

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.171

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_136

EDN: TJAOTM

Определение параметров воздушно-шнекового сепаратора с переменным шагом винта

Сергей Дмитриевич Шепелёв^{1✉}, Максим Владимирович Ческидов²,

Григорий Николаевич Чирков³

^{1,2,3}Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

¹Shepelev2@ya.ru[✉]

Аннотация. Наиболее важными этапами при уборке зерновых культур, влияющими на качество зерна, являются его предварительная очистка и сушка. В настоящее время для очистки зерна используют воздушные сепараторы. Повысить эффективность очистки можно за счет использования винтового аспирационного канала с рациональными параметрами конструкции и режимом работы, при которых качество отделения сорных примесей будет наивысшим. Воздушно-шнековый сепаратор (ВШС) представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого вращается шнек. Зерновой ворох поступает в корпус (для регулировки подачи вороха служит заслонка) и далее шнеком перемещается в бункер. Встречный воздушный поток, подаваемый вентилятором, двигаясь по горизонтальному винтовому аспирационному каналу, захватывает легкие частицы и уносит их в выходной патрубок. Проведено компьютерное моделирование работы сепаратора, диаметр рабочего органа которого равен 0,3 м, длина – 1,3 м. Определено, что скорость воздушного потока в горизонтальном винтовом аспирационном канале рабочего органа сепаратора составляет 7,1–7,9 м/с. В начале шнека шаг равен 0,17 м, при этом скорость воздушного потока находится в диапазоне от 7 до 11 м/с, давление – 56–100 Па. При этих параметрах легкие сорные частицы удаляются с поверхности слоя перемещаемого сепарируемого зерна. Начиная с четвертого витка, шаг шнека равен 0,26 м, при этом скорость воздушного потока составляет 6,0–7,9 м/с, давление – 40–70 Па. Применение компьютерного моделирования позволяет получить данные о характере течения воздушного потока в аспирационном канале сепаратора. Экспериментальными исследованиями подтверждена достоверность полученных данных, расхождение теоретических и экспериментальных результатов не превышает 5%. ВШС с переменным шагом винта позволяет локально повысить скорость воздушного потока для обеспечения отделения сорных легких частиц, за счет чего производительность сепаратора увеличивается на 30%, при этом качество очистки соответствует агротехническим требованиям.

Ключевые слова: воздушно-шнековый сепаратор, воздушный поток, зерновой ворох, компьютерное моделирование, степень очистки, качество сепарируемого зерна

Для цитирования: Шепелёв С.Д., Ческидов М.В., Чирков Г.Н. Определение параметров воздушно-шнекового сепаратора с переменным шагом винта // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 3(78). С. 136–142. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_136-142.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Parametrization procedure for an air-screw separator with a variable propeller pitch

Sergey D. Shepelev^{1✉}, Maksim V. Cheskidov², Grigory N. Chirkov³

^{1,2,3}South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia

¹Shepelev2@ya.ru[✉]

Abstract. The most important stages in the harvesting of grain crops that affect the quality of grain are its pre-cleaning and drying. Currently, air separators are used to separate grain. It is possible to increase the efficiency of separation by using a screw aspiration channel with rational design parameters and operating mode. Due to such constructional features the quality of separation from weed impurities will be the highest. The air-screw separator (ASS) is a cylindrical body inside which the screw rotates. The grain heap enters the housing (a flap is used to adjust the supply of the heap) and then moves into the hopper with a screw. The counter airflow supplied by the fan, moving along the horizontal screw aspiration channel, captures light particles and carries them to the outlet pipe. The author fulfilled process modeling study on the laboratory set up of the air-screw separator, the diameter of the working body and the length of which were 0.3 m and 1.3 m, respectively. It was determined that the air flow velocity in the horizontal screw aspiration channel of the working body of the separator was 7.1–7.9 m/s. At the beginning of the screw, the pitch was 0.17 m, while the air flow velocity was in the range from 7 to 11 m/s, the

