



## Определение производительности модулей нового универсального сушильного агрегата

Артем Сергеевич Ключников,  
инженер, e-mail: artik8487@mail.ru

Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ярославль, Российская Федерация

**Реферат.** Сушка семенного материала занимает важное место в системе его послеуборочной обработки и в значительной степени влияет на урожайные качества посевного материала. (*Цель исследования*) Определение производительности двух модулей новой сушилки с учетом статистических характеристик влажности, засоренности и интенсивности поступления на послеуборочную обработку зернового вороха различных культур. (*Материалы и методы*) Провели испытания мини-модуля новой универсальной сушилки, разработанного в мастерских Ярославской государственной сельскохозяйственной академии, в Большесельском районе Ярославской области. За основу расчета взяты данные среднестатистического областного хозяйства. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что средний статистический процент влагосъема у исходного зернового вороха составил 10,52 процента; валовой сбор зерна за год – 1500 тонн; расчетная производительность по высушенному семенному материалу у базового модуля равна 5 тонн в час, у мини-модуля – 0,35 тонны в час. С участием Ярославской ГСХА в поточные линии послеуборочной обработки урожая внедрены полностью механизированные приемные отделения с аэрожелобами, вмещающие 300 или 600 кубических метров зернового вороха, поступающего от комбайнов. Расчет эффективности мини-модуля обусловлен необходимостью использования его в хозяйствах для самостоятельного обеспечения высококачественным посевным материалом. (*Выводы*) Подтвердили обоснованность расчетов и эффективность нового способа сушки. В неблагоприятную погоду урожай зерновых культур убирали кормоуборочным комбайном, сушили в мини-модуле. После обработки получили высококачественные семена, всхожесть которых составила 98-99 процентов.

**Ключевые слова:** сушка, производительность, универсальная сушилка.

■ **Для цитирования:** Ключников А.С. Определение производительности модулей нового универсального сушильного агрегата // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №5. С. 44-48. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-5-44-48.

## Performance Determination of New Universal Dryer Models

Artem S. Klyuchnikov,  
engineer, e-mail: artik8487@mail.ru

Yaroslavl State Agricultural Academy, Yaroslavl, Russian Federation

**Abstract.** Drying of seed material plays an important part in the system of post-harvest processing and greatly affects the yield quality of the seed material. (*Research purpose*) Determination of the performance of two modules of a new dryer, taking into account the statistical characteristics of humidity, impurity content and the intensity of submitting the grain heap of various crops to post-harvest processing. (*Materials and methods*) The research group has tested a mini-module of a new universal dryer developed in the laboratory workshops of Yaroslavl State Agricultural Academy, in the Bolshoye Selo district of the Yaroslavl region. The calculation has been based on the data of the average regional farm. (*Results and discussion*) It has been determined that the average statistical percentage of moisture removal from the original grain heap was 10.52 percent; gross grain harvest per year – 1,500 tons; the estimated capacity by the dried seed material of the base module is 5 tons per hour, that of the mini module - 0.35 tons per hour. Due to the contribution of Yaroslavl State Agricultural Academy, fully mechanized receiving chambers with air chutes accommodating 300 or 600 cubic meters of heap coming from combines have been introduced into the production lines of post-harvest processing of the crop material. The efficiency calculation of the mini-module has been caused by the need to use it on the farms for the independent supply of high-quality seed material. (*Conclusions*) The experiment results have confirmed the validity of the calculations and the effectiveness of the new method of drying. In unfavorable weather, grain crops were harvested by a forage harvester and then dried in a mini-module. After processing, high-quality seeds were obtained, the germination rate of which accounted 98-99 percent.

**Keywords:** drying, performance, universal dryer.

■ **For citation:** Klyuchnikov A.S. Determination of the performance of new universal dryer modules. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(5). 44-48. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-5-44-48. (In Russian).

Сушка семенного материала занимает важное место в системе его послеуборочной обработки и в значительной степени влияет на урожайные качества посевного материала. Провели расчет производительности двух модулей новой универсальной сушилки, основанный на статистических характеристиках влажности, засоренности и интенсивности поступления зернового вороха на послеуборочную обработку, в условиях различных хозяйств Ярославской области.

Рассмотрели усовершенствованную, низкотемпературную, трехэтапную, конвективную технологию сушки, а также, наметили на перспективу рост производства и урожайности зерна. За основу взяли два модуля – базовый и мини-вариант. Базовый производственный модуль использовали в среднестатистическом сеющем хозяйстве, в котором уборочная площадь на зерно составляет 600 га. Производительность сушильного отделения конкретного хозяйства обеспечивают изменением количества работающих базовых модулей, которые в любых природно-климатических условиях гарантируют получение высококачественных семян. Использование мини-модуля запланировано на сушке урожая семенных масс первых репродукций, получаемых из небольших партий закупленных элитных семян всех культур, посеянных в хозяйстве.

