

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568726>

Оригинальное исследование



# Разработка воздушно-шнекового устройства для сушки, очистки и охлаждения зерна

С.Д. Шепелёв, М.В. Ческидов, Г.Н. Чирков

Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Для обеспечения качественной и безопасной сушки зерна необходимы правильный выбор сушилки и рациональное обоснование параметров процесса сушки. Разработка современных конструкций машин для сушки и очистки зерна является актуальной задачей.

**Цель работы** — анализ процесса сушки и очистки зерна и обоснование конструкции устройства для сушки, охлаждения и одновременной очистки зерна.

**Материалы и методы.** Для исследования процесса сушки и очистки зерна проведены анализ литературных источников и патентный поиск. Для обоснования конструкции устройства для сушки, охлаждения и одновременной очистки зерна были изучены перспективные машины для послеуборочной обработки зерна.

**Результаты.** Рассмотрены различные методы сушки зерна и проведен анализ с целью определения их эффективности и применимости. Существует риск возникновения проблем, связанных с неправильной сушкой зерна и негативных последствиях для сохранности зерна и его дальнейшей переработки. Для своевременной и качественной очистки и сушки зерна предлагается инновационная конструкция — мобильная воздушно-шнековая сушилка для зерна. Данное устройство проводит очистку зерна от легких сорных примесей с помощью воздушного потока и сьем поверхностной влаги из зерна благодаря продуванию его нагретым воздушным потоком. В статье подробно описана конструкция и принцип действия сушилки. Приводятся результаты предварительных экспериментов, подтверждающих работоспособность сушилки.

**Заключение.** Применение мобильных установок для сушки зерна является актуальным направлением в сельском хозяйстве. Использование сушилки с предлагаемой конструкцией позволит эффективно проводить послеуборочную обработку зерна. Установлено, что за один проход сьем влаги составил 4...5 %. Полученные результаты позволяют рекомендовать сушилку для использования в крестьянско-фермерских хозяйствах.

**Ключевые слова:** сушка зерна; очистка зерна; сепаратор; воздушный поток.

## Как цитировать:

Шепелёв С.Д., Ческидов М.В., Чирков Г.Н. Разработка воздушно-шнекового устройства для сушки, очистки и охлаждения зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90 № 6. С. 499–505. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568726>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568726>

Original Study Article

# Development of the mobile air-auger device for grain drying, cleaning and cooling

Sergey D. Shepelev, Maxim V. Cheskidov, Grigory N. Chirkov

South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Correct selection of a grain dryer and reasonable justification of the drying process parameters are necessary to ensure qualitative and safe drying of grain. Development of state-of-the-art designs of machines for drying and cleaning of grain is a relevant task.

**AIM:** Analysis of the process of drying and cleaning of grain and justification of the design of a device for drying, cooling and simultaneous cleaning of grain.

**METHODS:** In order to study the process of drying and cleaning of grain, the literature sources were analyzed, patent search was carried out. To justify the design of the device for drying, cooling and simultaneous cleaning of grain, promising machines for post-harvest grain processing were studied.

**RESULTS:** Various methods of grain drying are considered and analyzed to determine their effectiveness and applicability. There is a risk of problems associated with improper drying of grain and negative consequences for the safety of grain and its further processing. The innovative design of the mobile air-auger dryer for grain is offered for timely and qualitative cleaning and drying of grain. This device cleans grain from light weeds by means of air flow and removes surface moisture from grain by blowing it with heated air flow. The design and principle of operation of the dryer are described in detail in the paper. The results of preliminary experiments confirming the operability of the dryer are given.

**CONCLUSIONS:** The use of mobile units for grain drying is a relevant trend in agriculture. The use of a dryer with the proposed design helps to carry out post-harvest processing of grain effectively. It is found that the one-pass moisture removal is 4...5 %. The obtained results make it possible to recommend the dryer for use in peasant-farming farms.

