

2. Fedorenko I.Ia. Innovatsionnye konstruksii vibratsionnykh drobilok furazhnogo zerna / I.Ia Fedorenko, A.M. Levin, A.V. Tabaev. – Tekst: neposredstvennyi // Glavnyi agronom. – 2020. – No. 5. – S. 63-67.

3. Fedorenko I.Ia. Morfologicheskii analiz vibratsionnykh izmelchitelei kormovogo zerna / I.Ia. Fedorenko, A.M. Levin., A.V. Tabaev. – Tekst: neposredstvennyi // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 1 (183). – S. 156-163.

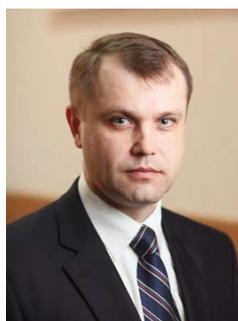
4. Vaisberg, L.A. Drobilno-izmelchitelnoe oborudovanie vibratsionnogo deistviia dlia pererabotki syria i promyshlennykh otkhodov / L.A. Vaisberg, A.N. Safronov. – Tekst: neposredstvennyi //

Ekologiya i promyshlennost Rossii. – 2019. – T. 23. – No. 7 – S. 4-9.

5. Blekhman I.I. Teoriia vibratsionnykh protsessov i ustroystv / I.I. Blekhman. – Sankt-Peterburg: Ruda i metally, 2013. – 640 s. – Tekst: neposredstvennyi.

6. Fedorenko, I., Levin, A., Tabaev, A. (2019). Dynamic properties of vibration crusher of feed grain taking into account technological loading. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 341. 012115. 10.1088/1755-1315/341/1/012115.

7. Kirianov D.V. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. / D.V. Kirianov. – Sankt-Peterburg: BKhV-Peterburg, 2012. – 432 s. – Tekst: neposredstvennyi.



УДК 631.354.2.076

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-205-11-93-97

**А.А. Бричагина, С.Н. Ильин, В.В. Пальвинский,  
Н.В. Степанов, Д.Н. Пирожков**  
A.A. Brichagina, S.N. Ilin, V.V. Palvinskii,  
N.V. Stepanov, D.N. Pirozhkov

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

### AUTOMATIC CONTROL OF GRAIN COMBINE HARVESTER CLEANING OPERATION

**Ключевые слова:** уборка урожая, зерноуборочный комбайн, система очистки, качество зерновой смеси, потери за зерноуборочным комбайном

Технологическими показателями эффективности работы зерноуборочного комбайна являются качество получаемой зерновой смеси и количество потерь зерна. На данные показатели большое влияние оказывает человеческий фактор, который можно минимизировать за счет автоматизации управления работой очистки комбайна. Нами предложена схема такого устройства, включающая привод вентилятора от асинхронного электродвигателя с частотным преобразователем, сер-

воприводы для регулировки угла наклона планок верхних и нижних жалюзи, акустический датчик потерь зерна, позволяющий осуществлять обратную связь в системе управления и управляющий контроллер. В результате снизится влияние работы двигателя внутреннего сгорания комбайна на частоту вращения вала, уйдет необходимость использования электропривода постоянного тока или механического привода вентилятора, появится возможность автоматически регулировать угол наклона планок жалюзи с точностью до 0,1°, открывается возможность построения алгоритма управления системой очистки на основе нейронных сетей. Использование данного устройства позволит

повысить качество проведения уборочных работ, уменьшить потери зерна за очисткой комбайна, количество примесей в бункере комбайна.