pressure was 56-100 Pa. With these parameters, light weed particles were removed from the surface of the layer of the transported separated grain. Starting from the fourth screw flighting, the pitch of the propeller was 0.26 m, while the air flow velocity was 6.0–7.9 m/s, the pressure was 40-70 Pa. Through the use of computer generated simulation it is possible to obtain data on the nature of the air flow in the aspiration channel of the separator. Experimental studies have confirmed the reliability of the data obtained, the discrepancy between theoretical and experimental results does not exceed 5%. The air-screw separator with variable propeller pitch enables local increase of the air flow velocity to ensure the separation from light weed particles, due to which the productivity of the separator increases by 30%, while the quality of separation meets agrotechnical requirements.

Keywords: air-screw separator, air flow, grain heap, computer generated simulation, degree of cleaning (separation), quality of separated grain

For citation: Shepelev S.D., Cheskidov M.V., Chirkov G.N. Parametrization procedure for an air-screw separator with a variable propeller pitch. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(3):136-142. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_136-142.

Основой растениеводческой отрасли АПК РФ является производство зерновых и зернобобовых культур, удельный вес которых в структуре посевных площадей превышает 50%. Высокие урожаи и, как следствие, рост экспортного потенциала позволили России занять лидирующие позиции в рейтинге мировых экспортеров пшеницы и ячменя. Дальнейшее развитие российского зернового рынка, по мнению специалистов, возможно в направлении повышения качества зерновой продукции.

Наиболее важными этапами при уборке, влияющими на итоговое качество и, как следствие, стоимость зерна, являются его предварительная очистка и сушка [1, 2]. Для отделения легких примесей, таких как части стеблей, шелуха, полова, битое зерно, пыль, используется принцип разделения смеси в воздушном потоке на основании разницы в аэродинамических свойствах и массе частиц.

Зерновые культуры на этапе хранения подвержены процессу самосогревания, что также негативно сказывается на качестве зернового материала. Инженерными работниками разработаны различные способы доведения зернового вороха до определенных кондиций по влажности, засоренности и др. [3–6].

В настоящее время для очистки зерна на аэродинамическим свойствам используют воздушные сепараторы. Повысить эффективность очистки зерна в воздушных сепараторах можно за счет использования винтового аспирационного канала с рациональными параметрами конструкции и режимом работы, при которых качество отделения сорных примесей будет наивысшим.

Для изучения влияния параметров воздушно-шнекового сепаратора на эффективность очистки была разработана и изготовлена лабораторная установка воздушно-шнекового сепаратора (рис. 1).

