

УДК 631.354.2

**О. А. Федорова**

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Российская Федерация

## **КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

Цель настоящей работы – разработка теоретических положений комплексной оценки эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов. В статье предложен комплексный критерий эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов, определяемый как произведение критерия эффективности использования зерноуборочных комбайнов по назначению и критерия эффективности их технического обслуживания. Критерий эффективности использования зерноуборочных комбайнов включает следующие частные показатели: производительность зерноуборочного комбайна за один час основного времени, удельные затраты труда, эксплуатационный расход топлива, прямые потери, дробление и макротравмирование зерна, а также годовую нагрузку на один комбайн. Критерий эффективности технического обслуживания зерноуборочных комбайнов учитывает также частные показатели, среди которых оперативная и удельная трудоемкость технического обслуживания, удельные затраты денежных средств на техническое обслуживание, периодичность и полнота проведения технического обслуживания, оснащенность дилерских пунктов средствами технического обслуживания, обеспеченность ремонтно-обслуживающих мастерских обслуживающим персоналом, топливно-смазочными материалами и запасными частями. Критерии эффективности, входящие в комплексный, учитывают также и относительную важность каждого частного показателя, которая определяется экспертным путем. Предложены схема формирования комплексного критерия и схема повышения эффективности использования зерноуборочных комбайнов.

Ключевые слова: комплексный критерий эффективности, эксплуатация, критерий эффективности использования, техническое обслуживание, зерноуборочный комбайн.

**O. A. Fedorova**

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

## **COMPREHENSIVE CRITERION FOR ASSESSMENT OF GRAIN COMBINE HARVESTERS OPERATION EFFICIENCY**

The purpose of this paper is the development of theoretical principles for a comprehensive assessment of the efficiency of operation of combine harvesters. A comprehensive criteria for the efficiency of grain combine harvesters operation defined as the product of the criterion for the efficiency of grain combine harvesters use as intended and the criterion for their maintenance efficiency is introduced. The criterion for the efficiency of the combine harvesters usage includes the following particular indicators: the productivity of a grain combine harvester for one hour of the main time, the labour intensity, the operational fuel consumption, direct losses, crushing and macro injury of grain, and the annual load per harvester. The criterion of the efficiency of technical maintenance of combine harvesters also takes into account specific indicators, including the operational and labor intensity of maintenance, specific fund costs of maintenance, frequencies and completeness of maintenance, equipment of dealer centers with maintenance facilities, provision of repair and maintenance workshops with maintenance personnel, combustible and lubrication materials and spare parts. The efficiency criteria included into the

complex one also take into account the relative importance of each specific indicator, which is determined by expertise. A scheme for the complex criterion formation and a scheme for increasing the efficiency of the combine harvesters' usage are proposed.

Key words: complex efficiency criterion, operation, criterion of usage efficiency, maintenance, grain combine.

**Введение.** Для обеспечения продовольственной безопасности страны необходимо увеличить производство зерна [1]. Для этого требуется решить следующие основные задачи при производстве зерна: увеличение урожайности зерновых культур, снижение прямых и косвенных потерь зерна, снижение трудовых и материальных затрат и т. д. Все перечисленные показатели можно включить в комплексный критерий эффективности. Однако при отсутствии представления комплексного критерия эффективности в виде математического выражения невозможно верно оценить эффективность эксплуатации зерноуборочных комбайнов и правильно выбрать пути ее повышения в реальных условиях уборки зерновых культур.

В работах ряда ученых: А. И. Ряднова [2–4], В. Е. Бердышева [5, 6], Э. В. Жалнина [7] – представлены методика, теоретические предпосылки и результаты комплексной оценки эффективности использования зерноуборочных машин. Но в перечисленных работах не учтены частные показатели эффективности технического обслуживания зерноуборочных комбайнов.

**Материалы и методы.** В работах академика Б. С. Свирщевского [8], профессоров Г. В. Веденяпина [9], С. А. Иофинова [10], А. И. Ряднова [11] указано, что эксплуатация машин сельскохозяйственного назначения, в т. ч. и зерноуборочных комбайнов, складывается из производственной и технической эксплуатации. В процессе производственной эксплуатации зерноуборочные комбайны выполняют свою основную функцию – убирают урожай зерновых культур, а в процессе технической эксплуатации они поддерживаются в работоспособном и исправном состоянии.

