

**ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**

УДК 631.365.22

*А.П. Черныш, В.Н. Непочатой*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЪЕМА ВЛАГИ ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО АППАРАТА С ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ПО ОКРУЖНОЙ  
ТРАЕКТОРИИ ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ**

*А.Р. Chernysh, V.N. Nepochatoy*

**THE STUDY OF DEPENDENCE OF MOISTURE REMOVAL ON OPERATION MODES  
OF THE GRAIN-DRYER WITH FLUIDIZED BED MOVING ALONG A CIRCULAR TRAJECTORY**

**Черныш А.П.** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. технологии металлов и ремонта машин Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: [tmm@mail.ru](mailto:tmm@mail.ru)

**Непочатой В.Н.** – ст. преп. каф. эксплуатации и сервиса транспортных средств Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: [nepo4atoy@yandex.ru](mailto:nepo4atoy@yandex.ru)

**Chernysh A.P.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technology of Metals and Repair of Cars, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: [tmm@mail.ru](mailto:tmm@mail.ru)

**Nepochatoy V.N.** – Asst, Chair of Operation and Service of Vehicles, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: [nepo4atoy@yandex.ru](mailto:nepo4atoy@yandex.ru)

Целью данной работы являлось установление зависимости съема влаги от режимов работы зерносушилки с перемещающимся по окружной траектории псевдооживленным слоем зерна. Проведен анализ особенностей псевдооживленного слоя и сушки зерна пшеницы. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке в лаборатории кафедры «Технология металлов и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Кемеровский ГСХИ». Измерение скорости сушильного агента производилось с помощью частотного регулятора, измерение площади загрузочного отверстия – с помощью шиберной заслонки. Масса зерна измерялась электронными весами, время опустошения бункера – электронным секундомером. Скорость воздушного потока измерялась с помощью манометра дифференциального цифрового. Для исследований исполь-

зовалась яровая пшеница сорта Ирень. Начальная и конечная влажность зерна измерялась лабораторным влагомером ФАУНА МЛ. Эксперимент проводился в следующей последовательности: частотным преобразователем запускался вентилятор и устанавливалась скорость сушильного агента, равная  $V = 1,9; 2,2; 2,5; 2,8; 3,1$  м/с. Лабораторная установка разогревалась до температуры агента сушки  $t = 50^{\circ}\text{C}$ , затем в приемный бункер засыпалось зерно, предварительно взвешенное, после чего с помощью шиберной заслонки устанавливался зазор, соответствующий  $S = 10, 15, 20, 25, 30$  мм. Анализ экспериментальных данных показал, что чем больше начальная влажность зерна, тем выше съем влаги за один проход. При увеличении начальной влажности зерна на 1 % съем влаги при остальных прочих равных условиях увеличивается на 0,15 %.

Скорость сушильного агента не влияет на съём влаги за один проход. При увеличении зазора между шиберной заслонкой и рабочей поверхностью на 1 % съём влаги уменьшается на 0,77 %. Таким образом, оптимальным является минимальное значение  $S$  – 10 мм. При данном зазоре оптимальная скорость сушильного агента равна 1,9 м/с.

**Ключевые слова:** псевдооживление, зерносушилка, сушка зерна, сушильный агент.

*The goal of the research was to find out the dependence of moisture removal on the grain-dryer operation modes with fluidized grain bed moving along a circular trajectory. The peculiarities of the fluidized bed and wheat grain drying were analyzed. The experiments were conducted in the laboratory of the Department of metal technology and machinery repair in Kemerovo state agricultural institute. The speed change of the drying agent was done with the help of the frequency regulator; the change of the square of the feeding hole was done with the help of the slide gate. The grain weight was measured with the electronic balance; the bin emptying time was checked up with the electronic stopwatch. The air flow speed was measured with the help of the digital differential pressure gauge. Spring wheat of the variety "Iren" was used for the experiment. The initial and final grain moisture was measured with the laboratory moisture gauge FAUNA ML. The experiment was conducted in the following succession: the frequency converter started the blower and set the speed of the drying agent equal to  $V = 1,9; 2,2; 2,5; 2,8; 3,1$  m/s. The laboratory gauge was heated to the temperature of the drying agent  $50^\circ$  C, then the grain which was weighed beforehand was put into the bin, after that the clearance was equal to  $S = 10, 15, 20, 25, 30$  mm was set with the help of the slide gate. The analysis of the experimental data showed that the more the initial grain moisture was, the more the moisture removal in one pass was. Under the initial grain moisture increase by 1 % the moisture removal increases by 0.15 % with the rest conditions being equal. The drying agent speed doesn't affect the moisture removal in one pass. Under increasing the clearance between the slide gates and operating surface by 1 % the moisture removal decreases by 0.77 %. Thus, the optimum is the minimum value  $S$  is equal to 10 mm. Under the given clearance*