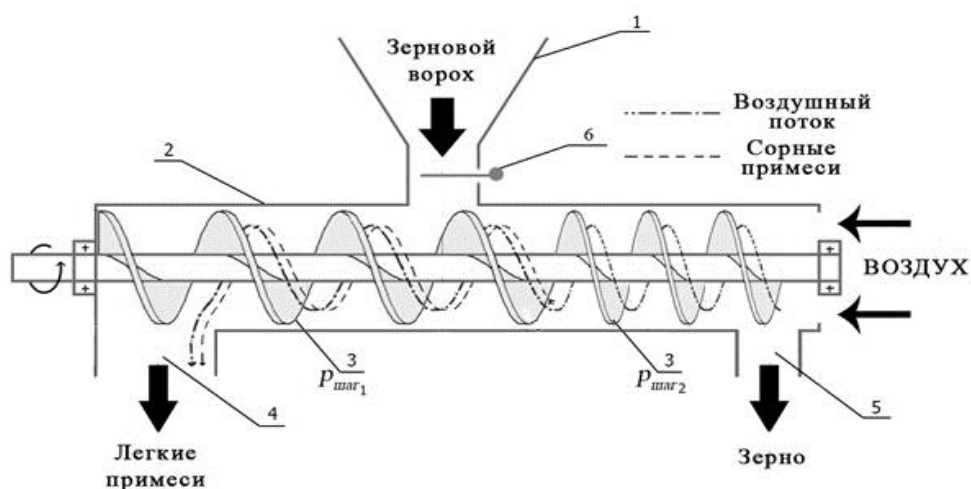


Рис. 1. Схема воздушно-шнекового сепаратора с переменным шагом винта

Рабочий орган воздушно-шнекового сепаратора с горизонтальным винтовым аспирационным каналом состоит из корпуса 2, внутри которого установлен шнек 3. Шнек и корпус вместе образуют горизонтальный винтовой аспирационный канал. Шнек вращается за счет двигателя с редуктором, при этом частота вращения шнека составляет 60–70 об/мин. Корпус рабочего органа сепаратора включает в себя трубу, диаметр которой равен внешнему диаметру шнека с минимальным зазором между стенкой трубы и шнеком, допускающим его свободное вращение.

В конструкции предусмотрены приемно-загрузочное устройство 1, окна выхода воздуха и легких примесей 4 и для вывода очищенного зерна 5. Для регулирования объема подаваемой продукции предусмотрена заслонка 6. В правой части корпуса 2 установлен центробежный вентилятор (на чертеже не показан) с регулирующей заслонкой, позволяющей менять скорость воздушного потока.

Процесс сепарирования в воздушно-шнековом сепараторе проходит следующим образом. Из приемно-загрузочного устройства зерновой ворох поступает в рабочий орган сепаратора. Далее он шнеком перемещается в сторону выгрузного окна. Поток воздуха, подаваемый вентилятором в винтовой аспирационный канал, направлен в сторону окна выхода сорных примесей. Поток воздуха захватывает легкие частицы и уносит их в окно выходного патрубка, при этом приемно-загрузочное устройство является постоянно заполненным благодаря непрерывной подаче зерна, что препятствует выходу воздушного потока через приемно-загрузочное устройство. Ворох без содержания легких сорных примесей перемещается шнеком в окно для вывода очищенного зерна.

Трудоемкость изучения процесса разделения частиц в воздушных сепараторах обусловлена характером течения воздушного потока, который зачастую является турбулентным. Развитие в последнее время программных систем конечно-элементного анализа позволяет более детально анализировать процесс сепарирования и создавать новые решения для повышения эффективности очистки [8, 9].

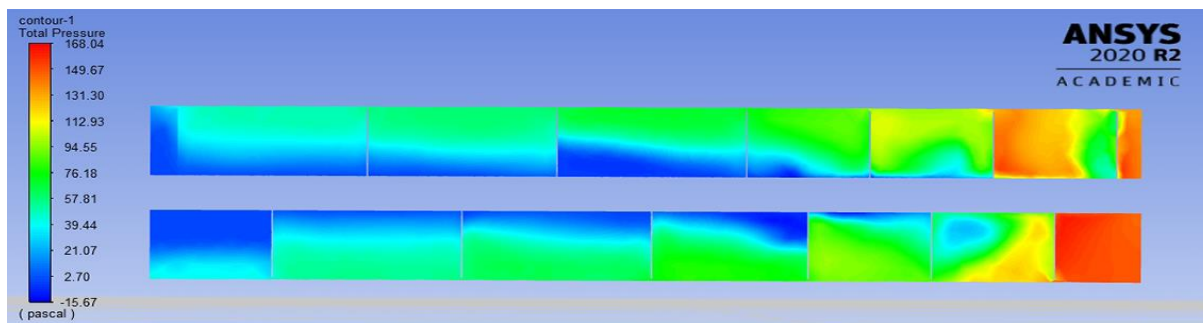
Основной процесс разделения зернового вороха происходит в области шнека под загрузочным бункером. В зоне $P_{шаг2}$ зерновой слой перемещается и перемешивается шнеком, однако при применении шнека с постоянным шагом винта воздушный поток не способен захватить сорные частицы из перемешиваемого слоя при его транспортировке. Устранить данный недостаток можно за счет применения шнека с переменным шагом. У части шнека, расположенной между местом ввода зерна 1 и отверстием для вывода очищенного зерна 5, расстояние между витками было меньше на 30%, чем расстояние между витками у части шнека, расположенной между выходным патрубком 4 и загрузочным устройством 1.