**Keywords:** *harvesting, grain combine harvester, cleaning system, grain mixture quality, grain combine harvester losses.*

The technological indices of the efficiency of grain combine harvester operation include the quality of the obtained grain mixture and the amount of grain loss. The human factor has a great influence on these indices which can be minimized by automating the control of the combine harvester cleaning. We have proposed a design of such a

device including a fan drive from an asynchronous electric motor with a frequency converter, servo controls for adjusting the angles of the upper and lower shutters, an acoustic grain loss sensor that allows feedback in the control system and the process controller. As a result, the effect of the internal combustion engine of the combine on the shaft rotation frequency will be reduced; there will be no need to use the DC electric drive or a fan mechanical drive; it will be possible to automatically adjust the angle of inclination of the shutters with an accuracy of 0.1°; there will be the possibility of constructing a cleaning system control algorithm based on neural networks. The use of this device will improve the quality of harvesting, reduce grain losses and reduce the amount of impurities in the combine hopper.

**Бричагина Анастасия Александровна**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: [abrighagina@yandex.ru](mailto:abrighagina@yandex.ru).

**Ильин Сергей Николаевич**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: [ilin.ishi@mail.ru](mailto:ilin.ishi@mail.ru).

**Пальвинский Виктор Викторович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: [kvenbox@mail.ru](mailto:kvenbox@mail.ru).

**Степанов Николай Васильевич**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: [mehc@igsha.ru](mailto:mehc@igsha.ru).

**Пирожков Дмитрий Николаевич**, д.т.н., доцент, декан ИФ, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, e-mail: [mms.asau@yandex.ru](mailto:mms.asau@yandex.ru).

**Brichagina Anastasiia Aleksandrovna**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy, Irkutsk Region, Russian Federation, e-mail: [abrighagina@yandex.ru](mailto:abrighagina@yandex.ru).

**Ilin Sergei Nikolaevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy, Irkutsk Region, Russian Federation, e-mail: [ilin.ishi@mail.ru](mailto:ilin.ishi@mail.ru).

**Palvinskii Viktor Viktorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy, Irkutsk Region, Russian Federation, e-mail: [kvenbox@mail.ru](mailto:kvenbox@mail.ru).

**Stepanov Nikolai Vasilevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevskiy, Irkutsk Region, Russian Federation, e-mail: [mehc@igsha.ru](mailto:mehc@igsha.ru).

**Pirozhkov Dmitrii Nikolaevich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Dean, Engineering Dept., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: [mms.asau@yandex.ru](mailto:mms.asau@yandex.ru).

### Введение

Качество зерновой смеси в бункере зерноуборочного комбайна и количество потерь зерна за ним в значительной степени определяются технологическими регулировками очистки [1-4]. На зерноуборочных комбайнах предыдущих поколений регулировки очистки осуществляются механизатором вручную после оценки качества зерновой смеси в бункере и наличия потерь зерна за половонабивателем молотилки [5]. На современных комбайнах основные регулировки очистки (изменение величины воздушного потока вентилятора и степень открытия жалюзи решетного стана) выполняются комбайнером при помощи пульта управления в результате анализа информации о величине потерь за очисткой, считываемых им с информационной панели, установленной в кабине [6-8]. При таких способах изменения регулировочных параметров очистки большое влияние на качество выполне-

ния регулировок оказывает человеческий фактор (квалификация комбайнера, его физическое и психологическое состояние и т.д.), поэтому исключение влияния человеческого фактора на качество осуществления технологических регулировок очистки зерноуборочного комбайна является актуальной задачей.

**Целью** исследования является повышение эффективности работы системы очистки зерноуборочного комбайна за счет увеличения качества зерновой смеси в бункере и снижения зерновых потерь при уборке урожая. Для реализации поставленной цели необходимо разработать устройство для автоматического управления работой очистки зерноуборочного комбайна, исключив влияние человеческого фактора на качество осуществления технологических регулировок очистки.

### Объекты и методы

Воздушно-решетная очистка зерноуборочного комбайна служит для выделения зерна из зернового вороха. Вентилятор нагнетает воздушный поток под решета, на которых зерновой ворох разделяется по геометрическим размерам. Воздушный поток выдувает из него легкие примеси и способствует перемещению вороха вдоль рабочей поверхности решет.

