

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ВОРОХЕ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ

Иван Васильевич Баскаков
Владимир Иванович Оробинский
Алексей Михайлович Гиевский
Алексей Викторович Чернышов
Александр Павлович Тарасенко

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Проведены исследования по выявлению зависимости изменений концентрации озона внутри зерна кукурузы от периода озонирования и времени выхода газа. Эксперимент проводили в относительно герметичной металлической емкости, имитирующей зернохранилище силосного типа, которое чаще всего используют для временного хранения влажного зернового вороха перед последующей сушкой материала. Озоновооздушную смесь подавали снизу, чтобы озон постепенно вытеснял более легкий воздух, заполняя весь объем. Заполнение газом пустой и загруженной зерном кукурузы емкости показало, что процесс снижения концентрации окислителя протекает по-разному. Следовательно, органический материал влияет на разложение озона внутри зернохранилища и время его действия. При контакте газа с компонентами зерновки происходит их окисление. Часть озона проникает внутрь зерна и накапливается в нем. Поэтому по мере насыщения вороха газом время его выхода из зернохранилища меняется. Установлено, что на процесс влияют исходные параметры зерна, особенно влажность. С целью снижения расхода озоновооздушной смеси подачу газа можно периодически прекращать, но чтобы процесс озонирования не прерывался, необходимо определить, в течение какого времени сохраняются свойства окислителя в зерновом ворохе. В результате исследований выявлено, что целесообразней озонирование осуществлять периодами насыщения зерна озоновооздушной смесью с последующим вентилированием воздухом с отключенным озонатором до момента снижения концентрации озона до уровня, близкого к ПДК. Затем обработку необходимо возобновлять. При этом озонирование рекомендуется осуществлять на протяжении не менее 33 мин. с интервалами отключения озонатора не более 10 мин., что обеспечивает непрерывность обработки влажного зерна кукурузы озоном.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зерно, кукуруза, озон, озонирование, время снижения концентрации озона до уровня ПДК.

THE DEPENDENCE OF CHANGES IN OZONE CONCENTRATION INSIDE CORN GRAIN HEAP ON THE INITIAL PARAMETERS OF THE PROCESS

Ivan V. Baskakov
Vladimir I. Orobinsky
Aleksey M. Gievsky
Aleksey V. Chernyshov
Aleksandr P. Tarasenko

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Studies have been conducted to identify the dependence of changes in ozone concentration inside the corn grain on the duration of ozonation and gas emission time. The experiment was carried out in a relatively hermetic metal container simulating a silo-type grain storage, which is most often used for temporary storage of wet grain heap before subsequent drying of the material. The ozone-air mixture was supplied from below so that ozone would gradually force out the lighter air filling the entire volume. The container being empty and loaded with corn grain was filled with gas. This showed that the process of reducing the concentration of the oxidant proceeds differently. Hence, the organic material affects the decomposition of ozone and its duration inside the grain storage. Kernel components oxidize upon contact with the gas. Part of the ozone penetrates into the grain and accumulates in it. Therefore, as the heap is saturated with the gas, the time of its emission from the grain storage changes. It is established that the process is influenced by the initial parameters of the grain, especially its humidity. In order to reduce the consumption of ozone-air mixture, the gas supply can be periodically stopped. However, it is necessary to determine the time over which the oxidizing agent retains its properties in the grain heap, so that the ozonation process is not interrupted. As a result of research it is revealed that it is more expedient to carry out the ozonation by periods of grain saturation with ozone-air mixture followed by ventilation with air with the ozonizer turned off until the ozone concentration drops to a level close to the

MPC. Then the treatment should be resumed. In this case it is recommended to continue the ozonation for at least 33 minutes with the ozonizer shutdown intervals of not more than 10 minutes, which ensures the continuity of treatment of wet corn grain with ozone.

KEYWORDS: grain, corn, ozone, ozonation, time to reduce the ozone concentration to the MPC.

На современном этапе развития сельского хозяйства необходимо внедрение инновационных технологий. Применение ядохимикатов, использование вредных антибиотиков, опасных для здоровья человека, удобрений тормозят совершенствование отрасли, загрязняя природу и угнетая культурные растения. В настоящее время на первый план выходят принципиально новые технологии, которые не оказывают отрицательного влияния на экологию. Во многих случаях обработка сельскохозяйственной продукции озоном оказывает идентичное с химическими препаратами действие. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве позволит отказаться от ряда опасных операций, например, протравливания семян и обработки пестицидами помещений против вредителей, болезней или грибных инфекций.

