

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ ПРИ ВЕНТИЛИРОВАНИИ ЗЕРНА

**БАСКАКОВ Иван Васильевич**, Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I

**ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович**, Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I

**ГУЛЕВСКИЙ Вячеслав Анатольевич**, Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I

**КАРПЕНКО Роман Николаевич**, ООО «Воронежсельмаш»

*В статье рассматривается способ сушки зерна с применением озонородушной смеси в качестве сушильного агента. Использование озона позволяет не только ослабить связь влаги с зерновкой, но также, взаимодействуя с внутренними компонентами зерновки, газ способствует повышению температуры вороха. Благодаря этому зерно до достижения оптимальных параметров необходимо нагревать меньшее время, что обеспечивает сокращение энергоёмкости процесса сушки. При этом отделение влаги от зерновки при активном вентилировании зернового материала происходит интенсивнее, поскольку газ улучшает проницаемость клеточных мембран и способствует ориентации молекул воды вокруг атомарного кислорода. В результате значительно сокращается время сушки. Причем установлено, что в зависимости от культуры интенсивность диффузии озона внутрь зерновки разная. Это объясняется особенностями внутреннего строения их зерен. Положительное влияние озона на процесс активного вентилирования зернового материала прослеживалось во всех исследуемых образцах. Однако время доведения зерна до кондиционной влажности варьировалось в зависимости от культуры. Также на интенсификацию процесса сушки влияет концентрация озона в озонородушной смеси. После обработки остаточный газ распадается до кислорода, не загрязняя окружающую среду. Одновременно озон производит дезодорацию, санацию, стерилизацию зерна и оборудования. В статье представлены основные результаты исследований, проведенные ведущими учеными данного направления. Получены зависимости снижения влажности зерна при его вентилировании воздухом и озонородушной смесью. В целом выявлены преимущества использования озона при вентилировании зернового материала перед традиционным способом, но не хватает комплексных исследований позволяющих его использовать в реальных условиях хозяйства.*

**Введение.** В настоящее время все более широкое применение находят озонные технологии. Озонирование используется в микробиологии, косметологии, медицине, жилищно-коммунальном хозяйстве, пищевой и химической промышленности, а также во многих других отраслях [2, 13, 15]. Достаточно широкое распространение применение озона нашло и в сельском хозяйстве [5, 10, 14]. Аграрные ученые исследовали процесс озонирования в растениеводстве [1], животноводстве [6], садоводстве [8], птицеводстве [13], пчеловодстве [9], хранении и послеуборочной обработке зерна [16, 18].

Озон известен более 230 лет, но, несмотря на это, активные исследования газа в России начались в 70–80-х гг. прошлого века [19]. Еще в 1981 г. учеными Гродненского сельскохозяйственного института был предложен и позже запатентован «Способ сушки семян зерновых культур», в котором в качестве сушильного агента использовали озонородушная смесь [11]. Исследования в данной области актуальны и в настоящее время, поскольку более 50 % затрат в послеуборочной обработке урожая зерновых

культур приходится на доведение зерна до кондиционной влажности [3].

Цель исследования – повышение интенсификации процесса вентилирования зерна озонородушной смесью и снижение его энергоёмкости.

**Методика исследований.** В качестве теоретико-методической основы исследований были использованы работы в области вентилирования зерна озонородушной смесью следующих ученых: Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко, Т.П. Троцкая, А.В. Голубкович, А.Г. Чижиков, Н.В. Ксенз и др. [4, 7, 11, 12, 20].

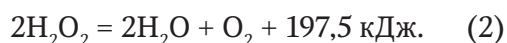
**Результаты исследований.** Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко и Т.П. Троцкая предположили, что проникновение озона в зерновку происходит по закону диффузии газов. Попав внутрь зерна, окислитель взаимодействует с его компонентами. При этом озон распадается, превращаясь в кислород. Реакция сопровождается выделением тепла [11]:



В свою очередь полученный кислород активизирует окислительные процессы в зерновке,



что также способствует образованию теплоты. Одновременно озон, взаимодействуя с компонентами зерна, образует перекись водорода, которая представляет собой непрочное соединение. Данное вещество распадается на воду и кислород с выделением тепла по следующей схеме [11]:



Представленные химические реакции снижают энергоёмкость процесса сушки, так как для нагревания зернового материала до оптимальной температуры требуется меньше времени. В конечном итоге белорусские ученые сделали вывод, что при использовании озонозооной смеси зерно подогрывается изнутри, способствуя ускорению парообразования и увеличению коэффициента диффузии влаги. Благодаря этому интенсифицируется процесс сушки зернового материала [11].

