

## ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУШКИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

**Иван Васильевич Баскаков  
Владимир Иванович Оробинский  
Алексей Михайлович Гиевский  
Алексей Викторович Чернышов  
Татьяна Николаевна Тертычная**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Представлены результаты исследования по изучению влияния процесса предварительного озонирования зернового вороха в буферной емкости на эффективность последующей сушки зерна кукурузы. Обработка озоном – это экологически чистая операция, не загрязняющая окружающую среду. Единственным фактором, сдерживающим применения озона в России, является его негативное воздействие в больших концентрациях на здоровье человека. Необходимо следить за уровнем газа в рабочей зоне сотрудников, устанавливая специализированные сигнализаторы, при этом остаточный озон, который не находится в непосредственной близости от людей, совершенно неопасен, так как быстро распадается до обычного кислорода, не только не загрязняя атмосферу, но и обогащая воздух столь необходимым для жизнедеятельности человека химическим элементом. Несмотря на выявленное в ходе экспериментов положительное влияние озонирования на эффективность сушки зерна, признано нецелесообразным осуществлять процесс озонирования в зерносушилке в связи с тем, что ее конструкция негерметична, и газ поступает в окружающую среду с превышением уровня ПДК в рабочей зоне оператора. Кроме того, подавать кислород в пожароопасный объект также нецелесообразно по соображениям техники безопасности. Поэтому было предложено проводить озонирование в достаточно герметичных силосах буферного хранения, в которых зерно находится перед загрузкой в зерносушилку и которые с минимальными затратами могут быть дооборудованы системой озонирования. Озон ослабляет химические связи влаги с органическими компонентами зерновки, в результате чего частицы воды из внутренних слоев зерна выходят наружу. Так как поверхностную влагу удалить гораздо проще, повышается эффективность последующего процесса сушки. Установлено, что предварительная обработка зернового вороха озоном способствует более интенсивному снижению его влажности по сравнению с обычными условиями. В результате озонирования зерна кукурузы скорость его последующей сушки в среднем повысилась на 1,25%/ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зерно, кукуруза, озон, озонирование, сушка, зерносушилка.

## THE IMPACT OF OZONATION ON THE EFFICIENCY OF DRYING OF CORN GRAIN

**Ivan V. Baskakov  
Vladimir I. Orobinsky  
Aleksey M. Gievsky  
Aleksey V. Chernyshov  
Tatiana N. Tertychnaya**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors present the results of research on the effect of the process of preliminary ozonation of grain heap in the buffer tank on the efficiency of subsequent drying of corn grain. Ozone treatment is an environmentally friendly operation that does not pollute the environment. The only factor hindering the use of ozone in Russia is the negative impact of its high concentrations on human health. It is necessary to monitor the level of gas in the working area of employees by installing specialized signaling devices. At the same time residual ozone, which is not in close proximity to people, is absolutely undangerous as it quickly decays to ordinary oxygen not only without polluting the atmosphere, but also enriching the air with the chemical element so necessary for human life. Despite the experimentally revealed positive effect of ozonation on the efficiency of grain drying, it is considered inexpedient to carry out the ozonation process in the grain dryer due to the fact that its body is

unsealed, and the gas is emitted into the environment exceeding the MPC level in the operator's working area. In addition, supplying oxygen to a fire hazardous object is also not advisable for safety reasons. Therefore, it was proposed to perform ozonation in sufficiently hermetic buffer storage tanks, in which the grain is stored before being loaded into the grain dryer and which can be equipped with an ozonation system at minimal costs. Ozone contributes to weakening of chemical bonds of moisture with organic components of kernel. As a result, particles of water from the inner layers of the grain come out. Since it is much easier to remove surface moisture, the efficiency of subsequent drying process is increased. It has been established that pretreatment of grain heap with ozone contributes to a more intensive decrease in its humidity compared to ordinary conditions. As a result of ozonation of corn grain the rate of its subsequent drying increased on average by 1.25 %/h.