**Цель исследования** – определение производительности двух модулей новой сушилки с учетом статистических характеристик влажности, засоренности и интенсивности поступления на послеуборочную обработку зернового вороха различных культур. По результатам этих расчетов разработана техническая документация и изготовлен опытный образец макета мини-модуля сушилки.

**Материалы и методы.** Работа выполнена при поддержке гранта, выданного Фондом содействия инновациям, на основе патента номер АААА-Б-217011720078-0. В 2017 г. проведено испытание мини-модуля новой универсальной сушилки на базе филиала ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» в Большесельском районе Ярославской области. Результаты испытания подтвердили наши расчеты [2-4].

**Результаты и обсуждение.** Проведенное лабораторное исследование подтвердило эффективность работы новой конструкции универсальной сушилки и применения улучшенной технологии низкотемпературной, трехэтапной, конвективной сушки [1-3]. Возникла необходимость провести расчеты

производительности новых сушильных камер в условиях среднестатистического зерносеющего хозяйства Ярославской области.

Мини-модуль должен участвовать в сушке семенных масс первой репродукции всех имеющихся в хозяйстве культур, посеянных небольшими партиями элитных семян, закупленных для сортосмены или сортообновления.

Расчеты производительности модулей сушилок должны учитывать основные меняющиеся статистические характеристики разных полевых культур по влажности, засоренности и интенсивности поступления урожая от уборочной техники на послеуборочную обработку [5]. Наша сушилка – универсальная, но расчет ее производительности проведен по урожаю зерновых культур. Производительность сушилки по другим высушиваемым материалам решено определять экспериментально.

Количественные и качественные показатели потока зернового вороха зависят от многих факторов: уровня агротехники, почвенно-климатических условий, температуры и влажности воздуха, количества осадков, продолжительности росы, продолжительности работы в течение суток, тщательности регулировок комбайна, спелости хлебов и других. Эти обстоятельства изменяются как в течение суток, так и во время сезона уборки. Значения влияющих факторов выбраны нами по опубликованным данным, а также по результатам нашего исследования [6-8].

Если рассматривать влажность  $\omega$  и засоренность  $s$  как систему двух случайных величин, каждая из которых распределена нормально, то их плотность распределения можно выразить уравнением:

$$f(\omega, s) = \frac{1}{2\pi \sigma_\omega \sigma_s \sqrt{1-r^2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[ \frac{(\omega - m_\omega)^2}{\sigma_\omega^2} - \frac{2r(\omega - m_\omega)(s - m_s) + (s - m_s)^2}{\sigma_\omega \sigma_s} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $f(\omega; s)$  – плотность распределения влажности  $\omega$  и засоренности  $s$  зернового вороха;  $m_\omega$  – математическое ожидание влажности вороха;  $m_s$  – математическое ожидание засоренности вороха;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $r$  – коэффициент корреляции [9].

По экспериментальным данным обобщенный закон распределения влажности  $\omega$  и засоренности

с зернового вороха можно описать уравнением плотности распределения вида:

$$f(\omega; s) = \frac{1}{2\pi \cdot 4,47 \cdot 2,00 \sqrt{1-0,20^2}} \exp \times \left\{ -\frac{1}{2,00 \cdot (1-0,20^2)} \left[ \frac{(\omega-23,88)^2}{4,47^2} - \frac{2 \cdot 0,20(\omega-23,88)(s-3,03)}{4,47 \cdot 2,00} + \frac{(s-3,03)^2}{2,00^2} \right] \right\}. \quad (2)$$

В условиях Ярославской области поступающий от комбайна зерновой ворох характеризуется неравномерностью по влажности и засоренности. Ворох представляет собой механическую смесь различных компонентов. В зависимости от засоренности полей, погоды и качества работы комбайна содержание зерна основной культуры колебалось в пределах 75-98%. Стебли и листья основной культуры и сорняков; семена и соцветия сорных трав и культурных растений; комочки почвы; насекомые в различных стадиях развития; микроорганизмы составляют примеси зернового вороха. Наличие зеленых частей растений, имеющих, как правило, более высокую влажность, отрицательно сказываясь на сохранении зерна в ворохе до его обработки. Микрофлора (бактерии, плесневые грибы, актиномицеты), содержащаяся на зерновках и других компонентах вороха, также оказывала негативное воздействие на его состояние и сохранность.

