

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-569403>

Оригинальное исследование



Разработка оптимизационных математических моделей для принятия компромиссных решений по эффективности парка сельскохозяйственных мобильных энергетических средств

В.А. Зубина, Т.З. Годжаев, И.С. Малахов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Структуризация и выбор компромиссного решения из множественного числа противоречивых критериев облегчает лицу, принимающему решение (ЛПР) на стадии проектирования определение конструктивных характеристик и взаимосвязанных с ними выходных воздействий.

Цель работы — разработка наиболее значимых критериев для решения задачи многокритериальной оптимизации эффективности парка мобильных энергетических средств (МЭС) в условиях цифровизации сельского хозяйства.

Материалы и методы. В основе анализа лежит обзор научных публикаций и других источников информации по разработке НИОКР, направленных на создание интеллектуальных транспортно-технических средств и совершенствование методического и программного обеспечения многокритериальных оптимизационных расчётов эффективности парка МЭС. В ходе настоящего исследования использованы методы научного обобщения и статистической обработки имеющихся информационных и аналитических материалов по отечественным и зарубежным источникам.

Результаты. В результате анализа были выбраны наиболее предпочтительные критерии оптимизации парка МЭС, сформирован перечень варьируемых параметров для дальнейшего решения задачи оптимизации.

Заключение. Практическая ценность настоящей работы заключается в определении главенствующих критериев оптимизации парка МЭС, с целью проведения последующих оптимизационных расчётов.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация; мобильные энергосредства; функциональные свойства, критерии качества; варьируемые параметры; принятие компромиссных решений.

Как цитировать:

Зубина В.А., Годжаев Т.З., Малахов И.С. Разработка оптимизационных математических моделей для принятия компромиссных решений по эффективности парка сельскохозяйственных мобильных энергетических средств // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 6. С. 523–529. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-569403>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-569403>

Original Study Article

Development of optimization mathematical models for making compromise decisions on the efficiency of the fleet of agricultural moving power units

Valeria A. Zubina, Teymur Z. Godzhaev, Ivan S. Malakhov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Structurization and selection of a compromise solution from a multiple number of contradictory criteria facilitates the decision-maker (DM) to determine the design characteristics and output impacts related to them at the design stage.

AIM: Determination of the most significant criteria for solving the optimization problem using the software and hardware system of multi-criteria optimization in terms of the efficiency of the MPU fleet for the selection of a compromise decision by the decision-maker.

METHODS: The analysis is based on the collection of scientific papers, scientific articles and other information sources on R&D works on the creation of intelligent transport-technical units and on the improvement of methodology and software of multi-criteria optimization analysis of efficiency of the MPU fleet. In addition, methods of scientific generalization and statistical processing of available information and analytical materials from domestic and foreign sources were used.

RESULTS: As a result of the analysis, the most preferable criteria of the MPU fleet optimization were chosen, the list of variable parameters for further solution of the optimization problem was formed.

CONCLUSIONS: The practical value lies in determining the main criteria for optimization of the MPU fleet in order to perform subsequent optimization analysis.

Keywords: multicriteria optimization; mobile energy vehicles; functional properties; quality criteria; variable parameters; making compromise decisions.

To cite this article:

Zubina VA, Godzhaev TZ, Malakhov IS. Development of optimization mathematical models for making compromise decisions on the efficiency of the fleet of agricultural moving power units. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(6):523–529. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-569403>

Received: 29.08.2023

Accepted: 01.10.2023

Published online: 15.12.2023

ВВЕДЕНИЕ

При формировании оптимального по составу и по количеству парка МЭС очень сложно определить единую целевую функцию, т.е. математическую модель, характеризующую эффективность парка МЭС, которая учитывала бы все выбранные критерии оптимизации парка МЭС. Последнее обстоятельство связано с тем, что каждый критерий представляет собой отдельные функции, зачастую являющимися противоречивыми и зависящими от различных варьируемых параметров (факторов). В условиях эксплуатации МЭС могут возникать различные приоритеты для выбора критериев качества, затрудняющие разработку единой целевой функции для оптимизации. Поэтому, подобные задачи необходимо решать в многокритериальной постановке. В рамках указанных многокритериальных оптимизационных расчетов в качестве критериев, характеризующих эффективность парка МЭС, были выбраны основные функциональные и эксплуатационные показатели парка.