Свои теоретические исследования гродненские ученые подтвердили экспериментом. При этом температура сушильного агента составляла 20...24°C, относительная влажность 53...60 %, концентрация озона 1...11 мг/м<sup>3</sup>, напор 50 Па. В качестве контрольного опыта проводили параллельные исследования в тех же условиях, но вместо озонозооной смеси использовали обычный воздух. Сушка происходила в кюветах с перфорированным дном. Толщина слоя зерна составляла 10 см, масса 1,5 кг. Опыты проводили на пшенице, ржи, ячмене и овсе [11]. Низкая температура сушиль-

ного агента свидетельствует, скорее всего, не о сушке зернового материала, а о его вентилировании. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1.

Анализ рис. 1 показывает, что на всех исследуемых культурах вентилирование озонозооной смесью способствовало сокращению времени доведения зерна до кондиционной влажности 14 %. Однако данное влияние было разным. Наибольшая скорость сушки наблюдалась у овса, а наименьшая – у пшеницы при концентрации озона 2...11 мг/м<sup>3</sup>. Это объясняется особенностями строения семени данных культур и разной скоростью проникновения озона внутрь конкретной зерновки. Поэтому в начале эксперимента влияние озонозооной смеси на снижение влажности зерна не прослеживается и находится в диапазоне погрешности измерений. Существенное снижение количества снятой влаги наблюдается только после насыщения зерна озоном. При этом у овса данное явление наблюдалось после 8 ч вентилирования, у ячменя – через 12 ч, у пшеницы – после 24 ч, а у ржи – через 28 ч. Данный факт доказывает, что внутреннее строение зерновки напрямую влияет на диффузию газа внутрь семени, а следовательно, на эффективность процесса озонирования. В целом обработка зерна озонозооной смесью сокращала время его доведения до кондиционного состояния у ячменя на 32 ч, или в 2,5 раза, у овса – на 24 ч, или в 2,17 раза, у пшеницы и ржи – на 12 ч, или в 1,3 раза.