Скорость воздушного потока в зоне $P_{шаг2}$ выше, чем в зоне $P_{шаг1}$, за счет уменьшения шага шнека, благодаря этому подъемная сила отрывает легкие сорные частицы с поверхности слоя, далее воздушный поток выносит их из аспирационного канала сепаратора [5].

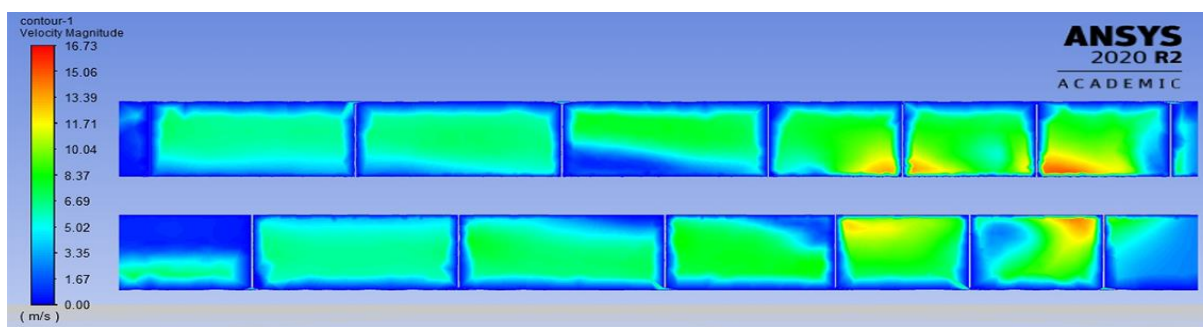
Основываясь на анализе современного опыта проведения исследований характеристик потоковых процессов в вычислительной гидродинамике, было принято решение использовать программный продукт ANSYS Fluent для изучения движения частиц зернового вороха в предлагаемом сепараторе [5, 10]. Данная программа представляет набор мощных решателей и пре-/постпроцессоров для моделирования течений жидкостей и газов с учетом турбулентности, межфазного взаимодействия, химических реакций и др.

Для определения параметров воздушного потока была создана компьютерная модель рабочего органа сепаратора с диаметром рабочего органа 0,3 м, длиной 1,3 м. Шаг винта переменный, три витка шнека имеют шаг 0,17 м, далее три витка шнека имеют шаг 0,26 м.

Выявлено, что скорость воздушного потока в горизонтальном винтовом аспирационном канале рабочего органа сепаратора составляет 7,1–7,9 м/с. В начале шнека скорость воздушного потока находится в пределах от 7 до 11 м/с, давление – 56–100 Па (рис. 2). При этих параметрах легкие сорные частицы удаляются с поверхности слоя перемещаемого зерна. Начиная с четвертого витка скорость воздушного потока составляет 6,0–7,9 м/с, давление – 40–70 Па.



а



б

Рис. 2. Давление (а) и скорость (б) воздушного потока в винтовом аспирационном канале с различным шагом

Для проведения экспериментальных исследований и изучения процесса сепарирования зернового вороха в аспирационном канале изготовлен опытный образец воздушно-шнекового сепаратора с переменным шагом винта. Геометрические параметры экспериментальной установки соответствуют параметрам компьютерной модели (рис. 3).

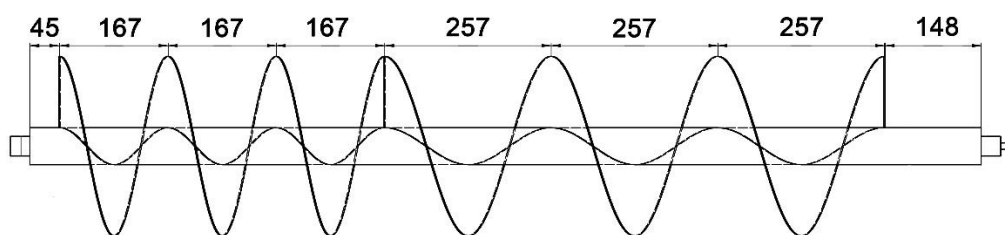


Рис. 3. Шнек ВШС с переменным шагом

Вращение шнека обеспечивает мотор-редуктор с асинхронным двигателем мощностью 0,75 кВт. Частота вращения шнека меняется посредством частотного преобразователя в диапазоне от 20 до 100 об/мин.