С каждым годом озон все шире применяется в сельском хозяйстве. Были проведены исследования по изучению процесса озонирования в садоводстве [3], растениеводстве [1, 10], птицеводстве [8], животноводстве [2], пчеловодстве [5], переработке [7, 12] и других отраслях [4, 11]. Однако повсеместного практического внедрения инновационной технологии озонирования не последовало. В основном это связано с негативным воздействием больших концентраций озона на здоровье человека и пробелами в изучении влияния газа на конкретную проблему. Большинство ученых выявили те или иные преимущества использования процесса озонирования, поэтому от дальнейших исследований отказываться не следует, а необходимо развивать и совершенствовать данное направление. Тем более доказано, что озонирование способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур [6].

В исследованиях процесса озонирования во время обработки и хранения зерна остается недостаточно изученным вопрос поведения озона внутри зернового вороха. При контакте газа с зерновкой происходит окисление органических компонентов. Часть озона распадается до кислорода [9]. При этом с целью снижения расхода озонородушной смеси подачу газа можно прекращать, но чтобы процесс озонирования не прерывался, необходимо узнать, в течение какого времени сохраняются свойства окислителя в зерновом ворохе. Для этого были проведены соответствующие исследования. Поскольку влажный ворох чаще всего на зерноочистительных агрегатах временно содержится в силосах, то решено было вентилировать зерно в относительно герметичной металлической емкости, подобные зернохранилища применяются в сельском хозяйстве [7].

Зерновой ворох повышенной влажности общей массой 24...26 кг помещали в емкость, которая в течение некоторого времени вентилировалась озонородушной смесью. Расход агента составлял 0,7 м³/ч. При этом озонородушная смесь подавалась в нижнюю часть емкости, чтобы озон полностью пронизывал ворох и постепенно вытеснял более легкий воздух. Затем озонатор выключали, после чего контролировали концентрацию озона прибором «Сигма-03» через определенный промежуток времени.

На первом этапе было выявлено, что озон в пустой емкости и в емкости, загруженной зерном, ведет себя по-разному. Следовательно, зерновой ворох оказывает влияние на процесс распада газа.

Поскольку наиболее актуальны исследования на культурах, которые имеют низкую влагоотдачу и плотную оболочку, то эксперимент провели на зерне кукурузы.

На следующем этапе в емкость загружали зерно кукурузы средней влажностью 35% при температуре воздуха 23°C. Вентилирование озонородушной смесью проводили в течение 10 мин. с последующим отключением озонатора до момента достижения уровня концентрации озона, близкого к ПДК. При этом компрессор не отключали, т. е. поток

воздуха внутри емкости сохранялся. Далее подачу газа возобновляли. Процесс озонирования повторяли через 10 мин. Так как используемый датчик позволял измерять концентрацию в диапазоне 0...5 мг/м³, то при больших значениях в таблице записывали показатель «более 5». Данные изменения концентрации озона в зерновом ворохе приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение концентрации озона в зерне кукурузы влажностью 35% при температуре окружающего воздуха 23°C

Время, мин. озонирования (суммарно) выхода газа	Концентрация озона, мг/м ³				
	10	10 (20)	10 (30)	10 (40)	10 (50)
0	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5
1	Более 5	Более 5	5,06	5,06	4,8
2	5,06	Более 5	2,10	0,64	2,06
3	-	Более 5	1,02	0,16	0,30
4	-	Более 5	0,72	0,06	0,10
5	0,14	Более 5	0,46		
6		Более 5	0,4		
7		Более 5	0,32		
8		5,06	0,26		
9		1,70	0,24		
10		1,24	0,2		
11		0,94	0,16		
12		0,76	0,14		
13		0,62			
14		0,50			
15		0,42			
16		0,34			
17		0,30			
18		0,24			
19		0,20			
20		0,16			
21		0,14			
Суммарное время снижения концентрации озона до уровня ПДК, мин.	5 мин.	21 мин.	12 мин.	4 мин.	3 мин. 30 сек.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что за первые 10 мин. озонирования время выхода озона из емкости составило 5 мин. Это можно объяснить тем, что газ не был связан с зерном и быстро выветрился потоком воздуха. За следующие 10 мин. озонирования озон успел проникнуть внутрь зерновки. Поэтому его концентрация внутри емкости сохранялась в течение 21 мин. За следующие 10 мин. озонирования озон все еще насыщал зерновку, но, видимо, его остаточная часть находилась уже внутри зерна, поэтому время выхода газа из емкости снизилось до 12 мин. В четвертый и пятый периоды озонирования зерновка, по-видимому, была уже насыщена данным химическим элементом, и весь озон был остаточным, поэтому быстро выветривался. При этом время выхода газа из емкости не превышало 4 мин. Следовательно, в данных условиях вентилировать зерно кукурузы озоновоздушной смесью более 30 мин. с точки зрения насыщения зерна озоном нецелесообразно.