KEYWORDS: grain, corn, ozone, ozonation, drying, grain dryer.

**И**з всех зерновых культур кукуруза пользуется стабильным спросом на международном рынке зерна. Ее производство в Российской Федерации постоянно растет. Уборка кукурузы на зерно значительно отличается от уборки других зерновых культур. Прежде всего, это связано с неблагоприятными погодными-климатическими условиями, которые преобладают в России на момент проведения работ. Значительную роль играют физиологические особенности кукурузы и длительный период вегетации растения. В результате влажность зерна при уборке культуры значительно превышает кондиционное значение [3]. Даже десикация не позволяет полностью избавиться от данного недостатка. Задержка с уборкой кукурузы на зерно, особенно в условиях прохладной погоды, не только затрудняет работу зерноуборочных комбайнов, но также влияет на последующую послеуборочную обработку, сушку и хранение зерна.

В качестве теоретико-методической основы представленных исследований были использованы работы многих ученых, которые изучали возможности применения озоноздушной среды при сушке зерна различных сельскохозяйственных культур, в частности Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко, Т.П. Троцкой, Н.В. Ксенз с соавт., Р.И. Штанько, A.F. Rozado, L.R.D. Faroni et al, S. Beszédes, Z. László et al [1, 5, 6, 7, 9, 10, 11]). В ходе эксперимента использовались также результаты ранее проведенных исследований и собственные разработки авторов [2, 3].

По данным исследований по определению влажности зерна кукурузы в предуборочный период, который в Центрально-Черноземном регионе Российской Федерации проходит начиная с октября, показатель влажности колеблется в зависимости от отдельно взятого початка в широких пределах: от 22,8 до 39,8%. Масса зерна в одном початке варьирует от 176 до 338 г, в среднем данный параметр составляет 277,7 г. При этом следует отметить, что в початке даже на корню присутствуют поврежденные зерновки. Масса 1000 целых семян в початке составляет в среднем 429 г, а поврежденных – 153 г при средней влажности зерна 33,5%. Характеристика исходного вороха кукурузы в предуборочный период приведена в таблице.

Характеристика исходного вороха кукурузы в предуборочный период

Средняя масса зерен в початке, г			Средний процент поврежденных зерен в початке, %	Масса 1000 семян, г		Средняя влажность зерна в початке, %
всего	целых	поврежденных		целых	поврежденных	
277,7	265,7	12	4,2	429	153	33,5

Как следует из данных таблицы, в среднем 4,2% зерновок в каждом початке являются поврежденными. В основном наибольшее число поврежденных зерновок находится в верхней части початка, которая на момент уборки не прикрыта листьями (рис. 1). В некоторых початках до 9,4% зерна может быть недоброкачественным уже на корню, при этом в верхней части початка находится наибольшее количество невыполненных, сморщенных, легковесных, деформированных вследствие неблагоприятных условий развития и созревания зерновок. Без должной послеуборочной обработки они в дальнейшем станут очагом порчи всего собранного урожая.



Рис. 1. Состояние початков кукурузы в предуборочный период

Для того чтобы сохранить убранный урожай, необходимо проводить сушку зерна до влажности 14%. Однако кукуруза обладает плотной оболочкой, которая очень плохо пропускает влагу. В основном зерно принимает и отдает воду через зародыш. Из-за неравномерного распределения влаги внутри зерновки при ее сушке происходит неравномерная усадка, что приводит к появлению микротрещин. Это особенно вредно при заготовке семян, но и на товарном зерне данные повреждения будут снижать продолжительность хранения убранный урожай. Кроме того, крупные зерна хуже отдают влагу, поэтому в совокупности с повышенным значением влажности исходного вороха высушить его за один цикл практически невозможно. В связи с этим можно констатировать, что современная технология сушки зерна кукурузы требует совершенствования.

Одним из путей повышения эффективности процесса сушки зерна может выступать использование регулируемой газовой среды, способствующей повышению влагоотдачи. Наиболее перспективным направлением считается применение озонозооной смеси [4, 9].