Из сказанного следует, что для повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов необходимо применять все возможные технические, технологические и другие резервы как в процессе использо-

вания зерноуборочных комбайнов, так и в процессе поддержания их в работоспособном и исправном состоянии.

Известно, что поддержание машин, в т. ч. и зерноуборочных комбайнов, в работоспособном и исправном состоянии осуществляется в процессе их технического обслуживания.

Тогда, если оценку эффективности использования зерноуборочных комбайнов оценивать критерием  $K_{\text{эф.}}^{\text{исп}}$ , а эффективность их технического обслуживания критерием  $K_{\text{эф.}}^{\text{т.о.}}$ , эффективность эксплуатации можно оценивать следующим комплексным критерием:

$$K_{\text{эф.}} = K_{\text{эф.}}^{\text{исп}} \cdot K_{\text{эф.}}^{\text{т.о.}} \quad (1)$$

**Результаты и обсуждение.** В научных работах [2–6] показано, что при комплексной оценке эффективности зерноуборочных комбайнов необходимо учитывать основной ее принцип – учет значений частных показателей. Чтобы учесть указанный принцип, следует выбрать совокупность частных показателей эффективности  $W_i$  на основе изучения факторов, влияющих на эффективность эксплуатации зерноуборочных машин.

Из теории эффективности также известно, что эффективность операции есть степень соответствия реального результата операции требуемому (желаемому, возможному, идеальному) [12]. В связи с этим следующий этап формирования математического выражения комплексного критерия эффективности – обоснование требуемых значений частных показателей  $W_i^{\text{тп}}$ . Затем определяется степень соответствия реального значения рассматриваемого показателя требуемому:

$$C_i = W_i / W_i^{\text{тп}} \quad (2)$$

Использование выражения (2) позволяет привести частные показатели к безразмерным значениям.

Далее выбирается функция агрегирования, которая может быть аддитивной, мультипликативной, степенной, функцией отношения одних пока-

зателей к другим или иметь другой вид [12]. Обзор научных работ показал, что применительно к оценке эффективности использования зерноуборочных комбайнов наиболее приемлемой функцией агрегирования является функция вида:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} W_i}{\prod_{i=m_1+1}^m W_i}, \quad (3)$$

где  $i = 1, m_1$  – номера показателей  $W_i$ , которые желательно увеличивать в процессе уборки зерновых культур;

$i = m_1 + 1, m$  – номера показателей  $W_i$ , которые следует уменьшать.

Выбранные частные показатели эффективности, как правило, отличаются по степени их влияния на эффективность эксплуатации зерноуборочных комбайнов. Поэтому определяют коэффициенты относительной важности каждого частного показателя  $\alpha_i$ , используя результаты экспертной оценки. При этом необходимо учесть, что:

- при  $m > 1$   $\alpha_i \neq 1$  и  $\alpha_i \neq 0$ . Это следует из условия  $\sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i = 1$ ;

- если  $\alpha_i \rightarrow 1$ , то степень влияния единичного показателя на комплексный критерий эффективности (на значение функции агрегирования) увеличивается, а при  $\alpha_i \rightarrow 0$  – снижается. Однако в этом случае влияние данного  $i$ -го единичного показателя на комплексный критерий не отвергается полностью.

Функция агрегирования (3) является векторной величиной. Для преобразования ее в скалярную величину учтем в функции (3) зависимость (2). В результате получим функцию агрегирования в виде:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \frac{W_i}{W_i^{\text{ТР}}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \frac{W_i}{W_i^{\text{ТР}}}}. \quad (4)$$

Затем учтем коэффициенты относительной важности каждого частного показателя  $\alpha_i$ . При этом функция агрегирования (4) преобразуется в функцию вида:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}}}. \quad (5)$$

Обозначив

$$\prod_{i=1}^{m_1} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_{m_1},$$

$$\prod_{i=m_1+1}^m \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}} = K_{m_1+1} \cdot \dots \cdot K_m,$$