В зерноуборочных комбайнах применяются осевые, радиальные и диаметральные вентиляторы. Среднее давление воздушного потока, создаваемое вентиляторами, – 1,5-4,0 кПа. Частота вращения рабочего колеса у различных марок зерноуборочных комбайнов находится в среднем в пределах 400-1200 об/мин. Частота вращения вала вентилятора, как правило, регулируется клиноременными вариаторами с гидромеханическим изменением положения шкивов вариатора. Имеются конструкции очистки с электрическим приводом вентилятора. В этих случаях скорость вращения вала вентилятора определяется частотой вращения ротора электродвигателя.

Станы из жалюзийных решет наклонены к горизонтальной плоскости в среднем под углом 4-5°. Угол наклона планок регулируется в пределах 0-45°. Верхнее решето имеет длину 950-1500 мм, нижнее – короче на 5-12%. Верхнее решето, в большинстве случаев, имеет удлинитель для улавливания недомолоченных

колосков. Удлинитель верхнего решета имеет регулировку угла наклона планок и иногда регулировку угла наклона секции удлинителя к верхнему решету.

Также имеются конструкции очистки зерноуборочного комбайна с промежуточным решето, транспортной доской-решетом, с дополнительным решето и двухпоточным вентилятором и т.д. [9, 10].

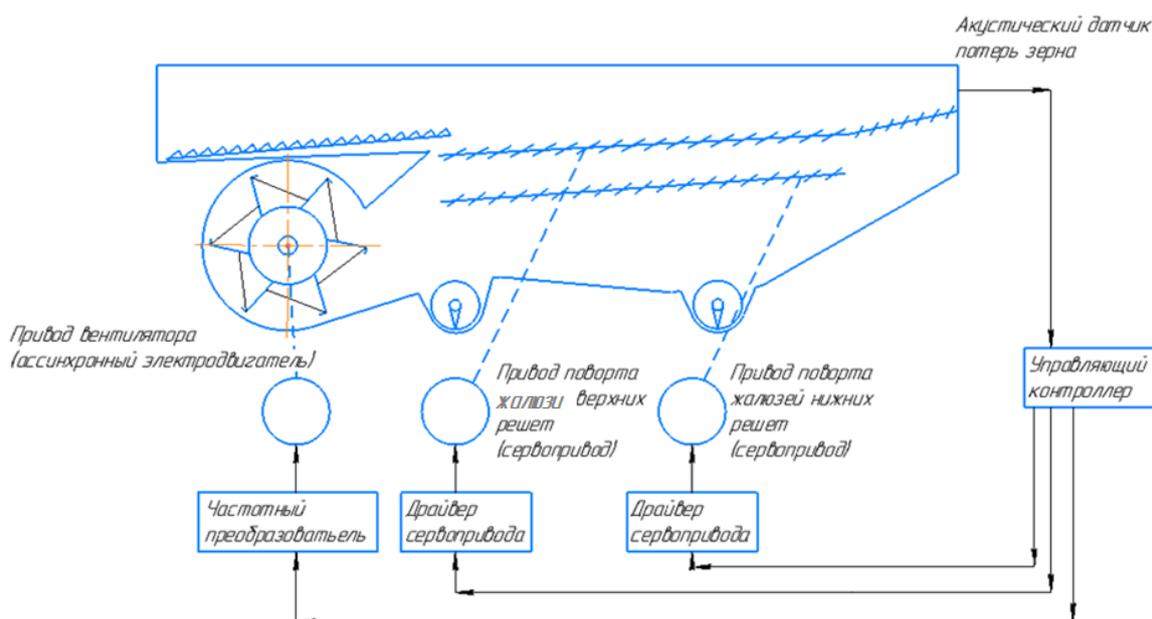
### Экспериментальная часть

Для автоматического управления работой очистки зерноуборочного комбайна нами предлагается устройство, представленное на рисунке.