Далее определяли, сохраняется ли вышеописанная тенденция поведения озона в зерновом ворохе при других начальных условиях.

На следующем этапе в емкость загружали зерно кукурузы средней влажностью 27% при температуре воздуха 22°C. Методика проведения эксперимента была полностью выдержана аналогично предыдущему опыту. Единственным изменением было уменьшение временных интервалов фиксирования концентрации озона до 30 сек. (табл. 2).

Таблица 2. Изменение концентрации озона в зерне кукурузы влажностью 27% при температуре окружающего воздуха 23°C

Время, мин. озонирования (суммарно) выхода газа	Концентрация озона, мг/м ³				
	10	10 (20)	10 (30)	10 (40)	10 (50)
0	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5
1 (1:30)	5,06	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5
2 (2:30)	0,56	Более 5	Более 5	Более 5	Более 5
3 (3:30)	0,2 (0,14)	Более 5	< 5 (5,06)	Более 5	Более 5
4 (4:30)		< 5 (5,06)	3,12 (2,32)	< 5 (4,82)	5,02 (3,70)
5 (5:30)		2,6 (2,02)	1,84 (1,52)	2,82 (2,16)	2,72 (2,14)
6 (6:30)		1,64 (1,36)	1,30 (1,16)	1,80 (1,50)	1,74 (1,46)
7 (7:30)		1,16 (1,02)	1,10 (1,00)	1,26 (1,12)	1,26 (1,12)
8 (8:30)		0,86 (0,76)	0,86 (0,76)	0,96 (0,86)	0,96 (0,86)
9 (9:30)		0,70 (0,62)	0,70 (0,62)	0,76 (0,70)	0,80 (0,70)
10 (10:30)		0,56 (0,50)	0,54 (0,50)	0,64 (0,56)	0,64 (0,56)
11 (11:30)		0,44 (0,40)	0,44 (0,42)	0,52 (0,50)	0,52 (0,46)
12 (12:30)		0,36 (0,34)	0,36 (0,34)	0,44 (0,40)	0,44 (0,40)
13 (13:30)		0,32 (0,26)	0,32 (0,30)	0,36 (0,34)	0,36 (0,34)
14 (14:30)		0,24 (0,24)	0,26 (0,24)	0,32 (0,30)	0,30 (0,26)
15 (15:30)		0,22 (0,20)	0,22 (0,20)	0,26 (0,24)	0,24 (0,24)
16 (16:30)		0,16 (0,14)	0,20 (0,14)	0,20 (0,18)	0,22 (0,20)
17 (17:30)				0,16 (0,14)	0,16 (0,14)
Суммарное время снижения концентрации озона до уровня ПДК, мин.	3 мин. 30 сек.	16 мин. 30 сек.	16 мин. 30 сек.	17 мин. 30 сек.	17 мин. 30 сек.

Из данных таблицы 2 видно, что на первых трех этапах полученные результаты согласуются с ранее описанным опытом. Однако в четвертый и пятый период озонирования тенденция предыдущего эксперимента была нарушена. Зерно продолжало насыщаться озоном и отдавать его в последующем. Следовательно, начальные условия озонирования влияют на данный процесс.

Аналогично термину влагоемкости зерна необходимо ввести понятие озоноемкости зерна, которое бы позволило количественно характеризовать озонотривающую способность органического материала. Другими словами, озоноемкость – это способность зерновки поглощать и удерживать в себе определенное количество газа за счет сорбционных сил и химических связей. В связи с этим было высказано предположение, что чем меньше влажность зерна, тем больше озона оно способно удержать.