**Keywords:** grain drying; grain cleaning; grain separator; air flow.

## To cite this article:

Shepelev SD, Cheskidov MV, Chirkov GN. Development of the mobile air-auger device for grain drying, cleaning and cooling. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(6):499–505. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568726>

Received: 23.08.2023

Accepted: 01.12.2023

Published online: 15.12.2023

## ВВЕДЕНИЕ

В сельском хозяйстве сушка зерна — необходимый процесс для сохранения качества и предотвращения порчи зерна. Важность этого процесса заключается в том, что зерно, собранное с поля, имеет высокую влажность 20–30% [1], которая может привести к развитию грибков, бактерий и других микроорганизмов, являющихся причиной порчи урожая. Кроме того, хранение зерна с влажностью выше рекомендованных 14% приводит к уменьшению питательных свойств зерна.

Для обеспечения качественной и безопасной сушки зерна необходим правильный выбор сушилки и рациональное обоснование параметров процесса сушки. Сушилки для зерна — это специальные устройства, которые используются для ускорения процесса сушки зерна, путём удаления излишней влаги.

В литературных источниках рекомендуемая влажность зерна, закладываемого на хранение, составляет 13–15% (таблица 1).

В настоящее время стоит задача интенсифицировать процесс сушки зерна за счёт разработки новой конструкции сушилки и одновременной очистки зерна от сорных примесей.

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ СУШКИ И ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ СУШИЛОК

Существует несколько типов сушилок для зерна, которые могут различаться по принципу работы, мощности и размеру. В сельскохозяйственном производстве наиболее распространены барабанные и шахтные зерносушилки. Одним из типов сушилок являются мобильные сушилки. Сушилки данного типа обычно используются на месте сбора урожая, и могут быть легко перемещены с поля на поле в зависимости от необходимости. Они могут иметь различную мощность и размер, и обычно оснащены нагревателями, вентиляторами и другими компонентами для быстрой и эффективной сушки зерна. Мобильные зерносушилки используются в фермерских хозяйствах и других организациях АПК с мелкотоварным (до 1000 т зерна) и среднетоварным (до 3000 т зерна) производством [1, 3]. Это обусловлено сравнительно низкой ценой сушилки

и меньшей производительностью по сравнению со стационарными аналогами.

После сбора урожая важно в короткие сроки провести не только сушку, но и очистку зерна от примесей [4]. Для очистки зерна от примесей применяют воздушно-шнековые сепараторы. Это специальное оборудование, которое используется для очистки зерна от различных примесей, таких как пыль, мелкие камни, солома, семена сорных растений и другие нежелательные элементы, которые могут находиться в массе зерна после уборки урожая. Данные сепараторы могут также использоваться для разделения зерна на разные категории по размеру, весу и плотности [5]. Принцип их работы основан на использовании воздушных потоков, которые перемещают и разделяют зерновой ворох. Зерно подается на шнек, который переносит его внутри корпуса, в то время как воздушный поток движется навстречу зерновому потоку. Воздушный поток, воздействует с различной силой на зерно в зависимости от размера и веса частиц зернового вороха. Благодаря этому, зерно, отличающееся по аэродинамическим свойствам, отделяется от сорных примесей [6, 7].

Воздушно-шнековые сепараторы для зерна имеют различные размеры и мощность, что позволяет использовать их для разных типов зерна и объёмов уборки урожая. Они могут быть полуавтоматическими или полностью автоматическими, что облегчает процесс очистки и сортировки зерна и уменьшает затраты на трудовые ресурсы. Они также могут быть мобильными, что позволяет использовать их на месте сбора урожая. К главным преимуществам зерносушилок малой производительности можно отнести возможность обработки зерна практически любой исходной влажности, а также высокую равномерность сушки [8, 9].

Однако, в настоящее время должным образом не рассмотрен вопрос возможности проведения одновременного процесса очистки и сушки в воздушно-шнековом сепараторе.

## ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Устройство для сушки, охлаждения и одновременной очистки зерна можно использовать для параллельной сушки и очистки зерна. Технический результат работы предлагаемой конструкции сушилки достигается за счёт того,

**Таблица 1.** Сроки безопасного хранения зерна пшеницы при различных значениях влажности и температуры [2]

**Table 1.** Safe storage periods of wheat grain at various values of humidity and temperature [2]

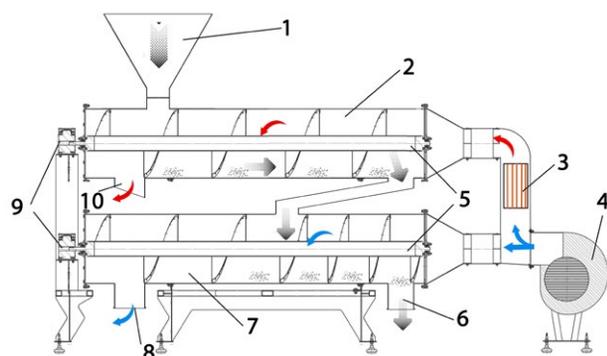
Влажность зерна, %	Температура зерна, °С	Срок хранения, мес.
13,0–15,5	10	12
до 14,5	20	12
14,5–15,5	20	10–11
13,0–13,9	30	3
14,0–14,5	30	2

что обработка зернового вороха разделена на два этапа. Первый этап включает в себя нагрев зернового вороха горячим воздушным потоком и стенками сепаратора. На первом этапе также удаляется часть лёгких сорных примесей. Второй этап включает в себя охлаждение зернового вороха воздушным потоком с температурой равной температуре окружающей среды. При этом происходит окончательный съём влаги из зерна. Конструктивно-технологические параметры второго этапа позволяют дополнительно проводить очистку зерна от лёгких примесей. Согласованность параметров сушки и очистки позволяют непрерывно проводить процесс обработки зерна, обеспечивая высокое качество и производительность этого процесса.

Для рационального процесса съёма влаги во время очистки зерна необходимо использовать два рабочих органа, соединённых между собой последовательно, рис. 1.

Сушилка включает в себя два рабочих органа для сушки и охлаждения зерна, которые жёстко соединены с помощью промежуточного патрубка. Первый рабочий орган 2 служит для сушки зерна содержит шнек 5, закреплённый в корпусе 2. Шнек вращается за счёт передаточного механизма 9. Приёмно-загрузочное устройство 1 расположено в левой верхней части корпуса. Нагнетательный патрубок для воздушного потока с нагревательным элементом 3, вентилятором 4 и дроссельной заслонкой установлен в правой части корпуса. Патрубки 8 и 10 для выхода воздуха, расположены в левой нижней части корпуса. Нагревательный элемент 3 обеспечивает нагрев проходящего через нагнетательный патрубок воздуха до необходимой температуры.

Рабочий орган для охлаждения зерна 7 содержит шнек 5, закреплённый в корпусе 7, который вращается за счёт передаточного механизма 9.



**Рис. 1.** Схема работы конструкции сушилки: 1 — загрузочный бункер, 2 — первая секция, 3 — нагревательный элемент, 4 — вентилятор, 5 — шнеки, 6 — окно выхода очищенного зерна, 7 — вторая секция, 8 — окно для вывода сорных примесей, 9 — электрические приводы вращающие шнеки, 10 — окно вывода горячего воздуха.

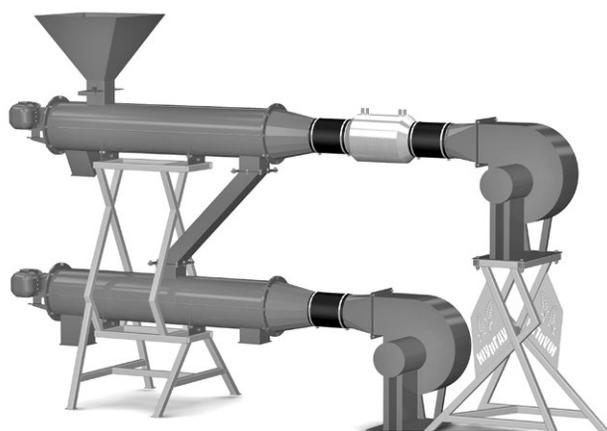
**Fig. 1.** Schematic diagram of operation of the dryer's design: 1 — a loading hopper, 2 — the first section, 3 — a heating element, 4 — a fan, 5 — augers, 6 — a window of output of cleaned grain, 7 — the second section, 8 — a window for output of weed impurities, 9 — electric drives for rotation of the augers, 10 — a window of hot air output.