По результатам эксперимента среднее статистическое значение съема влаги у зернового вороха, требующего сушки, составило 10,52%.

Среднюю величину интенсивности потока зернового вороха  $G$ , поступающего от комбайнов на послеуборочную обработку, определяли из уравнения:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} T_i G_i}{\sum_{i=1}^{n_k} T_i}, \quad (3)$$

где  $G_i$  – производительность комбайна, т/ч зернового вороха;  $T_i$  – продолжительность работы комбайна в сутки, ч;  $n_k$  – число комбайнов.

Валовой сбор зерна за год в среднестатистическом хозяйстве Ярославской области равен 1500 т. Агротехнический срок уборки урожая зерновых составляет 20 сут. С участием Ярославской ГСХА в ряде хозяйств области внедрены полностью механизированные приемные отделения в виде наземных емкостей с аэрожелобами, которые вмещают 300 или 600 м<sup>3</sup> зернового вороха от комбайнов [9-12].

Эти емкости обеспечивали стабильную работу

машин и оборудования поточной линии и исключали неравномерное поступление урожая от комбайнов. Послеуборочную обработку проводили в две смены продолжительностью по 10 ч каждая при производительности 3,75 т/ч.

В расчетах для определения действительной производительности сушилки ( $P_c$ , т/ч) на конкретной культуре пользовались уравнением:

$$P_c = P_{c.p.} k_k k_n k_s k_t \frac{8,72}{(\omega_1 - 11,2)}, \quad (4)$$

где  $P_{c.p.}$  – расчетная производительность сушилки – 3,75 т/ч;  $k_k$  – коэффициент, учитывающий изменение производительности в зависимости от вида культуры;  $k_n$  – коэффициент, учитывающий изменение производительности сушилки от качества зерна. На сушке семян его принимают равным 0,6, но в нашем случае обоснованно выбран  $k_n = 1$ , так как у нас материал всегда сушат в оптимальном семенном режиме, который исключает реакцию Майнгарда;  $k_s$  – коэффициент, отражающий условия эксплуатации сушилки;  $k_t$  – коэффициент использования времени смены.

В зависимости от съема влаги производительность сушилки  $P_{c.в.}$  рассчитывают по формуле:

$$P_{c.в.} = W_{в.} \frac{100 - \omega_1}{\omega_1 - \omega_2} \quad (5)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – начальная и конечная влажность материала, %;

$W_{в.}$  – испарительная способность сушилки по влаге, кг/ч;

$W_{в.} = AV_c$ , где  $A$  – влагонапряженность сушильной камеры, кг/(м<sup>3</sup>·ч);

$V_c$  – объем сушильной камеры, м<sup>3</sup>.

Закон распределения производительности сушилки от  $W$  выбран с учетом научных данных и имеет вид:

$$q(P_c) = \frac{1}{P_c^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{K_c \cdot P_{c.в.}} \sigma_w \sqrt{2\pi}} \times \exp \left[ -\frac{\left( \frac{1}{P_c} - \frac{m_w}{K_c \cdot P_{c.в.}} \right)^2}{2\sigma_w^2 \left( \frac{1}{K_c \cdot P_{c.в.}} \right)^2} \right], \quad (6)$$

где  $q(P_c)$  – плотность распределения производительности сушилки;  $K_c$  – поправочный коэффициент, имеющий постоянную величину для конкретной конструкции сушилки [9].

С учетом увеличения урожайности культур и роста посевных площадей на перспективу у среднестатистического хозяйства выбрали производительность модуля сушильной камеры 5 т/ч по вы-

сушенной готовой продукции. Известно, что использование качественного семенного материала способствует увеличению урожайности зерновых культур в среднем на 25%. В Ярославской области несортowymi семенами засевают около половины площадей, что приводит к снижению валового сбора урожая. Поэтому каждому хозяйству следует самостоятельно обеспечивать себя высококачественным семенным материалом, для чего оно должно ежегодно покупать элитные семена для сортосмены или сортообновления.