Цель исследования — разработка наиболее значимых критериев для решения задачи многокритериальной оптимизации эффективности парка МЭС в условиях цифровизации сельского хозяйства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основание для постановки и решения задачи оптимизации составили научные публикации об экономических и функциональных показателях эксплуатации МЭС, а также информация о разработке НИОКР по созданию мобильных средств сельскохозяйственного назначения. В работе применялись методы теории оптимизации, теория принятия решений, математического моделирования, теория трактора, программирования. Кроме того, использовались методы научного обобщения и статистической обработки имеющихся информационных и аналитических материалов по отечественным и зарубежным источникам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в условиях цифровизации сельского хозяйства была установлена основная задача выявить и подобрать такой общий критерий или систему критериев, объединяющую все наиболее важные функциональные, производственно-экономические и эксплуатационные показатели парка МЭС, отражающие полную его работу и позволяющие достоверно оценить эффективность всего парка МЭС [1–6].

Для полноценной корректной постановки задачи необходимо было включить все 25 критериев, но было принято решение ограничиться 67.

Основными аргументами при выборе данных критериев были следующие:

1. По мнению ЛПР 5 выбранных критериев наиболее значимы для оценки эффективности парка МЭС в целом.
2. Оставшиеся 17 критериев очень сильно коррелируются с выбранными нами 7 критериями, поэтому согласно алгоритму постановки решения задачи многокритериальной оптимизации (МКО) можно без ущерба и без серьезных потерь рассмотреть для решения оптимизационной задачи эти перечисленные критерии.
3. Выбранные нами 5 критериев доминируют над остальными. Их исследование достаточно для того, чтобы достоверно оценить эффективность парка МЭС.

Таким образом, исходя из значимости перечисленных 25 характеристик парка МЭС, нами выбраны следующие основные критерии для включения в многокритериальную постановку задачи оптимизации, универсальные математические модели которых представлены ниже [2, 4–11]:

- критерий минимизации потерь сельскохозяйственной продукции;
- критерий максимальной производительности;
- критерий максимального коэффициента надежности парка МЭС;
- критерий минимизация средней стоимости эксплуатации техники за единицу времени;
- критерий максимального КПД парка МЭС.

Согласно анализу решения подобных задач в других отраслях промышленности, нами была установлена следующая постановка решения многокритериальной задачи для принятия компромиссных решений по эффективности парка сельскохозяйственных МЭС (рис. 1).

С учетом выбранных нами доминирующих критериев, общая постановка задачи многокритериального обоснования эффективности парка МЭС имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{l} F_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = W \\ F_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = k_{\text{над}} \\ F_3(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_{\text{ср}} \\ F_4(x_1, x_2, \dots, x_n) = \Pi \\ F_5(x_1, x_2, \dots, x_n) = Z_{\text{сум}} \end{array} \right] \Rightarrow \text{opt}$$

(Паретовское множество вариантов).

где F — критерия качества, x_1, x_2, \dots, x_n — варьируемые параметры.

В данной задаче главной целью является поиск Паретовского множества. Паретовское множество — это точки, где значения всех критериев качества нельзя улучшить одновременно по всем критериям, не ухудшив хотя бы одно из них [8, 9].

В дальнейшем были разработаны математические модели указанных 5 критериев, которые приведены в табл. 1 [2, 10–13]. Коэффициент весомости для всех критериев принят равным к 1.