перепишем зависимость (5):

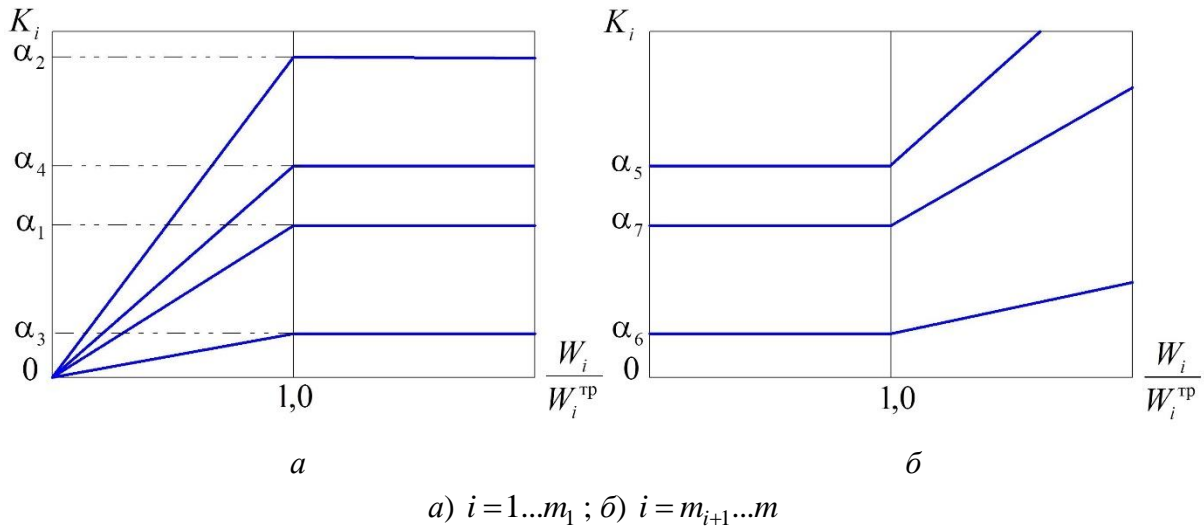
$$\varphi(W) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_{m_1}}{K_{m_1+1} \cdot \dots \cdot K_m}. \quad (6)$$

Если выбрать, например, семь частных показателей эффективности использования зерноуборочных комбайнов, из которых показатели  $W_1 \dots W_4$ , например производительность зерноуборочного комбайна за час сменного времени, желательно увеличивать, а показатели  $W_5$ ,  $W_6$  и  $W_7$ , например потери и дробление зерна, затраты труда на техническое обслуживание, – снижать, то, соответственно, коэффициенты функции агрегирования (6), входящие в числитель, следует увеличивать, а коэффициенты, входящие в знаменатель, – снижать.

В этом случае характер изменения коэффициентов  $K_i$ , входящих в функцию агрегирования (6), представлен графически на рисунке 1.

Коэффициенты числителя функции (6) изменяются по зависимости:

$$K_i = \begin{cases} \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}}, & \text{если } \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}} < 1,0 \\ 1, & \text{если } \frac{W_i}{W_i^{\text{TP}}} \geq 1,0 \end{cases}.$$