Сушилка работает следующим образом. Влажное зерно из приёмно-загрузочного устройства 1 поступает в корпус 2 рабочего органа, предназначенного для сушки. Далее оно шнеком 5 перемещается в сторону промежуточного патрубка. Воздушный поток, создаваемый вентилятором 4 со скоростью, регулируемой дроссельной заслонкой, проходя через нагнетательный патрубок, нагревается нагревательным (тепловым) элементом 3 до необходимой по технологическим требованиям температуры и поступает в сепарирующий канал, образованный корпусом 2 и шнеком 5, где он, нагревая зерно, производит съём влаги, которая выводится через патрубок 10. Нагретое зерно выводится шнеком 5 через промежуточный патрубок во второй рабочий орган. Эффект очистки зерна усиливается благодаря закручиванию воздушного потока в сепарирующем канале и постоянном перемешивании зерна. Далее зерно поступает в корпус 7 рабочего органа, предназначенного для охлаждения. Далее оно шнеком 5 перемещается в сторону выходного патрубка 6. Воздушный поток, создаваемый вентилятором 4 со скоростью, регулируемой дроссельной заслонкой, поступает в сепарирующий канал, образованный корпусом 7 и шнеком 5, где он подхватывает лёгкие частицы и уносит их через выходной патрубок 8. Охлаждённое и очищенное зерно выводится шнеком 5 через выходной патрубок 6. Эффект сушки зерна усиливается благодаря зоне охлаждения зерна и корректировке скорости перемещения зерна в рабочих органах устройства в зависимости от его влажности [10]. Обдув нагретого зерна холодным воздушным потоком приводит к съёму влаги, позволяя значительно снизить влажность зернового вороха.

Основными технологическими параметрами первой секции, влияющими на процесс сушки зерна, являются: частота вращения шнека, скорость воздушного потока, температура воздушного потока. Увеличение скорости и температуры воздушного потока и снижение угловой скорости шнека позволят интенсифицировать процесс сушки. При этом скорость воздушного потока лимитирована пределом, при котором цельное зерно начнёт захватываться воздушным потоком и выноситься через окно для выхода горячего воздуха. Экспериментальные исследования показали, что такая скорость воздушного потока находится в пределах 10...12 м/с. Температуру воздушного потока необходимо подбирать исходя из влажности зерна, типа зерна (товарное, семенной материал), частоты вращения шнека, чтобы не допустить перегрев зерна и его порчу. На основании полученных данных была спроектирована инновационная конструкция сушилки, рис. 2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение мобильных установок для сушки зерна является актуальным направлением в сельском хозяйстве. Использование сушилки с предлагаемой конструкцией позволит эффективно проводить послеуборочную обработку



**Рис. 2.** Модель сушиллки.  
**Fig. 2.** A model of the dryer.

зерна. Установлено, что за один проход сѐм влаги составил 4...5 %. Полученные результаты позволяют рекомендовать сушиллку для использования в крестьянско-фермерских хозяйствах.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад авторов** Г.Н. Чирков — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, создание 3Д модели; М.В. Ческидов — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи, подготовка рисунков; С.Д. Шепелѐв — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жанахов, А. С. Преимущества мобильных зерносушилок. В кн.: Методы механики в решении инженерных задач: Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, Курган, 11 октября 2018 года. Курган: Курганская ГСХА, 2018. С. 25–28. EDN ZBDFAT
2. Кечкин И.А. Особенности хранения зерна злаковых культур в металлических силосах и его охлаждения активным вентилированием. В кн.: XI Международная научно-практическая конференция молодых учёных ФГБНУ «ВНИИМП им. В.М. Горбатова». М.: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2016. С. 131–134. EDN: XXWOIJ
3. Панов М.В., Ступаков И.О. Применение мобильных малогабаритных зерносушилок для зерна пшеницы // Молодежь и наука. 2018. № 1. С. 42. EDN UVZBLY
4. Okunev G., Shepelev S., Kuznetsov N., et al. An Integrated Approach to the Implementation of Resource-Saving Technologies in Dryland Farming. In: XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer, 2023. Vol. 574. P. 587–593. EDN XITVRD, doi: 10.1007/978-3-031-21432-5\_61
5. Патент РФ № 2552037 / 10.06.2015. Бюл. № 16. Шепелев С.Д., Федоров В.А., Окунев Г.А. и др. Воздушно-шнековое устройство.