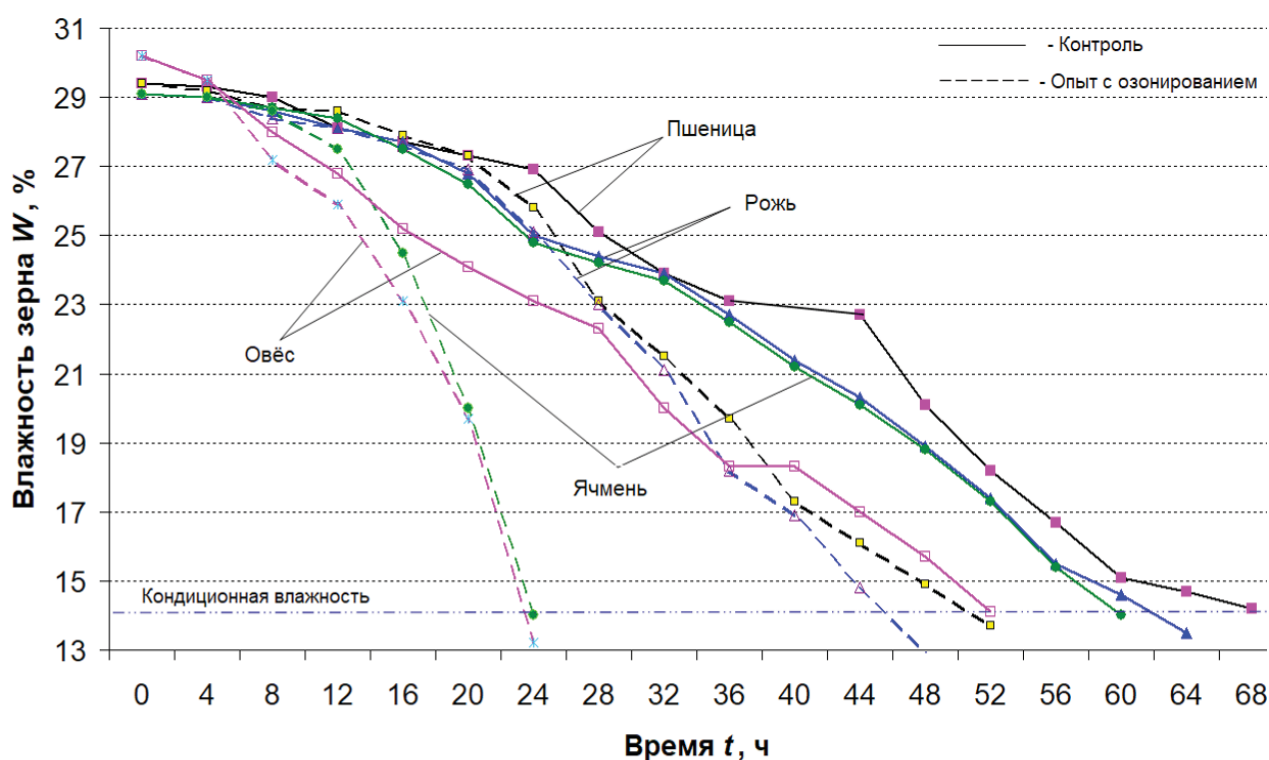


Рис. 1. Результаты вентилирования семян зерновых культур озонозооной смесью и воздухом [11]





Следует отметить, что полученные графики (см. рис. 1) снижения влажности семян  $W$  зерновых культур от времени вентилирования  $t$  с достаточной точностью подчиняются полиномиальной зависимости второй степени. В результате анализа исследований, проведенных Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко и Т.П. Троцкой [11], удалось получить ряд зависимостей, которые представлены в табл. 1.

Концентрация озона в озоновоздушной смеси непосредственно влияет на скорость сушки зерна (рис. 2). Тенденция прослеживается на всех исследуемых культурах. Однако наиболее явное действие озона наблюдается на овсе, а наименее – на пшенице.

Анализ полученных графиков изменения скорости сушки семян зерновых культур от концентрации озона в озоновоздушной смеси (см. рис. 2) с достаточной точностью описывается полиномиальной зависимостью третьей степени. Результаты аппроксимации полученных Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко и Т.П. Троцкой [11] данных представлены в табл. 2.

Анализ полученных выражений показывает, что переменные коэффициенты достаточно близки друг к другу, и при наличии большего числа опытов можно определить единую зависимость. При этом в уравнение необходимо ввести дополнительный множитель, который бы учитывал особенности конкретной культуры. Однако для этого необходимо провести ряд опытов.

Позже рассматриваемый способ сушки был усовершенствован А.В. Голубковичем и А.Г. Чи-

жиковым, которые подняли температуру сушильного агента до 35...40 °С, а также предложили проводить озонирование не постоянно, а при влажности зерна 16...22 %. Главная цель изобретения состояла в снижении удельных затрат энергии при сушке на 23 %. Эффективность предложенного способа проверяли при вентилировании зерна пшеницы исходной влажностью 26 % в бункере БВ-40. При этом подача теплоносителя составляла 14000 т·м<sup>3</sup>/ч, температура 32 °С, концентрация озона в озоновоздушной смеси 10 мг/м<sup>3</sup>. Авторы отмечают, что вентилирование до доведения зерна до кондиционной влажности 14 % без использования процесса озонирования длилось 86 ч, с непрерывной подачей газа 67 ч, а по заявленному способу 68 ч [12]. Благодаря тому что разница между значениями продолжительности сушки при постоянном нагнетании озона и с циклической его подачей составляла 1 ч, удалось снизить энергоемкость технологической операции.