Конструкция установки позволяет менять массу подаваемого зерна в пределах от 0,2–3,0 т/ч. Для подачи в рабочий орган воздушного потока применялся центробежный вентилятор ВР 300-45-3,15 мощностью 1,25 кВт и частотой вращения 1500 об/мин.

Для определения параметров воздушного потока в винтовом канале рабочего органа сепаратора использовался дифференциальный манометр TROTEC TA400, позволяющий измерять скорость воздушного потока в диапазоне 1–80 м/с и давление 0–5000 Па.

В ходе проведения экспериментальных исследований осуществляли замеры давления и скорости воздушного потока в аспирационном канале рабочего органа сепаратора. Замеры проводились в двух местах: в части шнека с меньшим шагом и в части шнека с большим шагом (рис. 4). Полученные экспериментальные данные соответствуют теоретическим исследованиям.

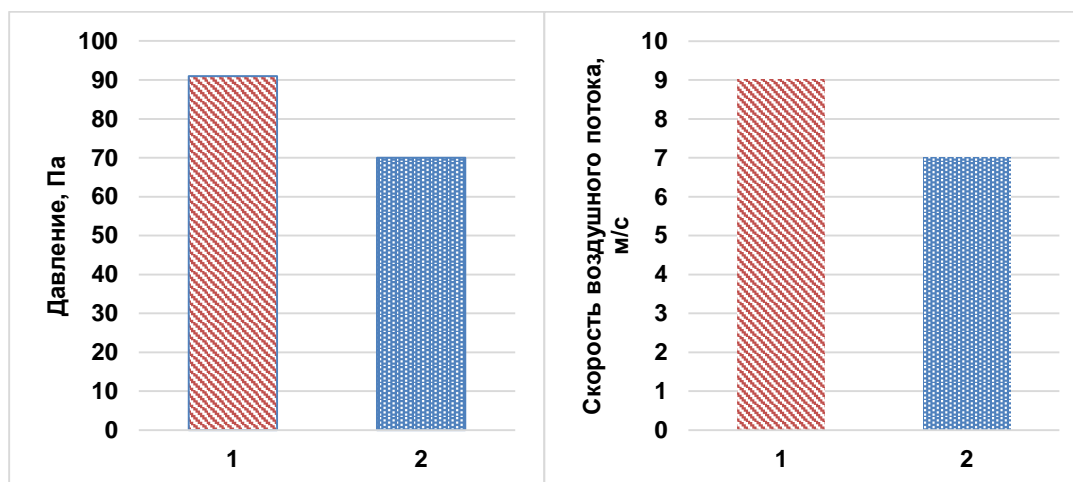


Рис. 4. Показатели воздушного потока: 1 – в части шнека с меньшим шагом; 2 – в части шнека с большим шагом

Исследования качества очистки на зерновом материале позволили установить, что при производительности воздушно-шнекового сепаратора 900 кг/ч обеспечивается отделение сорных примесей согласно агротехническим требованиям для зерновых сепараторов, а содержание цельного зерна в отходах находится в пределах 1,0–1,5%. С увеличением подачи зернового материала в сепаратор его эффективность очистки снижается.

Использование в конструкции сепаратора шнека с переменным шагом позволило повысить эффективность очистки и производительность по сравнению с базовым вариантом (рис. 5).