На следующем этапе в емкость загружали зерно кукурузы средней влажностью 20% при температуре воздуха 16°C. Методика проведения эксперимента была немного изменена, озонирование проводили в течение 15 мин. В остальном условия соответствовали предыдущим опытам. В итоге были получены результаты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3. Изменение концентрации озона в зерне кукурузы влажностью 20% при температуре окружающего воздуха 16°C

Время, мин. озонирования (суммарно) выхода газа	Концентрация озона, мг/м ³		
	15	15 (30)	15 (45)
0	Более 5	Более 5 (5,06)	5,06 (2,8)
1	Более 5	4,2 (2,14)	1,84 (1,62)
2	Более 5	1,50 (0,8)	1,06 (0,76)
3	Более 5	0,60 (0,54)	0,66
4	Более 5	0,46 (0,44)	
5	Более 5 (5,06)	0,40 (0,38)	
6	3,88 (3,10)	0,36 (0,34)	0,36
7	2,70 (2,30)	0,32 (0,32)	
8	2,04 (1,90)	0,31 (0,30)	
9	1,66 (1,52)	0,28 (0,26)	
10	1,36 (1,30)	0,24 (0,22)	0,24
11	1,20 (1,12)		
12	1,04 (0,96)		
13	0,92 (0,86)		
14	0,80 (0,76)		
15	0,72 (0,66)		
16	0,64 (0,60)		
17	0,56 (0,54)		
18	0,52 (0,50)		
19	0,46 (0,44)		
20	0,42 (0,40)		
21	0,36 (0,34)		
22	0,34 (0,32)		

Анализ данных таблицы 3 показывает, что увеличение времени озонирования и снижение влажности зерна способствовали насыщению зерновки озоном уже на первом этапе. Даже вентиляция воздухом в течение 22 мин. не снизило концентрацию озона в емкости до уровня ПДК. Второй и третий периоды озонирования имели схожие результаты. Суммарное время опыта составило 2 часа, что на полчаса больше, чем в первых двух экспериментах. При этом сам процесс озонирования длился на 5 мин. меньше. Следовательно, период эксплуатации озонатора снизился, что экономически более выгодно.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью программы «Statistica 6.0», которая позволила определить уравнение регрессии. Время выхода озона в зависимости от периода озонирования и концентрации газа можно определить по формуле

$$t_{\text{вых}} = 1409,8857 - 30,7046 \cdot T_{\text{озон}} - 410,548 \cdot C_{\text{озон}} + 1,0043 \cdot T_{\text{озон}} \cdot C_{\text{озон}} + 0,3624 \cdot T_{\text{озон}}^2 + 48,5376 \cdot C_{\text{озон}}^2,$$

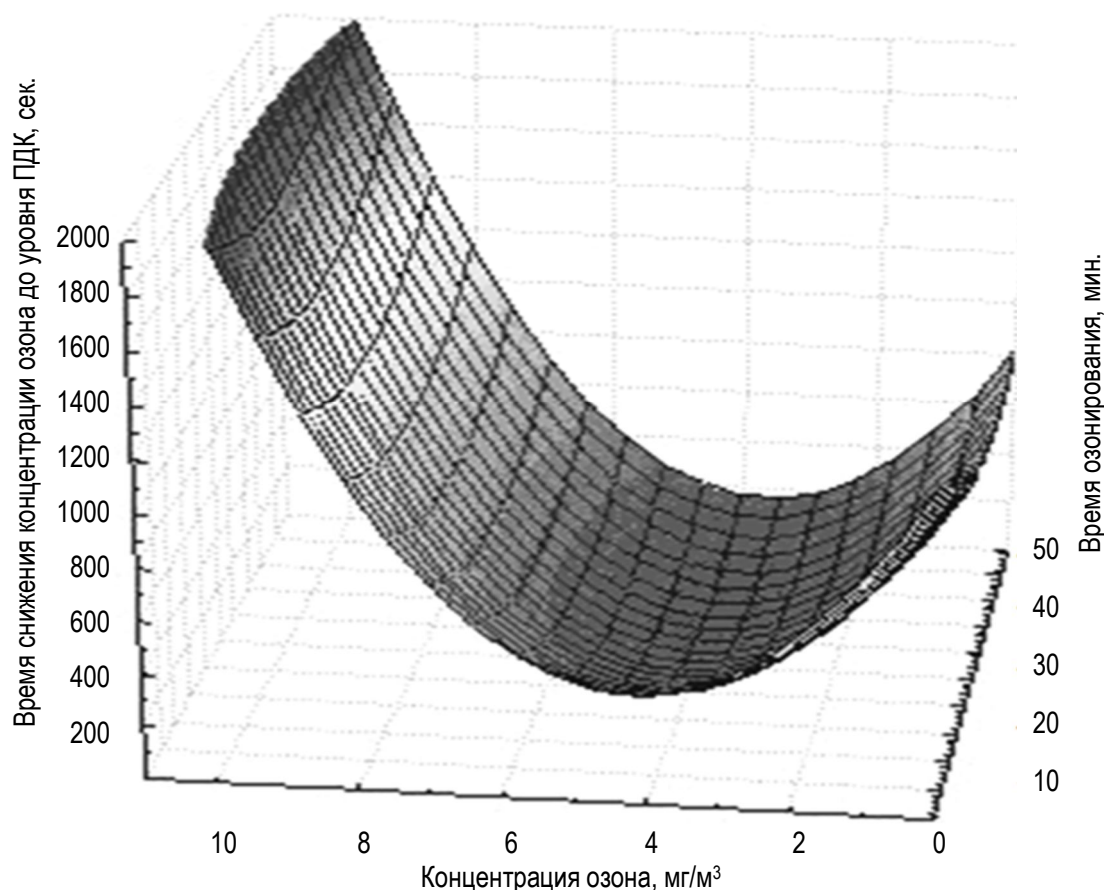
где $t_{\text{вых}}$ – время снижения концентрации озона до уровня ПДК, сек;