Анализ результатов, полученных в данных экспериментах [12], свидетельствует о том, что, как только зерно насытилось озоном и при этом до кондиционной влажности осталось всего несколько процентов, подачу газа можно прекратить и продолжить вентилирование обычным воздухом. Тем самым экономится энергия и увеличивается ресурс озонаторной установки. Однако отключение подачи озона при высоких значениях влажности зерна вызывает сомнения. Исследователи [12] отмечают, что нет ощутимой разницы между

Таблица 1

Зависимости изменения влажности зерна  $W$  от времени вентилирования  $t$ 

Культура	Вид опыта	Зависимость	$R^{2*}$
Пшеница	Контроль	$W_{\text{пш.}}^* \text{ конт} = -0,0346t^2 - 0,3217t + 30,107$	0,9864
	Озонирование	$W_{\text{пш.}}^* \text{ озон} = -0,0714t^2 - 0,2802t + 30,366$	0,981
Рожь	Контроль	$W_{\text{рожь}}^* \text{ конт} = -0,0381t^2 - 0,3465t + 29,879$	0,9961
	Озонирование	$W_{\text{рожь}}^* \text{ озон} = -0,111t^2 - 0,1209t + 29,308$	0,9912
Ячмень	Контроль	$W_{\text{ячм}}^* \text{ конт} = -0,0422t^2 - 0,3139t + 29,81$	0,9962
	Озонирование	$W_{\text{ячм}}^* \text{ озон} = -0,6405t^2 + 2,7167t + 26,614$	0,9959
Овес	Контроль	$W_{\text{овес}}^* \text{ конт} = -0,0019t^2 - 1,2744t + 31,752$	0,9946
	Озонирование	$W_{\text{овес}}^* \text{ озон} = -0,4464t^2 + 0,9036t + 29,429$	0,9892

\* $W_{\text{культура}}^* \text{ опыт}$  – влажность зерна данной культуры в контрольном опыте или при вентилировании озоновоздушной смесью, %;  $t$  – время вентилирования, ч.