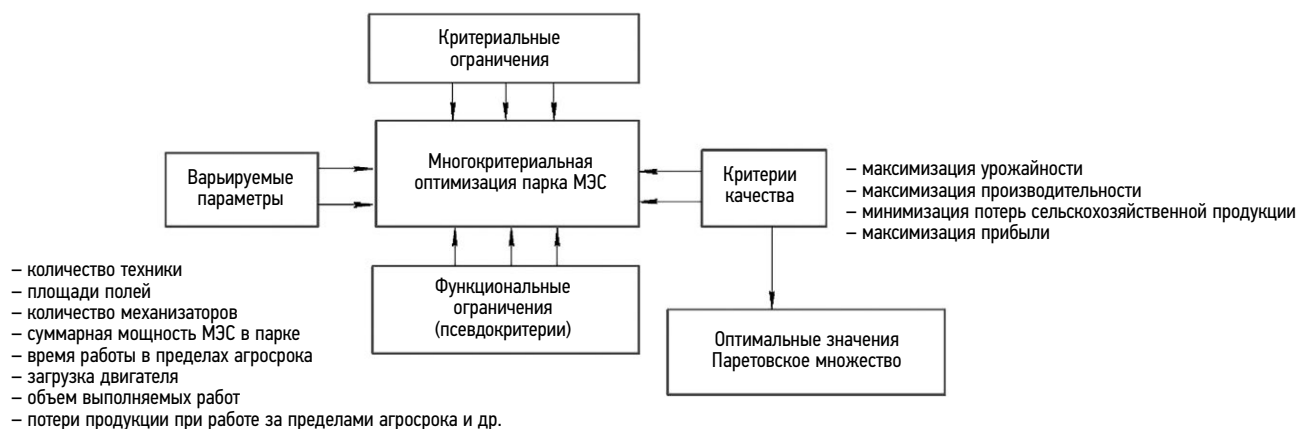


Рис. 1. Постановка задачи многокритериальной оптимизации эффективности парка МЭС.

Fig. 1. Formulation of the multi-criteria optimization problem of efficiency of the MPU fleet.

Таблица 1. Математические модели критериев качества, характеризующих эффективность парка МЭС

Table 1. Mathematical models of quality criteria describing efficiency of the MPU fleet

Критерий качества	Математическая модель
F_1 — Производительность	$W = 0,1 \cdot B_k \cdot V_p \cdot \tau_{\text{эксп}}$ га/ч
F_2 — Коэффициент надежности парка МЭС	$k_{\text{нал}} = \frac{(K_{\text{ср}} - K_{i-1})}{K_i} \cdot 100\%$
F_3 — Средняя стоимость эксплуатации техники за единицу времени	$C_{\text{ср}} = C_T + C_{\text{рсм}} + C_{\text{аморт}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{аренды}}$ руб./ч
F_4 — Потери сельскохозяйственной продукции	$\Pi = \frac{U_{\text{нач}} - U_{\text{кон}}}{U_{\text{нач}}}$ руб.
F_5 — Суммарные затраты на проведение работы	$Z_{\text{сум}} = \frac{\sum i(E_n + ae) \cdot B_c \cdot k_n}{w_{ij} \cdot t_i \cdot k_{\text{см}} \cdot k_{\text{им}} \cdot T_i} + \Pi_y$ руб.

Критерий максимальной производительности ориентирован на максимизацию производительности тракторов. В расчет включаются такие факторы, как скорость работы, тяговое усилие, мощность двигателя и другие технические характеристики. Для этого необходимо рассчитать производительность каждого трактора (например, площадь, которую он может обработать за единицу времени) и определить среднюю производительность для всего парка. Затем можно проанализировать, как изменение состава парка (добавление или удаление тракторов) влияет на эту производительность.

Формула расчета максимальной чистой производительности одного трактора (например, площадь, которую он может обработать за единицу времени) может быть представлена следующим образом:

$$W_{\text{max}} = \frac{S}{t} \text{ га/ч,} \quad (1)$$

где S — площадь (гектары), которую может обработать трактор за заданное время; t — время (часы),

необходимое для выполнения заданной площади обработки.