*the optimum speed of the drying agent is equal to 1.9 m/s.*

**Keywords:** pseudofluidization, grain-dryer, drying, drying agent.

**Введение.** В современном отечественном растениеводстве значительная доля производства приходится на зерновые культуры. По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [1], в 2015 году в России валовой сбор зерновых и зернобобовых культур составил 104,3 млн тонн зерна в весе после доработки, в том числе 61,8 млн тонн пшеницы.

Из-за сложившихся природно-климатических условий в нашей стране сушке необходимо подвергать до 50 % убранных зерна [2]. У большинства отечественных сельхозпредприятий отсутствует необходимая техника для важной технологической послеуборочной операции, а приобретение дорогостоящих современных зерносушилок для фермеров невозможно.

Из вышесказанного следует, что создание современной, доступной для отечественных сельхозпроизводителей зерносушильной техники достаточно актуально для аграрно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Одним из направлений уменьшения металлоемкости конструкций зерносушилок и интенсификации процесса сушки является псевдооживление слоя зерна.

Многие исследования российских и зарубежных ученых посвящены изучению псевдооживления и процессов сушки зерна в псевдооживленных системах.

Отечественный ученый С.К. Манасян исследовал процессы конвективной сушки зерна. Он сделал вывод, что в сушилках с равномерным распределением теплоносителя и интенсивным перемешиванием зерна в зонах сушки можно повысить средние значения температуры и скорости движения теплоносителя, что в конечном счете обеспечивает интенсификацию процесса сушки зерна [3].

Гидродинамике и теплообмену в перемещающемся псевдооживленном слое посвящены исследования российского ученого А.В. Баракова, им установлено и доказано, что в движущемся псевдооживленном слое разрушаются газовые

пузыри и процесс сушки происходит более равномерным [4].

Ученые из Нигерии С.А. Okoronkwo, О.С. Nwifo, К.Н. Nwaigwe, N.V. Ogueke, Е.Е. Anyanwie проводили экспериментальные исследования влияния подвода агента сушки на качество высушенного зерна. Они сделали вывод, что равномерное распределение газа обеспечивает равномерное высыхание материала [5].

С учетом вышеизложенного нами был разработан зерносушильный аппарат [5].

**Цель исследований.** Установить зависимость съема влаги за один проход от начальной влажности зерна и режимов работы зерносушилки с перемещающимся по окружной траектории псевдооживленным слоем.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

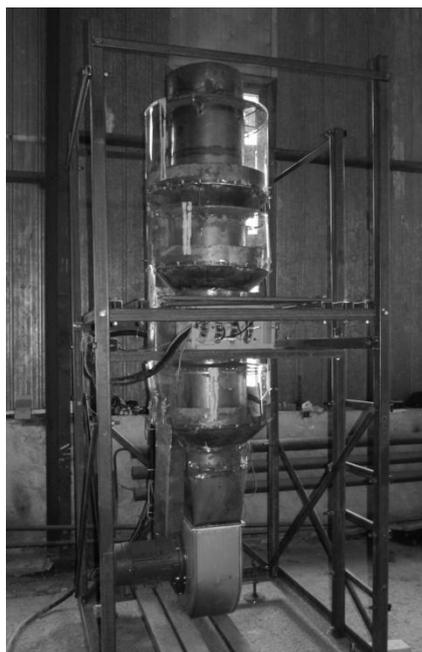
1. Исследовать влияние начальной влажности зерна, скорости сушильного агента и от-

крытия шиберной заслонки на съем влаги за один проход.

2. Сделать выводы о зависимости съема влаги от начальной влажности зерна и режимов работы зерносушилки с перемещающимся по окружной траектории псевдооживленным слоем.