\*\* $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

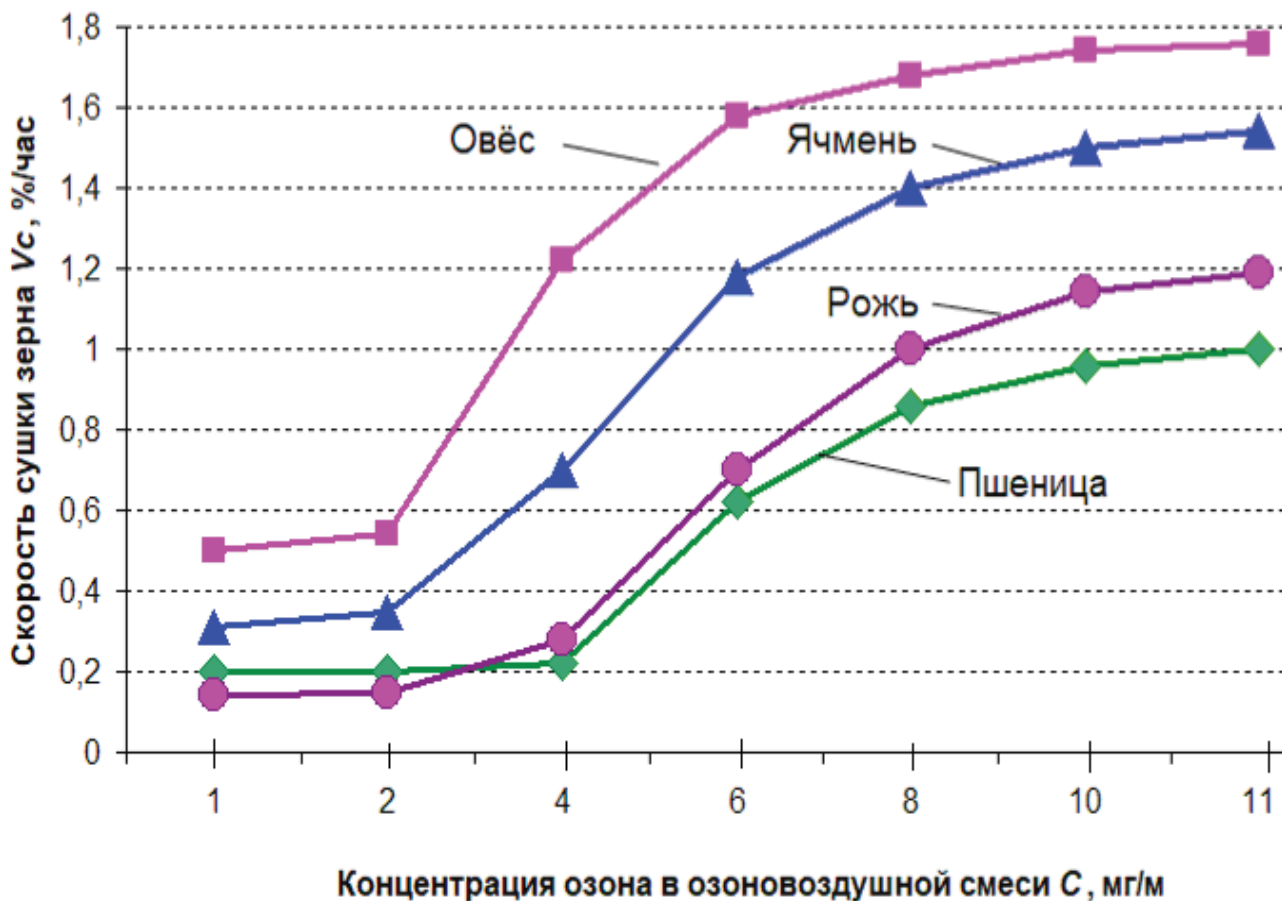


Рис. 2. Влияние концентрации озона в сушильном агенте на скорость сушки семян зерновых культур [11]

всеми вариантами опыта, но возможно зерно просто не успевает насытиться газом и поэтому его действие не прослеживается. При этом необходимо учитывать дезинфицирующее, стерилизующее, дезодорирующее действие озона. Зерновой материал при повышенной влажности представляет собой благоприятную среду для развития микроорганизмов, грибков, вредителей и многих других пагубных процессов [17]. Действие озона в таких условиях не будет лишним и поспособствует более быстрому проникновению газа внутрь

зерна, где также могут находиться личинки микрофлоры.

Н.В. Ксенз также исследовал влияние озонородной смеси на длительность процесса сушки зерна ячменя исходной влажностью 24 % в бункере активного вентилирования БВ-40. При этом температура агента сушки составляла 21,4 °С, а влажность атмосферного воздуха 80...92 % [20]. Использование озонородной смеси позволило в 1,7 раза увеличить производительность установки и сократить длительность процесса со 150 до

Таблица 2

Зависимости изменения скорости сушки  $V_c$  от концентрации озона  $C$  в озонородной смеси

Культура	Зависимость	$R^2$ **
Овес	$V_{c\text{овес}}^* = -0,0111C^3 + 0,089C^2 + 0,1359C + 0,2086$	0,9541
Рожь	$V_{c\text{рожь}}^* = -0,0183C^3 + 0,2201C^2 - 0,5437C + 0,4829$	0,9935
Ячмень	$V_{c\text{ячм}}^* = -0,017C^3 + 0,1856C^2 - 0,2986C + 0,4086$	0,9868
Пшеница	$V_{c\text{пш}}^* = -0,0167C^3 + 0,2033C^2 - 0,5471C + 0,5686$	0,9809

\* –  $V_c^{\text{культура}}$  – скорость сушки зерна данной культуры, %/ч.  
 $C$  – концентрация озона в озонородной смеси, мг/м³.