Для оптимизации критерия максимальной производительности необходимо рассчитать производительность каждого трактора в парке и определить среднюю производительность для всего парка. Затем можно проанализировать, как изменение состава парка (добавление или удаление тракторов) влияет на эту производительность.

$$F_1 = W = 0,1 \cdot B_k \cdot V_p \cdot \tau_{\text{эксп}} \text{ га/ч,} \quad (2)$$

здесь B_k — конструктивная ширина захвата сельхозмашин, м; V_p — скорость трактора в составе МТА при выполнении работы, км/ч; $\tau_{\text{эксп}}$ — коэффициент использования эксплуатационного времени ($\tau_{\text{см}} = 1$).

Целью применения **критерия максимизации коэффициента надежности парка МЭС** является максимизация надежности и долговечности тракторов. В расчет включаются такие факторы, как степень износа, частота поломок и ремонтов, срок службы.

Формула расчета критерия максимальной надежности тракторов может быть представлена следующим образом через коэффициент надежности тракторов:

$$F_2 = k_{\text{над}} = \frac{N_{\text{нач}} - N_{\text{уб}}}{N_{\text{нач}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $N_{\text{нач}}$ — количество МЭС в начале периода наблюдения, шт.; $N_{\text{уб}}$ — количество тракторов, вышедших из строя в течение периода наблюдения, шт.

Формула (3) позволяет определить коэффициент надежности совокупности МЭС в парке.

Для того, чтобы рассчитать затраты на эксплуатацию каждого трактора (топливо, масла, ремонт, амортизация и т.д.) и определить среднюю стоимость эксплуатации на единицу времени для всего парка нами был выбран **критерий минимизации средней стоимости эксплуатации тракторов за единицу времени**.

Проанализируем теперь, как изменение состава парка МЭС влияет на стоимость.

$$F_3 = C_{\text{сп}} = C_{\text{T}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{аморт}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{аренды}} \text{ руб/ч}, \quad (4)$$

где C_{T} — стоимость топлива за единицу времени, руб/ч; $C_{\text{рем}}$ — стоимость ремонта и обслуживания за единицу времени, руб/ч; $C_{\text{аморт}}$ — стоимость использования трактора (амортизация) за единицу времени, руб/ч; $C_{\text{доп}}$ — стоимость дополнительных материалов и расходных материалов за единицу времени, руб/ч; $C_{\text{аренды}}$ — стоимость аренды, страховки, налогов и других затрат за единицу времени, руб/ч.

Без учета потерь сельскохозяйственной продукции в настоящее время в условиях цифровизации невозможно спрогнозировать эффективный парк МЭС, потому следующим критерием нами был выбран **критерий минимизации потерь сельскохозяйственной продукции**. Критерий ориентирован на максимальное сохранение качества и количества собранной продукции. Для этого необходимо рассчитать потери сельскохозяйственной продукции на каждом этапе ее обработки и сбора, такие как потери при транспортировке, уборке, сушке, хранении и т.д. Затем можно проанализировать, какие изменения в процессе сбора и обработки продукции могут помочь минимизировать потери.

Формула расчета потерь сельскохозяйственной продукции может выглядеть следующим образом:

$$F_4 = \Pi = \frac{U_{\text{нач}} - U_{\text{кон}}}{U_{\text{нач}}} \text{ руб}, \quad (5)$$

где $U_{\text{нач}}$ — объем продукции, полученной после сбора урожая; $U_{\text{кон}}$ — объем продукции, который может быть реализован на рынке или использован на хозяйстве.

Для минимизации потерь сельскохозяйственной продукции также может быть полезным расчет показателей эффективности на каждом этапе обработки продукции и определение наиболее уязвимых моментов в процессе, где потери могут быть сокращены.