$T_{\text{озон}}$ – суммарное время озонирования, мин;

$C_{\text{озон}}$ – концентрация озона, мг/м³.

Определение значимости коэффициентов уравнения регрессии показало, что наибольшее влияние на процесс оказывает совокупность факторов в виде произведения концентрации озона и времени озонирования.

Графически данное выражение представлено на рисунке.



Зависимость изменения времени выхода озона из зерна кукурузы от концентрации озона и периода озонирования

Результаты проведенных исследований показывают, что исходное состояние зерна оказывает существенное влияние на насыщение зерновки озоном. На данном этапе можно констатировать, что влажность материала и температура воздуха оказывают определенное действие на данный процесс. Полученная зависимость свидетельствует, что в среднем время выхода газа из зернового вороха составляет 10 минут, а минимальный необходимый период озонирования составляет 33 минуты. Необходимо продолжить исследования с целью выявления степени влияния других факторов на процесс, а также экспериментального определения озоноемкости зерна при различных условиях.

Библиографический список

1. Авдеева В.Н. Предпосевная обработка семян пшеницы озоном / В.Н. Авдеева, Г.П. Стародубцева, С.И. Любая // *Аграрная наука*. – 2008. – № 5. – С. 19–20.
2. Ксенз Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Н.В. Ксенз. – Москва, 1992. – 27 с.
3. Механизация садоводства : учеб. пособие / И.В. Баскаков и др. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2011. – 100 с.
4. Нормов Д.А. Озон в отраслях АПК / Д.А. Нормов // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса* : сб. науч. тр. – Краснодар : КубГАУ, 2002. – С. 86–89.
5. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Д.А. Нормов. – Краснодар, 2009. – 307 с.

6. Озонирование семенного материала – резерв повышения урожайности зерновых культур / И.В. Баскаков и др. // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 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.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – Ч. II. – С. 10–16.

7. Пат. 2 659 904 Российская Федерация, МПК A01C1/00, A01F25/14 (2006.01). Хранилище семян / Р.Л. Чишко и др. ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2017111422 ; заявл. 04.04.2017 ; опубл. 05.07.2018, Бюл. № 19. – 7 с.

8. Сторчевой В.Ф. Ионизация и озонирование воздушной среды в птицеводстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / В.Ф. Сторчевой. – Москва, 2004. – 283 с.

9. Ткаченко С.Н. Гомогенное и гетерогенное разложение озона : дис. ... д-ра хим. наук : 02.00.04 / С.Н. Ткаченко. – Москва, 2004. – 398 с.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

Александр Павлович Тарасенко – 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: smachin@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 16.11.2018

Дата принятия к печати 10.12.2018

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.

Aleksandr P. Tarasenko – 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: smachin@agroeng.vsau.ru.

Received November 16, 2018

Accepted December 10, 2018