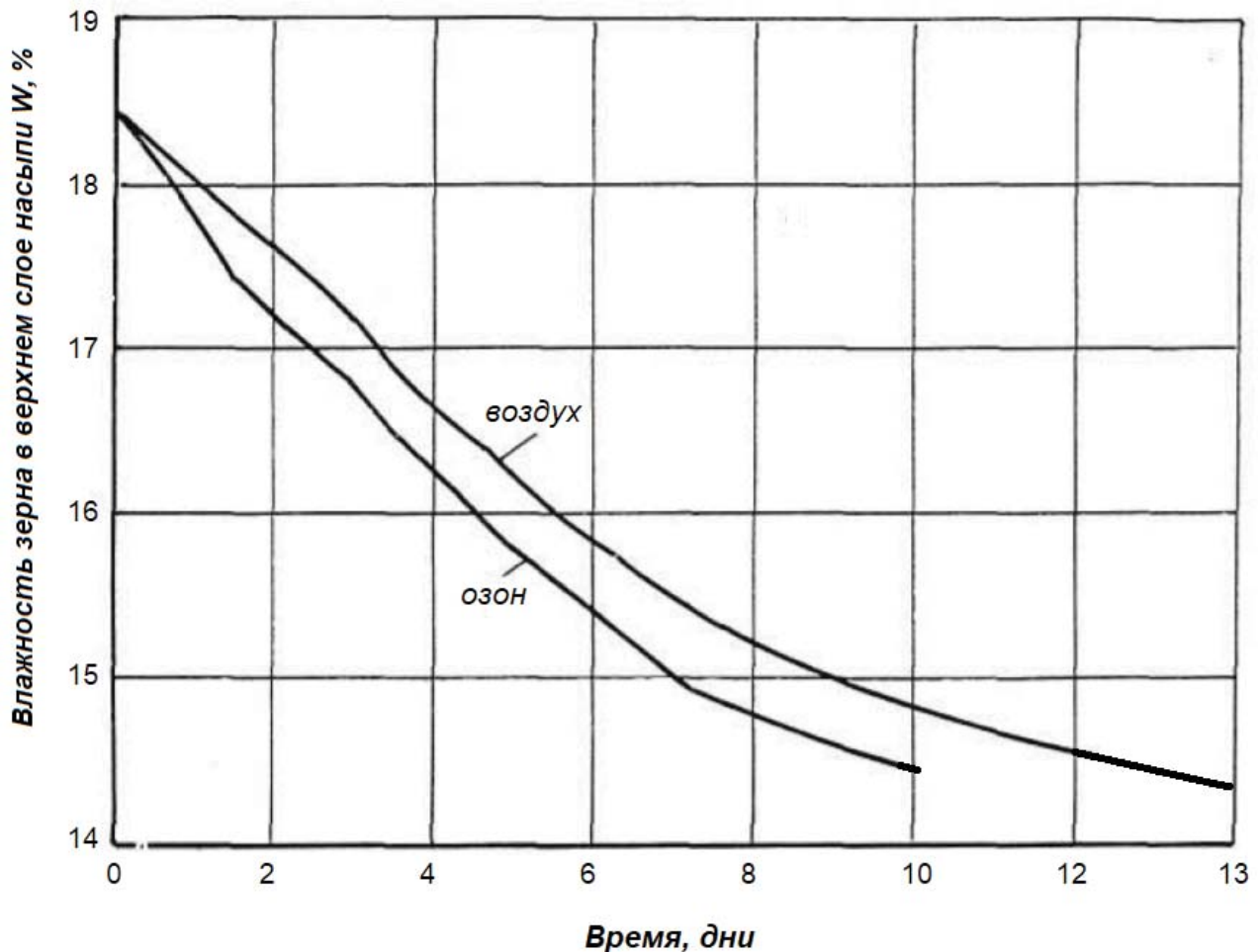


Рис. 3. Вентиляция напольного зернохранилища озоновооздушной смесью и воздухом [4]

90 ч [7]. Авторы отмечают, что подобный эффект получен за счет изменения физико-химических и теплофизических свойств воды под действием озона, который способствует изменению ее вязкости, плотности, поверхностного натяжения, рН-фактора, теплопроводности, теплоемкости и других параметров.

Вентиляцию зерна можно проводить в специализированных зернохранилищах. Подобные исследования проводили с применением установки досушивания зерна УДЗ-1200 в двух помещениях, в которых высота насыпи зернового материала составляла 2,0...2,1 м, а масса 650 и 600 т. При этом в одном зернохранилище нагнетали озоновооздушную смесь, а в другое подавали подогретый воздух относительной влажностью 60...70 % с удельной подачей агента сушки 40 и 42 м<sup>3</sup>/ч·т соответственно. Температура агента сушки составляла 18,2...22,7 °С, начальная влажность исходного материала в верхнем слое насыпи 18,4 %, конечная – 14,4 %. В результате проведения эксперимента зерно в зернохранилище, обрабатываемом озоновооздушной смесью, высохло за 242 ч, а в

контрольном помещении – за 315 ч [4], т.е. на три дня раньше (рис. 3), или в 1,3 раза быстрее.