Суммарные затраты на проведение работы в руб./га на 1 га — $Z_{\text{сум}}$ можно вычислить по формуле:

$$F_5 = Z_{\text{сум}} = \frac{\sum i(E_{\text{н}} + ae) \cdot B_{\text{с}} \cdot k_{\text{н}}}{w_{ij} \cdot t_i \cdot k_{\text{см}} \cdot k_{\text{им}} \cdot T_i} + \Pi_y \text{ руб}, \quad (6)$$

где $E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; i — количество тракторов в парке, шт.; ae — норматив годовых отчислений на реновацию e машины и трактора; $B_{\text{с}}$ — балансовая стоимость машины и трактора; $k_{\text{н}}$ — коэффициент использования машины и трактора на работе относительно ее годовой загрузки на всех работах, т.е. отношение времени использования трактора на i -ой работе к суммарному времени; w_{ij} — производительность j -го агрегата за час эксплуатационного времени; t_i — продолжительность смены; $k_{\text{см}}$ — смежность работы; $k_{\text{им}}$ — коэффициент использования календарного времени по метеоусловиям при выполнении i -ой работы; T_i — продолжительность выполнения i -ой работы (количество календарных дней); Π_y — стоимость потерь (недобора урожая), соответствующая определенной продолжительности проведения полевых работ.

Для проведения дальнейших оптимизационных расчетов в исследуемом пространстве параметров сформирован перечень варьируемых параметров, который включает около 30 наименований: конструктивная ширина захвата агрегируемой сельхозмашины, скорость трактора в составе МТА при выполнении работы, балансовая стоимость машины и трактора и другие параметры. Диапазоны изменения варьируемых эксплуатационных параметров МЭС выбирались с учетом реальных условий эксплуатации МЭС — существующих показателей сельскохозяйственных организаций Центральной Нечерноземной зоны России.

По результатам проведенных пробных оптимизационных расчетов получены допустимые и Паретовские модели, т.е. наиболее лучшие варианты значений критериев качества для обеспечения эффективности парка МЭС. Для выбранного нами модельного хозяйства среди 5 Паретовских моделей лицо принимающее решение (ЛПР) выбрал следующий предпочтительный вариант (точку) со значениями критериев: производительность 30 га/ч; потери сельскохозяйственной продукции 763 ц; суммарные затраты 1,135 тыс. рублей; коэффициент надежности парка МЭС 0,88; средняя стоимость эксплуатации техники 674 тыс. руб.

Согласно многокритериальной постановке задачи и предпочтений ЛПР для принятия компромиссных решений по эффективности парка сельскохозяйственных МЭС выбранные и усовершенствованные математические

модели, и диапазоны изменения варьируемых параметров играют ключевую роль.

ВЫВОДЫ

Исходя из значимости рассматриваемых всех 25 характеристик парка МЭС, были выбраны следующие наиболее значимые критерии для включения в многокритериальную постановку задачи оптимизации эффективности парка МЭС: минимизация потерь сельскохозяйственной продукции; максимальная производительность; максимальный коэффициент надежности парка МЭС; минимизация средней стоимости эксплуатации техники за единицу времени; минимальные суммарные затраты на проведение работы в рублях. Разработаны и усовершенствованы математические модели критериев качества, входящие в постановку задачи и зависящие от многих варьируемых параметров. Сформирован перечень варьируемых параметров, в количестве около 30 наименований, а также диапазон их варьирования для принятия компромиссных решений по эффективности парка МЭС на примере модельного хозяйства Центральной Нечерноземной зоны РФ. При формировании постановки и решения задачи многокритериальной оценки эффективности парка МЭС, разработанные математические и программные обеспечения позволяют ЛПР принимать компромиссное решение.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. В.А. Зубина. — постановка задачи, разработка математических моделей функциональных характеристик МЭС, подготовка введения и выводов; Т.З. Годжаев — разработка математических моделей экономических критериев качества МЭС, оптимизационных