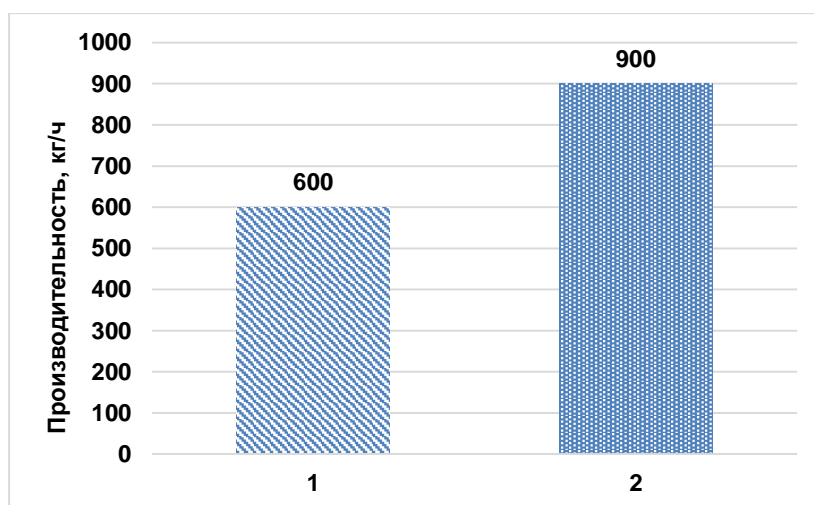


Рис. 5. Сравнение производительности сепараторов: 1 – базовый сепаратор; 2 – сепаратор с переменным шагом винта

Выводы

Применение компьютерного моделирования позволяет изучить характер течения воздушного потока в аспирационном канале воздушно-шнекового сепаратора.

Экспериментальными исследованиями подтверждена достоверность полученных данных, так как расхождение теоретических и экспериментальных результатов не превышает 5%.

Предлагаемая конструкция воздушно-шнекового сепаратора с переменным шагом винта позволяет локально повысить скорость воздушного потока для обеспечения отделения легких сорных частиц с поверхности зернового слоя. Использование шнека с переменным шагом винта повышает производительность сепаратора, при этом качество очистки соответствует агротехническим требованиям.

Список источников

1. Авдеев А.В. Перспективы механизации послеуборочной обработки зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2002. № 5. С. 18–23.
2. Гиевский А.М., Гулевский В.А., Оробинский В.И. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 3(85). С. 12–16. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-3-12-16.
3. Машины и оборудование для очистки и сортирования зерновых и зернобобовых культур: учебно-методическое пособие; сост. А.В. Кузьмицкий и др. Минск: Изд-во Белорусского государственного аграрно-технического университета, 2012. 100 с.
4. Сорокин Н.Н., Оробинский В.И., Чернышов А.В. Повышение эффективности процесса послеуборочной подготовки семян пшеницы. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. 148 с.
5. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов // Наука в центральной России. 2013. № 5. С. 75–83.
6. Угаров В.А., Чуклин Н.М., Сороченко С.Ф. Исследование загрузочной системы машины предварительной очистки зерна // Наука и молодежь: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Барнаул, 22–26 апреля 2019 г.). Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2019. Т. 1. С. 780–783.
7. Финогенов Н.А. Обзор и анализ особенностей, ограничений и применимости многофазных моделей при расчете потоков жидкостей // Аллея науки. 2021. Т. 1, № 5(56). С. 379–382.
8. Ческидов М.В., Окунев Г.А., Шепелев С.Д. Воздушно-шнековый сепаратор для очистки зерна // Сельский механизатор. 2017. № 9. С. 40.
9. Шепелев С.Д. Согласование технической оснащенности уборочного процесса с производительностью зерноочистительной линии // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 4. С. 11–12.
10. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M. et al. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine // Journal of Applied Engineering Science. Institut za Istrazivanja I Projektovanja u Privredi. 2019. Vol. 17(4). Pp. 529–534. DOI: 10.5937/jaes17-22640.