**Методы и результаты исследований.** Исследования проводились на лабораторной установке в лаборатории кафедры «Технология металлов и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Кемеровский ГСХИ», общий вид которой представлен на рисунке 1.

Лабораторная установка с псевдооживленным, перемещающимся по окружной траектории слоем состоит из вентилятора, двух сушильных и одного охлаждающего модулей, электрокалорифера и загрузочного бункера. Рабочий орган в модулях выполнен из перфорированного решета и поделен на два сектора – разгонный,  $45^\circ$  (под углом наклона к горизонту  $\mu = 3^\circ$ ) и рабочий,  $290^\circ$  (без наклона).



*Рис. 1. Общий вид лабораторной установки*

Измерение скорости сушильного агента производилось с помощью частотного регулятора, а измерение площади сечения загрузочного отверстия – с помощью шиберной заслонки.

Масса зерна измерялась электронными весами CAS SW-1, заводской номер 030640433.

Время опустошения бункера и прохождения псевдооживленного зернового слоя по техноло-

гической линии замерялось электронным секундомером (Windows Phone App), версия 3.2.0.0.

Скорость воздушного потока измерялась с помощью манометра дифференциального цифрового ДМЦ-01М, заводской номер 05877.

Для исследований использовалась яровая пшеница сорта Ирень.

Начальная и конечная влажность зерна измерялась лабораторным влагомером ФАУНА МЛ, заводской номер 071.

Съем влаги определялся по формуле

$$\Delta\omega = \omega_{нач} - \omega_{кон}, \quad (1)$$

где  $\omega_{нач}$  – начальная влажность зерна;

$\omega_{кон}$  – конечная влажность зерна.

За 48 часов до проведения эксперимента зерно увлажнялось до необходимой влажности, которая контролировалась влагомером ФАУНА МЛ в автоматическом режиме.

Частотным преобразователем запускался вентилятор и устанавливалась скорость сушильного агента, равная  $V = 1,9; 2,2; 2,5; 2,8; 3,1$  м/с.

Лабораторная установка разогревалась до температуры агента сушки  $t = 50^\circ\text{C}$ , затем в приемный бункер засыпалось зерно, предварительно взвешенное, после чего с помощью шиберной заслонки устанавливался зазор, соответствующий  $S = 10, 15, 20, 25, 30$  мм.

В процессе исследования проводился корреляционно-регрессионный анализ, установлена зависимость съема влаги от начальной влажности зерна и режимов работы зерносушилки,

оценка параметров модели проводилась по методу наименьших квадратов. Математическая обработка результата эксперимента производилась с помощью программы EViews 3.0.

В результате статистической обработки эксперимента получено уравнение регрессии, описывающее зависимость съема влаги за один проход от начальной влажности зерна и зазора между шиберной заслонкой и рабочей поверхностью при температуре агента сушки  $t = 50^\circ\text{C}$

$$\Delta\omega = 0,15 \cdot \omega_{нач} - 0,77 \cdot \log(s), \quad (2)$$

где  $\Delta\omega$  – съем влаги за один проход, %;

$\omega_{нач}$  – начальная влажность зерна, %;

$S$  – зазор между шиберной заслонкой и рабочей поверхностью, мм.

Коэффициент детерминации составляет  $R^2 = 0,8$ . Все параметры модели по t-критерию Стьюдента являются статистически значимыми на уровне 0,01. По критерию Фишера модель адекватна на уровне значимости  $\alpha = 0,01$ .

Установленная зависимость представлена на рисунке 2.