международным критериям *ICMJE*. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведѐнным исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям), договор (соглашение) № 18107ГУ/2022.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** G.N. Chirkov — literature review, collection and analysis of literary sources, building the 3D-model; M.V. Cheskidov — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article, preparation of figures; S.D. Shepelev — collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the article; All authors contributed significantly to the conceptualization, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** Federal State Budgetary Institution "Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology" (Innovations Assistance Foundation), contract (agreement) № 18107GU/2022.

Дата обращения: 23.08.2023. Режим доступа: [https://patents.s3.yandex.net/RU2552037C1\\_20150610.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2552037C1_20150610.pdf) EDN ZFHIXD

6. Shepelev S.D., Cheskidov M.V., Troyanovskaya I.P. Justification of Design and Technological Parameters for Air-Screw Separator. In: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2021. P. 151–157. EDN RKNUZK, doi: 10.1007/978-3-030-54814-8\_18

7. Ческидов М.В., Чирков Г.Н., Ваганов Д.Е. Повышение эффективности воздушно-шнекового сепаратора за счет дифференциации скорости воздушного потока. В кн.: Современные тенденции агроинженерных наук и инновационные технологии в сельском хозяйстве: Материалы Международной научно-практической конференции Института агроинженерии, Челябинск, 17–19 ноября 2021 года. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2021. С. 147–152. EDN FFZTGG

8. Зимин И.Б. Инновационные направления в развитии зерносушильной техники для фермерских хозяйств. В кн.: Научное обеспечение инновационного развития АПК: материалы международной научно-практической конференции, Великие Луки, 18 мая 2020 года. Великие Луки: Великолукская ГСХА, 2020. С. 160–175. EDN HHQLTR

9. Данилов Д.Ю., Казаков С.С., Криштанов Е.А. и др. Разработка мобильной зерносушилки и обоснование ее конструктивно-режимных параметров // *Аграрная наука*. 2022. № 11. С. 122–127. EDN TSAVHX, doi: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-122-127
10. Патент РФ 218422 / 25.05.2023 Бюл. № 15. Шепелев С.Д.,

Ческидов М.В., Чирков Г.Н. Воздушно-шнековое устройство для сушки, очистки и охлаждения зерна. Дата обращения: 23.08.2023. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=bca64a9cf3d2d0ab8d772e4c43f89ad5> EDN: PEHVUZ

## REFERENCES

- Zhanakhov A.S. Advantages of mobile grain dryers. In: *Methods of mechanics in solving engineering problems: Collection of articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Kurgan, October 11, 2018*. Kurgan: Kurganskaya GSKhA; 2018;25–28. (In Russ). EDN: ZBDFAT
- Kechkin IA. Features of storing cereal grains in metal silos and cooling them by active ventilation. In: *XI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists of the FGBNU "VNIIMP named after. V.M. Gorbатов."* Moscow: FNTs pishchevykh sistem im VM Gorbatova; 2016:131–134. (In Russ). EDN: XXWOIJ
- Panov MV, Stupakov IO. Application of mobile small-sized grain dryers for wheat grain. *Molodezh i nauka*. 2018;1:42. (In Russ). EDN: VZBLY
- Okunev G, Shepelev S, Kuznetsov N, et al. An Integrated Approach to the Implementation of Resource-Saving Technologies in Dryland Farming. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer; 2023;574:587–593. (In Russ). EDN: XITVRD, doi: 10.1007/978-3-031-21432-5\_61
- Patent RUS № 2552037 / 10.06.2015. Byul. № 16. Shepelev SD, Fedorov VA, Okunev GA, et al. *Vozdushno-shnekovoe ustroystvo*. Cited: 23.08.2023. Available from: [https://patents.s3.yandex.net/RU2552037C1\\_20150610.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2552037C1_20150610.pdf) EDN: ZFHIXD (In Russ).
- Shepelev SD, Cheskidov MV, Troyanovskaya IP. Justification of Design and Technological Parameters for Air-Screw Separator.