У несемеководческого хозяйства, где под посев высококачественных сортовых семян зерновых культур первой, второй и третьей репродукций отведена площадь около 600 га, по нашим расчетам, ежегодно необходимо закупать порядка 1 т элитных семян на посевную площадь приблизительно 5 га. Высушенный нами среднестатистический урожай вороха семенной массы с этой площади составил около 12,5 т семян, что позволило получить в среднем 6,25 т отсортированных и очищенных семян первой репродукции, которыми засевают площадь в 24 га для получения семян второй репродукции. Почти 1 т семян первой репродукции остается в резервном фонде (это связано с колебаниями урожайности по годам). С 24 га получают 30 т высококачественных семян второй репродукции. Их высевают на площади в 120 га для получения 150 т первоклассных семян третьей репродукции, которые используют для посева на всей оставшейся площади под урожай фуражного зерна. Таким образом, любое хозяйство, имея собственный дешевый высококачественный семенной материал, может повысить валовой сбор урожая на 25%. Хозяйство должно иметь высококачественные семена всех полевых культур – зерновых, кормовых, зернобобовых и других. Сушку небольших партий семян первых репродукций необходимо проводить на отдельной сушилке. Рассчитываем за 36 ч высушить 12,5 т вороха семян разных зерновых культур. Поэтому производительность сушильной камеры мини-модуля составила 0,35 т/ч. Разработанный мини-модуль сушилки позволяет высушить ворох семенной массы первой репродукции всех остальных культур, имеющихся в хозяйстве, в установленные сроки в соответствии с агротехническим требованиями. В неблагоприятную погоду семенной урожай убирают кормоубо-

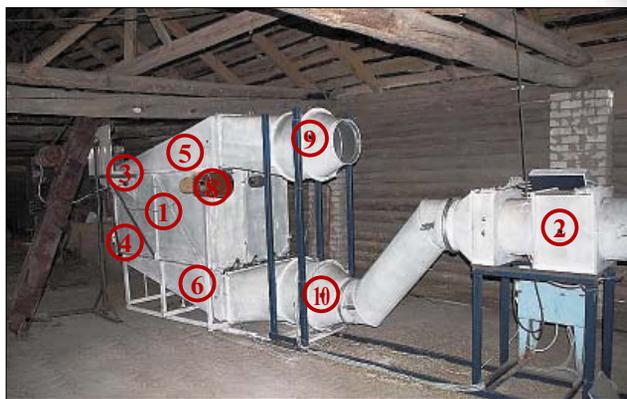


Рис. Мини-модуль универсальной сушилки:

1 – сушильная камера; 2 – электрический calorифер; 3 – загрузочный лоток; 4 – отгрузочный лоток; 5 – верхний диффузор; 6 – нижний диффузор; 7 – загрузочный транспортер; 8 – загрузочный шнек; 9 – нижний вентилятор; 10 – верхний вентилятор

Fig. Mini-module of a universal dryer:

1 – drying chamber; 2 – electric heater; 3 – intake tray; 4 – discharging tray; 5 – upper diffuser; 6 – lower diffuser; 7 – loading conveyor; 8 – intake auger; 9 – lower fan; 10 – upper fan

рочной техникой, а позднее сушат в мини-модуле и обрабатывают.

В 2017 г. мини-модуль сушилки (рис.), изготовленный по разработанной нами технической документации, прошел хозяйственные испытания [1]. Их результаты подтвердили обоснованность наших расчетов и эффективность энергосберегающего, улучшенного, низкотемпературного, трехэтапного, конвективного способа сушки, запатентованного нами.

### Выводы

В условиях Ярославской области для среднестатистического зерносеющего хозяйства производительность базового модуля новой универсальной сушилки по высушенному материалу составила 5 т/ч, а у мини-модуля – 0,35 т/ч.

Результаты хозяйственного исследования мини-модуля сушилки подтвердили обоснованность наших расчетов. В неблагоприятную погоду урожай зерновых культур убирали кормоуборочным комбайном. Измельченную хлебную массу сушили в мини-модуле и после этой обработки получили высококачественные семена, всхожесть которых составила 98-99%.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключников А.С. Технология сушки и конструктивные особенности новой универсальной сушилки // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. N1. С. 79-85.
2. Андрианов Н.М., Мэй Шунчи, Николаенок А.В., Ли Джен, Чен Джен. Задание начальных условий и стохастической составляющей математической модели процесса сушки зерновых сушилок // Ползуновский альма-

нах. 2014. N2. С. 30-35.

3. Галкин В.Д., Галкин А.Д., Галкин С.В., Менгалиев И.П. Математические модели нормализации зернового вороха по засоренности и влажности и технология его предварительной очистки и сушки // Пермский аграрный вестник. 2014. N3(7). С. 23-33.

4. Оробинский В.И., Шатохин И.В., Парфенов А.Г. Ка-

качественные показатели работы зерноочистительного агрегата // Лесотехнический журнал. 2014. N3. С. 256-262.

5. Капов С.Н., Шепелев С.Д. Повышение эффективности зерноуборочного и зерноочистительного процессов согласованием параметров их работы // Достижения науки техники АПК. 2010. N2. С. 76-78.