References

1. Avdeev A.V. Perspektivy mekhanizatsii posleuborochnoj obrabotki zerna [Prospects for mechanization of post-harvest grain processing]. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2002;5:18-23. (In Russ.).
2. Gievsky A.M., Gulevsky V.A., Orobinsky V.I. Puti povysheniya proizvoditel'nosti universal'nykh zernoochistitel'nykh mashin [Ways of increasing performance of universal grain cleaning machines]. *Vestnik federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina" = Vestnik of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2018;3(85):12-16. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-3-12-16. (In Russ.).
3. Mashiny i oborudovanie dl'ya ochistki i sortirovaniya zernovykh i zernobobovykh kul'tur: uchebno-metodicheskoe posobie; sostaviteli A.V. Kuzmitsky i dr. [Machines and equipment for cleaning and sorting grain and leguminous crops: study guide; contributors A.V. Kuzmitsky et al.]. Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University Press; 2012. 100 p. (In Russ.).
4. Sorokin N.N., Orobinskiy V.I., Chernyshov A.V. Povyshenie effektivnosti protsessa posleuborochnoj podgotovki semyan pshenitsy [Increasing the efficiency of the post-harvest preparation of wheat seeds]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2019. 148 p. (In Russ.).
5. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Klassifikatsiya i analiz perspektiv sozdaniya delitelej potoka sypuchikh materialov [Classification and analysis of prospects of creation dividers of a stream of bulks]. *Nauka v tsentral'noj Rossii = Science in the Central Russia*. 2013;5:75-83. (In Russ.).
6. Ugarov V.A., Chuklin N.M., Sorochenko S.F. Issledovanie zagruzochnoj sistemy mashiny predvaritel'noj ochistki zerna. Nauka i molodezh: materialy XVI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Barnaul, 22-26 aprelya 2019 g.) [A study of the loading system of the grain pre-cleaning machine. Science and Youth: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists (Barnaul, April 22-26, 2019)]. Barnaul: Polzunov Altai State Technical University Press. 2019;1:780-783. (In Russ.).
7. Finogenov N.A. Obzor i analiz osobennostej, ogranichenij i primenimosti mnogofaznykh modelej pri raschete potokov zhidkostej [A review and analysis of peculiar features, limitations and applicability of multiphase models in the calculation of fluid flows]. *Alleya nauki = Alley of Science*. 2021;5(56):379-382. (In Russ.).
8. Cheskidov M.V., Shepelev S.D., Okunev G.A. Vozdushno-shnekovyj separator dlya ochistki zerna [Air-screw separator for grain cleaning]. *Sel'skij mekhanizator = Rural Machine Operator*. 2017;9:40. (In Russ.).
9. Shepelev S.D. Soglasovanie tekhnicheskoy osnashchennosti uborochnogo protsessa s proizvoditel'nost'yu zernoochistitel'noj linii [Coordination of the technical equipment of the harvesting process with the productivity of the grain cleaning line]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva = Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2007;4:11-12. (In Russ.).
10. Badretidinov I., Mudarisov S., Tuktarov M. et al. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. *Journal of Applied Engineering Science. Institut za Istrazivanja I Projektovanja u Privredi*. 2019;17(4):529-534. DOI:10.5937/jaes17-22640.

Информация об авторах

С.Д. Шепелёв – доктор технических наук, доцент, директор Института агроинженерии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Shepelev2@ya.ru.

М.В. Ческидов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, технология и механизация животноводства» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», mister.aspirant@yandex.ru.

Г.Н. Чирков – аспирант ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», chirkov174@mail.ru.

Information about the authors

S.D. Shepelev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Director of the Institute of Agricultural Engineering, South Ural State Agrarian University, Shepelev2@ya.ru.

M.V. Cheskidov, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Machine and Tractor Fleet Operation, Technology and Mechanization of Livestock Breeding, South Ural State Agrarian University, mister.aspirant@yandex.ru.

G.N. Chirkov, Postgraduate Student, South Ural State Agrarian University, chirkov174@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.06.2023; одобрена после рецензирования 26.07.2023; принята к публикации 03.08.2023.

The article was submitted 25.06.2023; approved after reviewing 26.07.2023; accepted for publication 03.08.2023.

© Шепелёв С.Д., Ческидов М.В., Чирков Г.Н., 2023