Исследователи также отмечают, что превышение температуры сушильного агента свыше 38 °С снижает эффективность вентиляции зерна из-за распада озона [4].

На данный момент повешение интенсификации процесса сушки озонированного зерна связывают с воздействием газа на проницаемость клеточных мембран, на ориентацию воды вокруг атомарного кислорода, который также способствует продвижению влаги из клеток зерновки наружу. Кроме того, наличие различных электрических сил, возникающих вследствие распада озона, приводит к ослаблению дипольных связей. Это способствует выводу не только свободной влаги, но и сорбционно-связных молекул воды.

**Заключение.** Таким образом, недостатками сушки зернового материала в бункерах активного вентилирования с применением озоновооздушной смеси являются длительность процесса и необходимость их разгрузки, что приводит к повреждению зерна транспорти-



рующими органами. Напольные зернохранилища с перфорированными полами – дорогостоящий объект, который не позволит довести хранимый продукт до кондиционной влажности, если ее исходное значение очень высоко. Применение силосов, оборудованных системой аэрации и озонаторной установкой, позволило бы содержать полусухое зерно без дополнительной операции сушки. В случае чрезмерной исходной влажности зернового материала насыщение его озоном способствовало не только увеличению срока безопасного буферного хранения, но и значительно сократило затраты на доведение продукта до кондиционного состояния. Посредством серии опытов предстоит определить, насколько процесс сушки на стационарных шахтных и жалюзийных сушилках заранее озонированного зерна в силосах будет менее энергоемким? При этом для обеспечения безопасности исследований необходимо установить датчики превышения предельно допустимой концентрации озона в рабочей зоне, в возможных местах утечек смонтировать соответствующие катализаторы, а силосные зернохранилища и механизмы загрузки-выгрузки загерметизировать.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева В.Н., Стародубцева Г.П., Любая С.И. Предпосевная обработка семян пшеницы озоном // Аграрная наука. – 2008. – № 5. – С. 19–20.
2. Баскаков И.В., Тарасенко А.П., Чижко Р.Л. Преимущества использования процесса озонирования в растениеводстве // Наука и образование в современных условиях: материалы науч. конф. – Воронеж, 2016. – С. 173–178.
3. Воронежсельмаш. – Режим доступа: <http://vselmash.ru/> (дата обращения: 26.02.2018).
4. Интенсификация процессов временного хранения и сушки зерна озонированием сушильного агента [Электронный ресурс] / А.В. Голубкович [и др.]. – Режим доступа: [http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus\\_conf\\_pr/Presentations/Golubkovich.pdf](http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/Golubkovich.pdf) (дата обращения: 26.02.2018).
5. Использование процесса озонирования при предпосевной обработке семян / И.В. Баскаков [и др.] // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы науч.-практ. конф. (Воронеж, 5–9 сентября 2016 г.). – Воронеж, 2016. – С. 10–23.
6. Ксенз Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1992. – 27 с.
7. Ксенз Н.В., Леонтьев Н.Г., Сидорцов И.Г. Энергосбережение в технологиях сельскохозяйственного производства за счет использования озонородящих смесей // Праці Таврійського державного агротехно-
- логічного університету. – 2013. – Т. 13. – Вып. 13. – С. 53–59.
8. Механизация садоводства: учеб. пособие / И.В. Баскаков [и др.]. – Воронеж, 2011. – 100 с.
9. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... д-ра техн. наук. – Краснодар, 2009. – 307 с.
10. Озонирование семенного материала – резерв повышения урожайности зерновых культур / И.В. Баскаков [и др.] // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию А.П. Тарасенко, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.). – Ч. II. – Воронеж, 2017. – С. 10–16.
11. Патент № 1095899 СССР, МПК А01F 25/08. Способ сушки семян зерновых культур / Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко, Т.П. Троцкая; патентообладатель Гродненский сельскохозяйственный институт. – №3355297; заявлено 04.09.1981; опубл. 07.06.1984. Бюл. №21. – 5 с.
12. Патент № 2196417 РФ, МПК А01F 25/00, А01F 25/08, А01F25/22, А23В 9/08, А23В 8/18. Способ сушки зерна и семян / Голубкович А.В., Чижиков А.Г.; патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – №2001110265/13; заявлено 16.04.2001; опубл. 20.01.2003. Бюл. № 2. – 8 с.
13. Применение процесса озонирования в отраслях / И.Н. Стаканов [и др.] // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 68-й студенческой науч. конф. (Россия, Воронеж, март – июнь 2017 г.). – Воронеж, 2017. – С. 269–275.
14. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 3 (50). – С. 120–126.
15. Проблемы использования процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков [и др.] // Современные научно-практические решения в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 6–7 июня 2017 г.). – Воронеж, 2017. – С. 41–46.
16. Современные методы хранения зерна в хранилищах силосного типа / И.В. Баскаков [и др.] // Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: материалы науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – Воронеж, 2015. – С. 15–20.
17. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учеб. пособие / А.П. Тарасенко [и др.]. – Воронеж, 2014. – 135 с.