6. Liu Hui, Zhang Jili, Tang Xiaojian, Lu Yajun. Fuzzy control of mixed-flow grain dryer // *Drying Technology*. 2003. Vol. 21. pp. 807-819.

7. Istadi I., Sitompul J.P. A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying // *Drying Technology*. 2002. Vol. 20. 1123-1142.

8. Sitompul J.P., Sumardiono S. Modeling and simulation of momentum, heat, and mass transfer in a deep-bed grain dryer // *Drying Technology*. 2003. Vol. 21. pp. 217-229.

9. Киреев М.В., Григорьев С.М., Ковальчук Ю.К. По-

слеуборочная обработка зерна в хозяйствах. Л.: Колос. 1981. 224 с.

10. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Гиевский А.М., Мерчалова М.Э. Совершенствование средств механизации для получения качественного зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. N3. С. 109-115.

11. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Мерчалова М.Э., Сорокин Н.Н. Совершенствование технологии получения качественных семян и продовольственного зерна // Лесотехнический журнал. 2014. N1. С. 36-39.

12. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурс- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. N1. С. 2-9.

## REFERENCES

1. Klyuchnikov A.S. Tekhnologiya sushki i konstruktivnyye osobennosti novoy universal'noy sushilki [Drying technology and design features of a new universal dryer]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*. 2017. 1. 79-85. (In Russian).

2. Andrianov N.M., Mey Shunchi, Nikolayenok A.V., Lee Jen, Chen Jen. Zadaniye nachal'nykh usloviy i stokhasticheskoy sostavlyayushchey matematicheskoy modeli protsessa sushki zernovykh sushilok [Setting the initial conditions and the stochastic component of the mathematical model of the drying process of grain dryers]. *Polzunovskiy al'manakh*. 2014. 2. 30-35. (In Russian).

3. Galkin V.D., Galkin A.D., Galkin S.V., Mengaliyev I.P. Matematicheskiye modeli normalizatsii zernovogo vorokha po zasorenosti i vlazhnosti i tekhnologiya yego predvaritel'noy ochistki i sushki [Mathematical models of grain heap normalization by debris and humidity and the technology of its pre-cleaning and drying]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2014. 3(7). 23-33. (In Russian).

4. Orbinskiy V.I., Shatokhin I.V., Parfenov A.G. Kachestvennyye pokazateli raboty zernoochistitel'nogo agregata [Qualitative indicators of the operation of a grain cleaning unit]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2014. 3. 256-262. (In Russian).

5. Капов С.Н., Шепелев С.Д. Повышение эффективности зерноуборочного и зерноочистительного процессов согласованием параметров их работы [Improving the efficiency of grain harvesting and cleaning processes by coordinating their operating parameters]. *Dostizheniya nauki tekhniki APK*. 2010. 2. 76-78. (In Russian).

6. Liu Hui, Zhang Jili, Tang Xiaojian, Lu Yajun. Fuzzy control of mixed-flow grain dryer. *Drying Technology*. 2003.

Vol. 21. 807-819. (In English).

7. Istadi I., Sitompul J.P. A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying. *Drying Technology*. 2002. Vol. 20. 1123-1142. (In English).

8. Sitompul J.P., Sumardiono S. Modeling and simulation of momentum, heat, and mass transfer in a deep-bed grain dryer. *Drying Technology*. 2003. Vol. 21. 217-229. (In English).

9. Kireyev M.V., Grigor'yev S.M., Koval'chuk Yu.K. Posleuborochnaya obrabotka zerna v khozyaystvakh [Post-harvesting grain processing on farms]. Leningrad. Kolos. 1981. 224. (In Russian).

10. Tarasenko A.P., Orbinskiy V.I., Giyevskiy A.M., Merchalova M.E. Sovershenstvovaniye sredstv mekhanizatsii dlya polucheniya kachestvennogo zerna [Improving the mechanization means to obtain high-quality grain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. 3. 109-115. (In Russian).

11. Tarasenko A.P., Orbinskiy V.I., Merchalova M.E., Sorokin N.N. Sovershenstvovaniye tekhnologii polucheniya kachestvennykh semyan i prodovol'stvennogo zerna [Improving the technology of obtaining quality seeds and food grain]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2014. 1. 36-39. (In Russian).

12. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedreniye vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. 1. 2-9. (In Russian).

**Статья поступила в редакцию 23.03.2018**

**The paper was submitted to the Editorial Office on 23.03.2018**

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Статья принята к публикации 25.05.2018**

**The paper was accepted for publication on 25.05.2018**

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.