Известно, что озон обладает мощными бактерицидными и фунгицидными свойствами, способствует активизации клеточных мембран и снижению энергетического уровня связей влаги с органическими веществами. Благодаря этому процесс сушки протекает более интенсивно [1, 7, 8]. Кроме того, озонирование способствует повышению всхожести семян и урожайности культур [4].

Применение озонных технологий на практике сдерживается рядом трудностей технического характера, а также в связи с требованиями безопасности, которые в основном учитывают тот факт, что озон относится к числу вредных для здоровья человека газов [4]. Однако современный уровень развития техники позволяет минимизировать концентрацию газа в рабочей зоне работников до уровня ПДК путем установки в возможных местах утечек окислителя нейтрализующих его катализаторов. Для всевозможных нештатных ситуаций в конструкции систем озонирования следует предусмотреть специализированные сигнализаторы, которые предупредят работников предприятия об опасности.

В зарубежных странах озонные технологии используются в более широких масштабах. Например, «Агентство Министерства здравоохранения и социальных служб США» сертифицировало озон как дезинфицирующее средство, применение которого в сельском хозяйстве разрешено без ограничений [2]. Поэтому дальнейшее развитие российского сельского хозяйства без применения современных, экологически чистых систем озонирования приведет к отставанию отрасли от аналогичных сфер деятельности передовых западных государств.

Целью исследований являлось определение влияния применения предварительной обработки зерна кукурузы озоном в буферном силосе на повышение эффективности последующего процесса сушки.

Предлагается с целью увеличения сроков безопасного хранения влажного вороха зерна кукурузы и повышения эффективности процесса влагоотдачи, а также снижения пагубного влияния процесса сушки на посевные качества семян проводить предварительное озонирование зернового вороха, прошедшего очистку, в буферных емкостях. Подобные металлические силоса устанавливаются в зерноочистительно-сушильных комплексах типа КЗС. Данные зернохранилища оснащены системой аэрации, которую следует дооборудовать озонаторной установкой. Это технически несложно, существует ряд подобных конструкций.

Чтобы выявить целесообразность применения предварительной обработки зерна кукурузы озоном в буферном силосе, были проведены соответствующие исследования. Их суть заключалась в том, что ворох средней влажностью 34,84% общей массой 25 кг был помещен в герметичную емкость, которая в течение 1,5 часа вентилировалась озонородной смесью. Расход агента составлял 0,7 м<sup>3</sup>/ч, средняя концентрация озона – 5 мг/м<sup>3</sup>. При этом озонородная смесь подавалась в нижнюю часть емкости, чтобы озон полностью пронизывал ворох и постепенно вытеснял более легкий воздух. Некоторая доля газа, проникая внутрь зерновки, способствует выводу влаги наружу.

На следующем этапе эксперимента была произведена загрузка вороха, обработанного озонородной смесью, и контрольного образца в лабораторную шахтную зерносушилку. При этом шахту предварительно разделили на две независимые и равные по объему камеры. В течение всего опыта в зерносушилке поддерживалась температура агента сушки в диапазоне 60...70°C. Каждые 30 минут производилась разгрузка части зерен с замером влажности материала из обеих шахт.

В результате исследований установлено, что у зерна, вентилируемого озонородной смесью, влажность повысилась до 38,76%. Это можно объяснить тем, что под воздействием озона избыточная влага из внутренних слоев зерновки за счет ослабления химических связей вышла на поверхность. В целом озонирование способствовало повышению средней влажности вороха на 3,92%. Данную поверхностную влагу при сушке удалить значительно проще, чем влагу из внутренних слоев зерновки. При этом контрольный образец, не подвергавшийся озонированию, на момент загрузки в зерносушилку имел среднюю влажность 35,68%. Результаты эксперимента по сушке зерна кукурузы представлены на рисунке 2.