18. Тарасенко А.П., Мерчалова М.Э., Баскаков И.В. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. – Вып. 3 (22). – С. 22–25.

19. Троцкая Т.П. Сушка зерна с помощью озонородной смеси // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 1. – С. 36–39.

20. Энергосберегающая технология сушки зерна / Н.В. Ксенз [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 2. – С. 11–16.

**Баскаков Иван Васильевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили», Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Россия.

**Оробинский Владимир Иванович**, д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили», Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Россия.

**Гулевский Вячеслав Анатольевич**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Математика и физика», Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Россия.

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.

Тел.: 8-908-131-56-62.

**Карпенко Роман Николаевич**, канд. техн. наук, ООО «Воронежсельмаш». Россия.

394056, г. Воронеж, Индустриальный парк «Масловский», ул. Солдатское поле, 285/5.

Тел.: (473) 206-77-78.

**Ключевые слова:** зерно; семена; озон; озонирование; сушка; вентиляция.

## TO THE STUDY OF THE PROCESS OF OZONATION WHEN GRAIN VENTILATION

**Baskakov Ivan Vasilyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Agricultural Machinery, Tractors and Cars", Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia.

**Orobinsky Vladimir Ivanovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the chair "Agricultural Machinery, Tractors and Cars", Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia.

**Gulevsky Vyacheslav Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics and Physics", Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia.

**Karpenko Roman Nikolaevich**, Candidate of Engineering Sciences. ООО "Voronezhselmash". Russia.

**Keywords:** grains; seeds; ozone; ozonation; drying; venting.

*The article discusses the method of drying grain using ozone-air mixture as a drying agent. The use of ozone allows not only to weaken the connection of moisture with the grain, but also by interacting with the internal components of the grain, the gas increases the temperature of the heap. In order to achieve optimal parameters, grain should be heated less time, which ensures reduction of energy intensity of the drying process.*

*At the same time, separation of moisture from the grain at active ventilation of the grain material is more intensive, since the gas improves the permeability of fine membranes and promotes the orientation of water molecules around atomic oxygen. As a result, the drying time is significantly reduced. Moreover, it was found that depending on the culture, the intensity of ozone diffusion inside the grain is different. This is explained by the peculiarities of the internal structure of their grains. The positive influence of ozone on the process of active ventilation of grain material was observed in all studied samples. However, the time of bringing the grain to the air-conditioned humidity varied depending on the culture. Also, the intensification of the drying process is influenced by the concentration of ozone in the ozone-air mixture. After treatment, the residual gas breaks down to oxygen without polluting the environment. At the same time ozone produces deodorization, sanitation, sterilization of grain and equipment. The article presents the main results of research conducted by leading scientists in this field. Dependences of reduction of grain moisture at its venting by air and ozone-air mixture are received. In General, the advantages of ozone use in the ventilation of grain material over the traditional method are revealed, but it lacks comprehensive studies that allow it to be used in real conditions of farms.*