моделей, формирование перечня варьируемых параметров; И.С. Малахов — выполнение расчета компромиссных решений на примерах модельных хозяйств, оформление иллюстраций. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (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 публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.A. Zubina — formulation of the problem, development of mathematical models of the functional characteristics of the MPU fleet, preparation of introductions and conclusions; T.Z. Godzhaev — development of mathematical models of economic criteria for the quality of the MPU, optimization models, formation of a list of variable parameters; I.S. Malakhov — calculation of compromise solutions using examples of model farms, design of illustrations. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing of interests. The authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годжаев З.А., Фараджев Ф.А., Матвеев Е.А. Надеждин В.С. Перспективные методы проектирования несущих систем автотранспортных средств с учетом многих критериев // Технология колесных и гусеничных машин. 2012. № 3. С. 18–24. EDN: PDVCLR
2. Годжаев З.А., Сергеев В.Н., Фараджев Ф.А. Многокритериальный выбор эффективной конструкции рамы // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. Т. 73, № 3. С. 20–24. EDN: KWPMXR
3. Карпенко А.П., Федорук В.Г. Обзор программных систем многокритериальной оптимизации. Отечественные системы // Информационные технологии. 2008. № 1. С. 15–22. EDN: KFPWDJ
4. Годжаев З.А., Лавров А.В., Шевцов В.Г., Зубина В.А. О методике оценки уровня локализации производства сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2020. Т. 87, №5. С. 18–24. EDN: JAZNGW doi: 10.31992/0321-4443-2020-5-18-24
5. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Зубина В.А., Гурьев Г.С. Принципиальные признаки суженного типа воспроизводства

в сельском хозяйстве // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири. Материалы Международной научно-технической конференции. Краснообск: СФНЦА РАН, 2017. С. 235–241.

6. Скороходов А.Н. Методы повышения надежности и эффективности агрегатов и технологических комплексов: Практикум. М.: МГАУ, 2003.

7. Зубина В.А. Обзор и анализ методов оптимизации и компьютерных программ для повышения эффективности МТП // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 1(41). С. 26–32. EDN: YWEECM

8. Шевцов В.Г., Годжаев З.А., Лавров А.В. и др. Методика определения оптимального состава тракторного парка в условиях нарушенного воспроизводства ресурсов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №4. С. 9–14. EDN: WLZXPX

9. Скороходов А.Н., Левшин А.Г. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: БИБКОН, 2017. EDN: WWONWA

10. Statnikov R., Matusov J., Statnikov A. Multicriteria Engineering Optimization Problems: Statement, Solution and Applications //

Journal of Optimization Theory and Applications. 2012. Vol. 155, N. 2. P. 355–375. EDN: SPBSOD doi: 10.1007/s10957-012-0083-9

11. Соболев И.М., Статников Р.Б., Соболев И.М. и др. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: учеб. пособие. Москва: Дрофа, 2006. EDN: QJQRCT

12. Годжаев Т.З., Зубина В.А., Малахов И.С. Обоснование функциональных характеристик сельскохозяйственных мо-

бильных энергосредств в многокритериальной постановке // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 6. С. 411–420. EDN: XTFDEB doi: 10.17816/0321-4443-121325

13. Лавров А.В., Зубина В.А. Систематизация элементов автоматизации, применяемых в сельском хозяйстве // Аграрный научный журнал. 2021. № 4. С. 94–97. EDN: FWMCB1 doi: 10.28983/asj.y2021i4pp94-97