Отличие предлагаемой разработки от существующих конструкций, осуществляющих основные регулировки очистки зерноуборочных комбайнов заключается:

- 1) в замене механического привода вала вентилятора на прямой привод от асинхронного электрического привода;
- 2) в применении сервопривода для регулирования угла наклона планок жалюзи верхнего и нижнего решет.

Управление частотой вращения вала вентилятора и углом наклона планок жалюзи осуществляется управляющим контроллером. Обратная связь в системе управления строится на основе применения акустических датчиков потери зерна за очисткой молотилки.



**Рис. Схема устройства для автоматического управления работой очистки зерноуборочного комбайна**

**Результаты исследований и их обсуждение**

Применение частотного преобразователя в приводе вентилятора позволит изменять частоту вращения вала вентилятора в предлагаемых заводом-изготовителем пределах, при этом на частоту вращения вала вентилятора не будут влиять режимы работы двигателя внутреннего сгорания комбайна.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволит заменить как электропривод постоянного тока, так и механический привод вентилятора.

Использование сервопривода для регулирования угла наклона планок жалюзи позволит осуществлять регулировку с точностью до  $0,1^\circ$ .

Алгоритм управления частотой вращения вентилятора и углом наклона планок жалюзийных решет может быть построен на основе данных, полученных в результате исследований функционирования системы очистки зерноуборочного комбайна с использованием метода экспертных оценок. Перспективным, на наш взгляд, является применение нейронных сетей.

Таким образом, применение предлагаемой конструкторской разработки позволит повысить качество проведения уборочных работ, уменьшить потери зерна за очисткой комбайна, уменьшить количество примесей в бункере комбайна.

**Библиографический список**

1. Степанов, Н. Н. Снижение потерь при уборке зерновых / Н. Н. Степанов, А. А. Бричагина, Н. В. Степанов. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских». – п. Молодежный: ИрГАУ, 2021. – С. 83-89.

2. Šotnar, M., Pospíšil, J., Mareček, J., Dokukilová, T., Novotný, V. (2018). Influence of the Combine Harvester Parameter Settings on Harvest Losses. *Acta Technologica Agriculturae*, 21 (3), 105-108. <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0019>.

3. Результаты исследования влияния основных параметров подсевного решета на эффективность работы центробежно-решетного сепаратора / В. И. Беляев, Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный

// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – № 2 (22). – С. 49-54.

4. Щербаков С. С. Повышение эффективности процесса очистки зерна на цилиндрическом подсевном решете / С. С. Щербаков, Н. И. Стрикунов, А. А. Хижников. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 книгах / XVI Международная научно-практическая конференция (9-10 февраля 2021 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2021. – С. 50-52.

5. Степанов, Н. Н. Потери зерна при комбайновой уборке / Н. Н. Степанов, А. А. Бричагина, Н. В. Степанов. – Текст: непосредственный // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 14-15 марта 2019 г.). – Иркутск: Иркутский гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского, 2019. – С. 165-171.

6. Патент № 2644953 С2 Российская Федерация, МПК А01D 41/127. Кабина комбайна. – № 2015124680; заявл. 23.06.2015; опубл. 15.02.2018 / Кокорин Д. В., Мацнев А. В., Козловский О. Н. [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Комбайновый завод «Ростсельмаш». – Текст: непосредственный.

7. Степанов, Н. Н. Анализ бункерного зерна зероуборочных комбайнов «CLAAS» / Н. Н. Степанов, А. А. Бричагина, Н. В. Степанов. – Текст: непосредственный // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 14-15 марта 2019 г.). – Иркутск: Иркутский гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского, 2019. – С. 171-177.

8. Hassani, H.S., Jafari, A., Mohtasebi, S.S., Setayesh, A.M. (2011). Investigation on grain losses of the JD 1165 combine harvester equipped with variable pulley and belt for forward travel. *American Journal of Food Technology*, 6 (4): 314-321. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.314.321>.