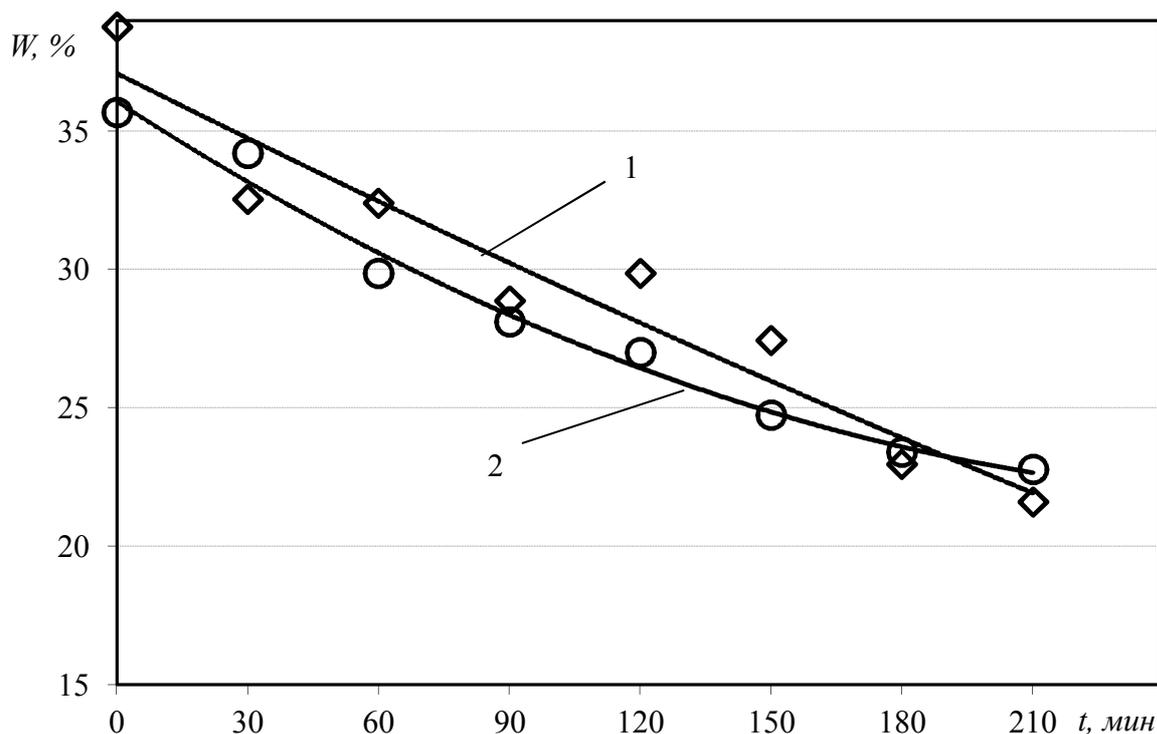


Рис. 2. Зависимость изменения влажности зерна кукурузы ( $W$ ) от времени его сушки ( $t$ ) и вида предварительной обработки влажного вороха:  
1 – озонированное зерно; 2 – необработанное зерно

Анализ полученных результатов эксперимента показал, что действие озона в основном прослеживается на протяжении первого получаса. За данный отрезок влажность в экспериментальной партии зерна снизилась на 6,23%. В исходном образце за 30 минут сушки удалось снизить содержание влаги на 1,48%. Это доказывает то, что предварительное озонирование влажного вороха способствует ускорению влагоотдачи в начальный период сушки на 4,75%. В последующем озон разложился, и далее процесс сушки протекал со схожими параметрами. Однако стоит заметить, что по истечении 3,5 часа эксперимента влажность озонированных семян была на 1,18% ниже, чем в контрольном образце.

Полученные результаты исследований описываются полиномиальной зависимостью второй степени с достаточной достоверностью. Зависимость изменения влажности озонированного зерна кукурузы при его сушке от времени имеет следующий вид:

$$W = 0,00003 \cdot t^2 - 0,0789 \cdot t + 37,081, \quad (1)$$

где  $W$  – влажность зерна, %;  
 $t$  – время сушки, мин.

