н, Н. И. Справочник по сушке зерна / Н. И. Малин. – М.: Агропромиздат, 1986.

I. N. SHILO, V. P. CHEBOTAREV, E. I. MIHAYLOVSKI

THE WAYS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF A GRAIN DRYER M–819

Summary

The article presents the prolongation reserves of the operation life of grain dryers M–819. The possibility and the method of increasing the productivity by placing into the dryer zone a grain cooler with its functions in the autonomous bunker-cooler are stated. Variants of replacement of an air heater of the grain dryer and also the possibility of reducing fuel expenditures and electric energy due to increasing efficiency of preliminary grain clearing are proposed.