9. Дубова, В. В. Воздушно-решетные очистки современных комбайнов / В. В. Дубова. – Текст: непосредственный // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного фа-

культета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (г. Воронеж, 25 декабря 2015 г.) / Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. – Воронеж: Воронежский гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I, 2015. – С. 139-144.

10. Щербаков, В. М. Уравновешивание системы очистки комбайна «Дон-1500Б» / В. М. Щербаков, Н. И. Стрикунов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 7 (33). – С. 48-50.

### References

1. Stepanov N.N. Snizhenie poter pri uborke zernovykh / N.N. Stepanov, A.A. Brichagina, N.V. Stepanov // Materialy IX Natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Chteniia I.P. Terskikh» «Aktualnye voprosy inzhenerno-tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo obespecheniia APK». – р. Molodezhnyi, IrGAU, 2021. – С. 83-89.

2. Šotnar, M., Pospíšil, J., Mareček, J., Dokukilová, T., Novotný, V. (2018). Influence of the Combine Harvester Parameter Settings on Harvest Losses. *Acta Technologica Agriculturae*, 21 (3), 105-108. <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0019>.

3. Beliaev V.I. Rezultaty issledovaniia vlianiia osnovnykh parametrov podsevnogo resheta na effektivnost raboty tsentrobezhno-reshetnogo separatora / V.I. Beliaev V.I., N.I. Strikunov, B.T. Tarasov, S.V. Lekanov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – No. 2 (22). – С. 49-54.

4. Shcherbakov S.S. Povyslenie effektivnosti protsessa ochistki zerna na tsilindricheskom podsevnom reshete / S.S. Shcherbakov, N.I. Strikunov, A.A. Khizhnikov // Agrarnaia nauka – sel'skomu khoziaistvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XVI Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia (9-10 fevralia 2021 g.). – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2021. – Kn. 2. – С. 50-52.

5. Stepanov, N. N. Poteri zerna pri kombainovoi uborke / N. N. Stepanov, A. A. Brichagina, N. V. Stepanov // Nauchnye issledovaniia studentov

v reshenii aktualnykh problem APK: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Irkutsk, 14-15 marta 2019 goda. – Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. A.A. Ezhevskogo, 2019. – С. 165-171.

6. Patent No. 2644953 C2 Rossiiskaia Federatsiia, MPK A01D 41/127. Kabina kombaina: No. 2015124680: zaiavl. 23.06.2015: opubl. 15.02.2018 / D. V. Kokorin, A. V. Matsnev, O. N. Kozlovskii [i dr.]; zaiavitel Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostiu "Kombainovyi zavod "Rostselmash".

7. Stepanov, N. N. Analiz bunkernogo zerna zernouborochnykh kombainov "CLAAS" / N. N. Stepanov, A. A. Brichagina, N. V. Stepanov // Nauchnye issledovaniia studentov v reshenii aktualnykh problem APK: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Irkutsk, 14-15 marta 2019 goda. – Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. A.A. Ezhevskogo, 2019. – С. 171-177.

8. Hassani, H.S., Jafari, A., Mohtasebi, S.S., Setayesh, A.M. (2011). Investigation on grain losses of the JD 1165 combine harvester equipped with variable pulley and belt for forward travel. *American Journal of Food Technology*, 6 (4): 314-321. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.314.321>.

9. Dubova, V. V. Vozdushno-reshetnye ochistki sovremennykh kombainov / V. V. Dubova // Innovatsionnye napravleniia razvitiia tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv mekhanizatsii sel'skogo khoziaistva: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 100-letiiu kafedry sel'skokhoziaistvennykh mashin agroinzhenernogo fakulteta Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni imperatora Petra I, Voronezh, 25 dekabria 2015 goda / Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. Imperatora Petra I. – Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. Imperatora Petra I, 2015. – С. 139-144.

10. Shcherbakov V.M. Uravnovesivanie sistemy ochistki kombaina «Don-1500Б» / V.M. Shcherbakov, N.I. Strikunov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – No. 7 (33). – С. 48-50.