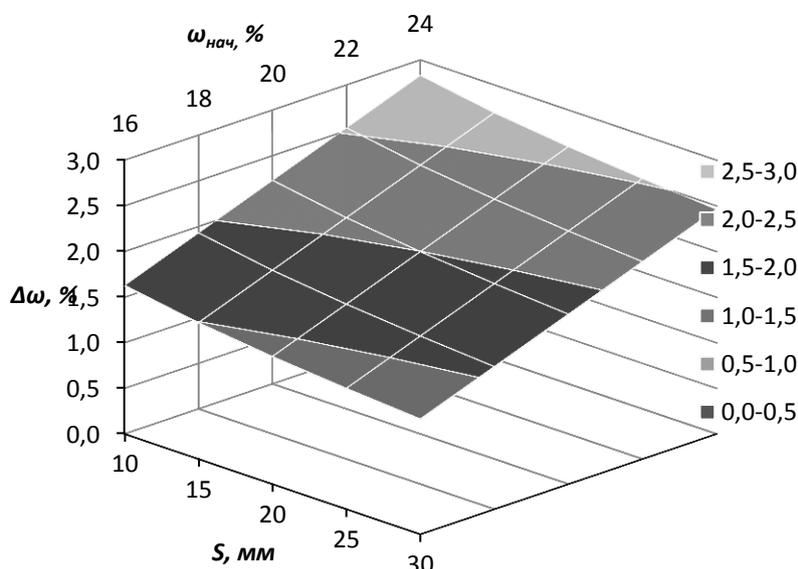


Рис. 2. Зависимость съема влаги  $\Delta\omega$  (%) за один проход от начальной влажности  $\omega_{нач}$  (%) зерна и зазора  $S$  между шиберной заслонкой и рабочей поверхностью

### Выводы

1. В результате статистической обработки эксперимента получена математическая модель

зависимости съема влаги ( $\Delta\omega$ , %) за один проход от начальной влажности ( $\omega_{нач}$ , %) зерна и зазора ( $S$ , мм) между шиберной заслонкой и

рабочей поверхностью при температуре агента сушки  $t = 50^{\circ}\text{C}$ .

2. Установлено, что чем больше начальная влажность зерна, тем выше съём влаги за один проход. При увеличении начальной влажности зерна на 1 % съём влаги при остальных прочих равных условиях увеличивается на 0,15 %. Скорость сушильного агента не оказывает особого влияния на съём влаги за один проход. При увеличении зазора между шиберной заслонкой и рабочей поверхностью на 1 % съём влаги уменьшается на 0,77 %. Таким образом, оптимальным является минимальное значение  $S$ , равное 10 мм. При данном зазоре оптимальная скорость сушильного агента равна 1,9 м/с.

3. Стоит отметить, что при скорости сушильного агента 1,9 м/с уже при открытии шиберной заслонки, обеспечивающей зазор 15 мм, качество псевдооживления ухудшается, образуются застойные зоны.

#### Литература

1. Предварительные итоги уборки основных сельскохозяйственных культур в 2015 году // Официальный портал Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. – URL: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/34405.htm> (дата обращения: 21.01.2016).
2. Макаров П.И. [и др.]. Механизация послеуборочной обработки зерна: учеб. пособие. – Йошкар Ола, 2007. – 284 с.
3. Манасян С.К. Принципы конвективной сушки зерна // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 6. – С. 145–150.
4. Бараков А.В. Моделирование гидродинамики и теплообмена в перемещающемся псевдо-

оживленном слое: дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 2005. – 235 с.

5. Непочатой В.Н., Черныш А.П. Инновационная техника для сушки семенного и продовольственного зерна // Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России: мат-лы XIII Междунар. науч.-практ. конф. / КемГСХИ. – Кемерово, 2014. – С. 348–356.

#### Literatura

1. Predvaritel'nye itogi uborki osnovnyh sel'skhozajstvennyh kul'tur v 2015 godu // Oficial'nyj portal Ministerstva sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii. – URL: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/34405.htm> (data obrashhenija: 21.01.2016).
2. Makarov P.I. [i dr.]. Mehanizacija posleuborochnoj obrabotki zerna: ucheb. posobie. – Joshkar Ola, 2007. – 284 s.
3. Manasjan S.K. Principy konvektivnoj sushki zerna // Vestnik KrasGAU. – 2008. – № 6. – S. 145–150.
4. Barakov A.V. Modelirovanie gidrodinamiki i teploobmena v peremeshhajushhemsja psevdoozhizhenom sloe: dis. ... d-ra tehn. nauk. – Voronezh, 2005. – 235 s.
5. Nepochatoj V.N., Chernysh A.P. Innovacionnaja tehnika dlja sushki semennogo i prodovol'stvennogo zerna // Tendencii sel'skhozajstvennogo proizvodstva v sovremennoj Rossii: ma-ly XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / KemGSHI. – Kemerovo, 2014. – S. 348–356.