При этом коэффициент достоверности аппроксимации  $R^2$  составляет 0,925.

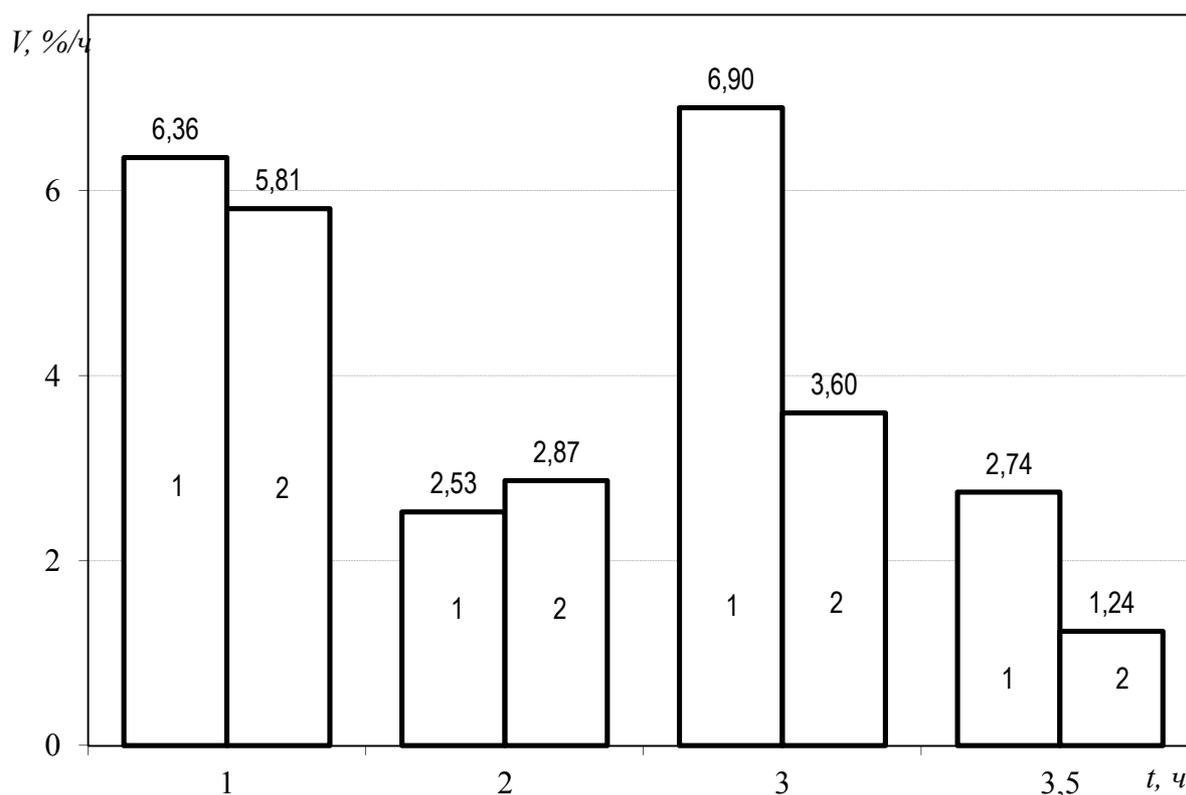
Зависимость изменения влажности необработанного зерна кукурузы при его сушке от времени имеет следующий вид:

$$W = 0,0002 \cdot t^2 - 0,102 \cdot t + 36,067. \quad (2)$$

При этом коэффициент достоверности аппроксимации  $R^2$  составляет 0,986.

По мере сушки относительная влажность отработанного воздуха снижалась с 73 до 54%, а температура выгружаемого зерна повышалась с 19 до 23°C.

На протяжении практически всего опыта скорость сушки озонированного зерна опережала аналогичный показатель контрольного образца. Только во второй час опыта получены практически идентичные значения (рис. 3).