In: *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer; 2021:151–157. (In Russ). EDN: RKNUZK, doi: 10.1007/978-3-030-54814-8\_18

- Cheskidov MV, Chirkov GN, Vaganov DE. Increasing the efficiency of an air-screw separator by differentiating the air flow speed. In: *Modern trends in agricultural engineering sciences and innovative technologies in agriculture: Materials of the International Scientific and Practical Conference of the Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, November 17–19, 2021*. Chelyabinsk: Yuzhno-Uralskiy GAU; 2021:147–152. (In Russ). EDN: FFZTGG
- Zimin IB. Innovative directions in the development of grain drying equipment for farms. In: *Scientific support for innovative development of the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference, Velikiye Luki, May 18, 2020*. Velikiye Luki: Velikolukskaya GSKhA; 2020;160–175. (In Russ). EDN: HHQLTR
- Danilov DYU, Kazakov SS, Krishtanov EA, et al. Development of a mobile grain dryer and justification of its design and operating parameters. *Agrarnaya nauka*. 2022;11:122–127. (In Russ). EDN: TSAVHX, doi: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-122-127
- Patent RUS 218422 / 25.05.2023 Byul. № 15. Shepelev SD, Cheskidov MV, Chirkov GN. *Vozdushno-shnekovoe ustroystvo dlya sushki, ochistki i okhlazhdeniya zerna*. Cited: 23.08.2023. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=bca64a9cf3d2d0ab8d772e4c43f89ad5> (In Russ). EDN: PEHVUZ

## ОБАВТОРАХ

### \* Ческидов Максим Владимирович,

канд. техн. наук,  
старший преподаватель кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, и технологии и механизации животноводства;  
адрес: Российская Федерация, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 75;  
ORCID: 0000-0002-5281-6226;  
eLibrary SPIN: 7906-6068;  
e-mail: richi7474@yandex.ru

### Шепелёв Сергей Дмитриевич,

профессор, д-р техн. наук,  
проректор по научной и инновационной работе;  
ORCID: 0000-0003-2578-2005;  
eLibrary SPIN: 4848-4782;  
e-mail: nich@sursau.ru

### Чирков Григорий Николаевич,

аспирант института агроинженерии;  
ORCID: 0009-0002-7778-6737;  
eLibrary SPIN: 6906-9467;  
e-mail: chirkov174@mail.ru

## AUTHORS' INFO

### \* Maxim V. Cheskidov,

Cand. Sci. (Engineering),  
Senior Lecturer of the Operation of Machine and Tractor Fleet, and Technology and Mechanization of Livestock Husbandry Department;  
address: 75 Lenin Avenue, 454080 Chelyabinsk, Russian Federation;  
ORCID: 0000-0002-5281-6226;  
eLibrary SPIN: 7906-6068;  
e-mail: richi7474@yandex.ru

### Sergey D. Shepelev,

Professor, Dr. Sci. (Engineering);  
Vice-Rector for Research and Innovation;  
ORCID: 0000-0003-2578-2005;  
eLibrary SPIN: 4848-4782;  
e-mail: nich@sursau.ru

### Grigory N. Chirkov,

Postgraduate of the Institute of Agricultural Engineering;  
ORCID: 0009-0002-7778-6737;  
eLibrary SPIN: 6906-9467;  
e-mail: chirkov174@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author