REFERENCES

- Godzhaev Z.A, Faradzhev F.A, Matveev E.A, et al. Promising methods for designing load-bearing systems of automobile vehicles, taking into account many used means. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*. 2012;3:18–24. (In Russ). EDN PDVCLR
- Godzhaev Z.A, Sergeev V.N, Faradzhev F.A. Multi-criteria selection of efficient frame design. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2006;73(3):20–24. (In Russ). EDN: KWPMXR
- Karpenko A.P, Fedoruk V.G. Review of software systems for multicriteria optimization. Domestic systems. *Informatsionnye tekhnologii*. 2008;1:15–22. (In Russ). EDN: KFPWDJ
- Godzhaev Z.A, Lavrov A.V, Shevtsov V.G, et al. The methodology for assessing the level of localization of agricultural tractors production. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020;87(5):18–24. (In Russ). EDN: JAZNGW doi: 10.31992/0321-4443-2020-5-18-24
- Shevtsov V.G, Lavrov A.V, Zubina V.A, et al. Fundamental features of a narrowed type of reproduction in agriculture. *Scientific and technical support of the agro-industrial complex of Siberia. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Krasnoobsk: SFNTsA RAN; 2017:235–241. (In Russ).
- Skorokhodov A.N. *Methods for increasing the reliability and efficiency of units and technological complexes. Workshop*. Moscow: MGAU; 2003. (In Russ).
- Zubina V.A. Review and analysis of optimization methods and computer programs for increasing the efficiency of MTP.

ОБ АВТОРАХ

* Зубина Валерия Александровна,

канд. техн. наук,
старший научный сотрудник лаборатории системы
мобильных энергетических средств;
адрес: Российская Федерация, 109428, Москва,
1-й Институтский пр-д, д. 5;
ORCID: 0000-0002-6657-1899;
eLibrary SPIN: 3410-5062;
e-mail: lera_zubina@mail.ru

Годжаев Теймур Захидович,

заведующий сектором моделирования и оптимизации МЭС;
ORCID: 0000-0002-4496-0711;
eLibrary SPIN: 1892-8405;
e-mail: tgodzhaev95@yandex.ru

Малахов Иван Сергеевич,

младший научный сотрудник сектора моделирования
и оптимизации МЭС;
ORCID: 0000-0001-8162-7718;
eLibrary SPIN: 7067-6972;
e-mail: malakhovivan2008@mail.ru

Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2018;1(41):26–32. (In Russ). EDN: YWEECM

8. Shevtsov V.G, Godzhaev Z.A, Lavrov A.V, et al. Methodology for determining the optimal composition of the tractor fleet in conditions of disrupted reproduction of resources. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016;4:9–14. (In Russ). EDN: WLZXPXN

9. Skorokhodov A.N, Levshin A.G. *Production operation of the machine and tractor fleet*. Moscow: BIBKOM; 2017. (In Russ). EDN: WWONWA

10. Statnikov R, Matusov J, Statnikov A. Multicriteria Engineering Optimization Problems: Statement, Solution and Applications. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 2012;155(2):355–375. EDN: SPBSOD doi: 10.1007/s10957-012-0083-9

11. Sobol IM, Statnikov RB, Sobol IM. et al. *Selection of optimal parameters in problems with many criteria: textbook. allowance*. Moscow: Drofa; 2006. (In Russ). EDN: QJQRCT

12. Godzhaev TZ, Zubina VA, Malakhov IS. The justification of functional properties of agricultural moving power units in the multi-objective scenario. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(6):411–420. (In Russ). EDN: XTFDEB doi: 10.17816/0321-4443-121325

13. Lavrov AV, Zubina VA. Systematization of automation elements used in agriculture. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021;4:94–97. (In Russ). EDN: FWMCB1 doi: 10.28983/asj.y2021i4pp94-97

AUTHORS' INFO

* Valeria A. Zubina,

Cand. Sci. (Engineering),
Senior Researcher of the Laboratory of Moving Power Units;
address: 5 1st Institutsky proezd, 109428 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-6657-1899;
eLibrary SPIN: 3410-5062;
e-mail: lera_zubina@mail.ru

Teymur Z. Godzhaev,

Head of the Sector of Modeling and Optimization of Moving Power Units;
ORCID: 0000-0002-4496-0711;
eLibrary SPIN: 1892-8405;
e-mail: tgodzhaev95@yandex.ru

Ivan S. Malakhov,

Junior Researcher of the Sector Modeling and Optimization
of Moving Power Units;
ORCID: 0000-0001-8162-7718;
eLibrary SPIN: 7067-6972;
e-mail: malakhovivan2008@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author