**Рис. 3. Зависимость скорости сушки зерна кукурузы (V) от времени (t) и вида предварительной обработки влажного вороха: 1 – озонированное зерно; 2 – необработанное зерно**

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что предварительное озонирование зерна кукурузы способствует повышению скорости сушки до 3,3%/ч. В среднем данный параметр составил 1,25%/ч.

Однако довести столь влажный ворох до кондиционного состояния по влажности за один цикл не удалось, поэтому требуется еще раз загружать зерно в зерносушилку, что неизбежно приводит к потере качества зерна. В этом случае озонирование еще более актуально, так как обработанный озоновоздушной смесью ворох имеет гораздо больший срок безопасного буферного хранения.

Таким образом, можно рекомендовать озонирование зерна кукурузы в металлических буферных силосах перед сушкой на стандартных зерносушилках. Предварительное озонирование зерна кукурузы повышает скорость последующей сушки в шахтной зерносушилке в среднем на 1,25%/ч. Особенную целесообразность обработка озонном приобретает при заготовке семян, поскольку газ способствует повышению ростовых процессов и урожайности.

#### Библиографический список

1. А. с. № 1 095 899 СССР, МПК А01F 25/08 (2000.01). Способ сушки семян зерновых культур / Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко, Т.П. Троцкая ; заявитель Гродненский сельскохозяйственный институт. – № 3355297 ; заявл. 04.09.1981 ; опубл. 07.06.1984, Бюл. № 21. – 5 с.
2. Баскаков И.В. Влияние озона на процесс сушки зерна / И.В. Баскаков, В.В. Чистохвалов // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства : матер. I Международной науч.-практ. конф. (Макеевка, 26 апреля 2018 г.). – Макеевка : ГОУ ВПО Донбасская аграрная академия, 2018. – Т. III. – С. 31–36.

3. Обоснование применения процесса озонирования при производстве кукурузы на зерно / И.В. Баскаков и др. // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Россия, Воронеж, 1–2 ноября 2017 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – Ч. I. – С. 197–201.
4. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 3 (50). – С. 120–126.
5. Троцкая Т.П. Сушка зерна с помощью озонозвоздушной смеси / Т.П. Троцкая // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 1. – С. 36–39.
6. Троцкая Т.П. Электроактивирование процессов сушки растительных материалов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Т.П. Троцкая. – Москва, 1998. – 31 с.
7. Штанько Р.И. Электроозонаторная установка для сушки зерна : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Р.И. Штанько. – зерноград, 2000. – 143 с.
8. Энергосберегающая технология сушки зерна / Н.В. Ксенз и др. // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 2. – С. 11–16.
9. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado / A.F. Rozado, L.R.A. Faroni, W.M.I. Urruchi, R.N.C. Guedes, J.L. Paes // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2008. – Vol. 12. – Pp. 282–285. DOI: 10.1590/s1415-43662008000300009.
10. Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone/UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour / S. Beszédes, Z. László et al // Ozone: Science and Engineering. – 2008. – Vol. 30, No. 6. – Pp. 413–417.
11. Influence of corn grain mass temperature on ozone toxicity to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and quality of oil extracted from ozonized grains / L.R.A. Faroni, A.M. Pereira, A.H. Sousa, M.T.C. Silva, W.I. Urruchi // IOA Conference and Exhibition Proceedings (Valência, Espanha, 2007). – Valência : IOA, 2007. – Vol. 1. – Pp. 1–6.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Иван Васильевич Баскаков – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Алексей Михайлович Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Алексей Викторович Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Татьяна Николаевна Тертычная – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.10.2018

Дата принятия к печати 26.11.2018

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Ivan V. Baskakov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Vladimir I. Orobinsky – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Aleksey M. Gievsky – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Aleksey V. Chernyshov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Tatiana N. Tertychnaya – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Storage and Processing of Agricultural Products Technologies, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Received October 16, 2018

Accepted November 26, 2018