**Рисунок 1 – Изменение коэффициентов  $K_i$**

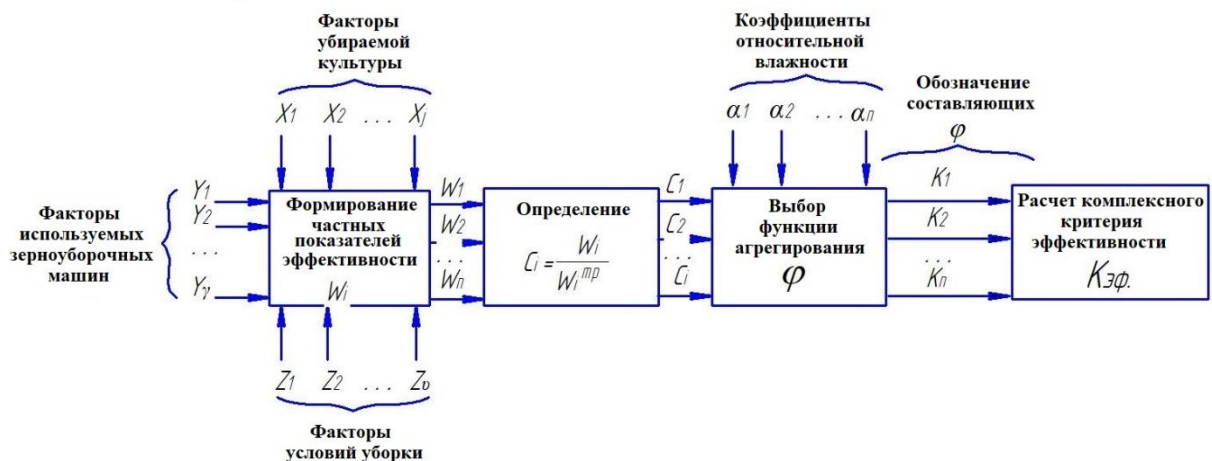
Коэффициенты знаменателя функции (б) изменяются по зависимости:

$$K_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{W_i}{W_i^{TP}} \leq 1,0 \\ \alpha_i \frac{W_i}{W_i^{TP}}, & \text{если } \frac{W_i}{W_i^{TP}} > 1,0 \end{cases}$$

Комплексный критерий эффективности есть математическое ожидание функции агрегирования:

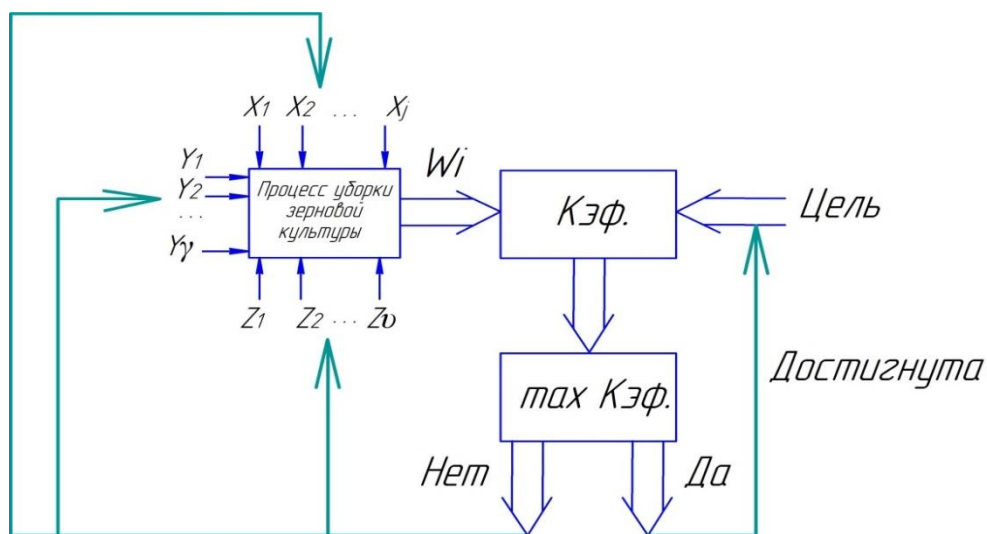
$$K_s = m\{\varphi(W)\}.$$

С учетом сказанного формирование комплексного критерия эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов выполняется по схеме, представленной на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема формирования комплексного критерия**

На основе схемы формирования комплексного критерия, представленной на рисунке 2, построена схема повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Схема повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных машин**

Повышение эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов с учетом условий их функционирования сводится к решению задачи:

$$K_{\text{эф.}}(X, Y, Z) \rightarrow \max K_{\text{эф.}} \text{ при } W_i \in f(W_i).$$

По результатам обзора научной литературы, практического опыта и учета мнений экспертов в области уборки зерновых культур были выбраны:

- семь важнейших частных показателей эффективности использования зерноуборочных комбайнов: производительность зерноуборочного комбайна за один час основного времени ( $W_0$ ), удельные затраты труда ( $Z_t$ ), эксплуатационный расход топлива ( $Q_{\text{га}}$ ), прямые потери ( $\Pi$ ), дробление ( $\Delta$ ) и макротравмирование ( $M_t$ ) зерна, а также годовая нагрузка на один комбайн (интенсивность использования) ( $J$ );

- девять важнейших частных показателей эффективности технического обслуживания: оперативная ( $S_{\text{ТО}}$ ) и удельная ( $S_{\text{ТОу}}$ ) трудоемкость технического обслуживания, удельные затраты денежных средств на техническое обслуживание ( $Z_{\text{ТО}}$ ), периодичность проведения технического

обслуживания (ПТО), полнота проведения технического обслуживания (ППТО), оснащенность дилерских пунктов средствами технического обслуживания (ОС), обеспеченность ремонтно-обслуживающих мастерских обслуживающим персоналом (ОП), топливно-смазочными материалами (ТСМ) и запасными частями (ЗЧ).

Тогда комплексные критерии эффективности использования зерноуборочных комбайнов и их технического обслуживания могут быть представлены в виде зависимостей:

$$K_{\text{эф.}}^{\text{исп}} = \frac{K_{W_0} K_J}{K_{3\text{T}} K_{Q_{\text{га}}} K_{\text{П}} K_{\text{Д}} K_{\text{МТ}}}, \quad (7)$$

$$K_{\text{эф.}}^{\text{т.о.}} = \frac{K_{\text{ПТО}} K_{\text{ППТО}} K_{\text{ОС}} K_{\text{ОП}} K_{\text{ТСМ}} K_{\text{ЗЧ}}}{K_{S_{\text{ТО}}} K_{S_{\text{ТОУ}}} K_{3\text{ТО}}}. \quad (8)$$

С учетом зависимостей (1), (7) и (8) получено математическое выражение комплексного критерия оценки эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов:

$$K_{\text{эф.}} = \frac{K_{W_0} K_J}{K_{3\text{T}} K_{Q_{\text{га}}} K_{\text{П}} K_{\text{Д}} K_{\text{МТ}}} \cdot \frac{K_{\text{ПТО}} K_{\text{ППТО}} K_{\text{ОС}} K_{\text{ОП}} K_{\text{ТСМ}} K_{\text{ЗЧ}}}{K_{S_{\text{ТО}}} K_{S_{\text{ТОУ}}} K_{3\text{ТО}}}.$$

**Выводы.** В результате использования теорий эффективности и логики науки, а также анализа научно-исследовательской литературы получено математическое выражение комплексного критерия, применение которого позволит выявить пути повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов.

### Список использованных источников

1 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности РФ: Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120: по состоянию на 1 марта 2017 г. // Гарант Эксперт 2017 [Электронный ресурс]. – НИИ «Гарант-Сервис», 2017.

2 Ряднов, А. И. Агротехнические решения проблемы уборки зерновых колосовых культур по комплексному критерию эффективности в условиях недостаточного увлажнения: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.20.01, 06.01.09 / Ряднов Алексей Иванович. – Волгоград, 1995. – 46 с.

3 Ряднов, А. И. Метод выбора эффективной технологии уборки сельскохозяйственных культур / А. И. Ряднов, Р. В. Шарипов // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – 2004. – № 8. – С. 26–28.



4 Ряднов, А. И. Теоретические предпосылки выбора показателя эффективности уборки зерновых культур / А. И. Ряднов, О. А. Федорова // Научный вестник. Инженерные науки. – Волгоград: Волгогр. гос. с.-х. акад., 2002. – Вып. 3. – С. 67–70.

5 Бердышев, В. Е. Комплексный показатель качества работы зерноуборочного комбайна / В. Е. Бердышев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 2(18). – С. 142–148.

6 Бердышев, В. Е. Методология оценки качества функционирования зерноуборочных комбайнов / В. Е. Бердышев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 76, № 2. – С. 85–89.

7 Жалнин, Э. В. О классификации зерноуборочных комбайнов / Э. В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2016. – № 4. – С. 6–7.

8 Свирщевский, Б. С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Б. С. Свирщевский. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 324 с.

9 Веденяпин, Г. В. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г. В. Веденяпин, Ю. К. Киртбая, М. П. Сергеев. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 431 с.

10 Иофинов, С. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С. А. Иофинов. – М.: Колос, 1974. – 480 с.

11 Ряднов, А. И. Эксплуатация машинно-тракторного парка: курс лекций / А. И. Ряднов. – Волгоград: Волгогр. ГАУ, 2012. – 167 с.

12 Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1986. – 328 с.

## References

1 *Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti RF* [On the approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation]. Decree of the RF President of January 30, 2010 no. 120, as of March 1, 2017. (In Russian).

2 Ryadnov A.I., 1995. *Agrotekhnicheskie resheniya problemy uborki zernovykh kolosovykh kul'tur po kompleksnomu kriteriyu effektivnosti v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya. Avtoreferat of d-ra s.-kh. nauk* [Agrotechnical solutions to the problem of harvesting spiked cereals with a comprehensive efficiency criterion under the conditions of insufficient moisture. Abstract of Dr. agri. sci. diss.]. Volgograd, 46 p. (In Russian).

3 Ryadnov A.I., Sharipov R.V., 2004. *Metod vybora effektivnoy tekhnologii uborki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The method of choosing effective technology for harvesting agricultural crops]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Mechanization and electrification of agricultural production], no. 8, pp. 26-28. (In Russian).

4 Ryadnov A.I., Fedorova O.A., 2002. *Teoreticheskiye predposylki vybora pokazatelya effektivnosti uborki zernovykh kul'tur* [Theoretical prerequisites for the choice of an indicator of harvesting efficiency of grain crops]. *Nauchnyy vestnik. Inzhenernyye nauki* [Scientific Bulletin. Engineering science]. Volgograd, Volgograd state agricultural academy, iss. 3, pp. 67-70. (In Russian).

5 Berdyshev V.Ye. 2010. *Kompleksnyy pokazatel' kachestva raboty zernouborochnogo kombayna* [Integrated indicator of combine harvester operation quality]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye* [Bull. Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education], no. 2(18), pp. 142-148. (In Russian).

6 Berdyshev V.Ye., 2011. *Metodologiya otsenki kachestva funktsionirovaniya zernouborochnykh kombaynov* [Methodology of assessment for the operational quality of grain combine harvesters]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Altai State Agrarian University], vol. 76, no. 2, pp. 85-89. (In Russian).

7 Zhalnin E.V., 2016. *O klassifikatsii zernouborochnykh kombaynov* [On the classifi-

cation of grain combine harvesters]. *Sel'skiy mekhanizator* [Rural mechanizer], no. 4, pp. 6-7. (In Russian).

8 Svirshchevskiy B.S., 1937. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Operation of the machine-tractor fleet]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 324 p. (In Russian).

9 Vedenyapin G.V., Kirtbaya Yu.K., Sergeev M.P., 1963. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Operation of the machine -tractor fleet]. Moscow, Selkhozizdat Publ., 431 p. (In Russian).

10 Iofinov S.A., 1974. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Operation of the machine-tractor fleet]. Moscow, Kolos Publ., 480 p. (In Russian).

11 Ryadnov A.I., 2012. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka: kurs lektsiy* [Operation of the machine-tractor park: a course of lectures]. Volgograd, Volgograd GAU Publ., 167 p. (In Russian).

12 Utkin V.F., Kryuchkova Yu.V., 1986. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: spravochnik. V 10 t. T. 3. Effektivnost' tekhnicheskikh system* [Reliability and efficiency in technology: a reference book. In 10 books. Vol. 3. Efficiency of technical systems]. Moscow, Mechanical Engineering, 328 p. (In Russian).

---

**Федорова Ольга Алексеевна**

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Адрес организации: пр-т Университетский, д. 26, г. Волгоград, Российская Федерация, 400002

E-mail: foa\_77@mail.ru

**Fedorova Olga Alexeevna**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor

Affiliation: Volgograd State Agrarian University

Affiliation address: ave. Universitetskiy, 26, Volgograd, Russian Federation, 400002

E-mail: foa\_77@mail.ru