

DOI

УДК 631.372

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЦЕПНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ

А. А. Нурмиев, О.Н. Дидманидзе, Р. Н. Хафизов, К. А. Хафизов, Н. Р. Залаков

**Реферат.** Исследования проводили с целью выявления изменений энергетических затрат и устойчивости оптимальных параметров прицепного опрыскивателя при изменении численных значений факторов, влияющих на его работу, для определения возможности стабильной эксплуатации в различных условиях. Работу выполняли на примере прицепного опрыскивателя для трактора 4К4а типа МТЗ-82 с мощностью двигателя 80 л.с. (оптимальная ширина захвата – 32 м, скорость – 10 км/ч, диаметр колеса – 2 м, объем бака – 5000 л, ширина профиля колеса – 0,2 м, коэффициент распределения веса опрыскивателя на его опорные колеса – 0,83) при изменении следующих условий работы агрегата: площадь обрабатываемого поля от 1 до 101 га, длина гона от 0,1 до 1,1 км, плотность почвы от 1,1 до 1,7 г/см<sup>3</sup>, производительность заправщика от 100 до 700 л/мин, урожайность зерновой культуры от 15 до 70 ц/га, сезонный объем работы на один агрегат от 100 до 3600 га, норма внесения препаратов от 50 до 330 л/га, количество сорняков, приходящихся на единицу площади поля, от 10 до 460 шт/м<sup>2</sup>. При увеличении числовых значений первых четырех из перечисленных факторов, определяющих условия работы опрыскивателя суммарные энергетические затраты снижались на 200...2800 МДж/га, рост величин показателей остальных четырех факторов системы приводил к повышению суммарных энергетических затрат на 300...5300 МДж/га. При этом оптимальные параметры опрыскивателя оставались неизменными независимо от варьирования рассматриваемых факторов.

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, опрыскиватель, вычислительный эксперимент, энергозатраты, потери урожайности, оптимизация параметров, критерий оптимизации.

**Введение.** Отечественные и зарубежные производители предлагают большое разнообразие прицепных опрыскивателей, отличающихся, в том числе такими важными параметрами, как ширина захвата, объем бака, параметры колес и др. [1, 2, 3]. В связи с этим необходимо понимать - опрыскиватели с какими параметрами наиболее приемлемы для широкого разнообразия условий их применения [4, 5, 6]. Приемлемость тех или других параметров агрегатов решается на основе критерия их оптимальности – суммарные энергетические затраты [7, 8, 9]. На использование опрыскивателей влияют такие факторы, как площадь обрабатываемого поля, длина гона, плотность почвы, производительность заправщика, урожайность зерновой культуры, сезонный объем работы, приходящийся на один агрегат, норма внесения жидких химических препаратов, количества сорняков, приходящихся на единицу площади поля и др. [10, 11, 12]. В предлагаемой статье исследуется вопрос влияния перечисленных факторов системы: трактор-оператор - опрыскиватель - поле - почва-урожай (ТООППУ) на численные значения оптимизируемых параметров опрыскивателя.

Цель исследования – выявление изменений энергетических затрат и устойчивости оптимальных параметров прицепного опрыскивателя при изменении численных значений факторов, влияющих на его работу, для определения возможности стабильной эксплуатации в различных условиях.

**Условия, материалы и методы.** Оптимальные параметры опрыскивателей (ширина захвата, рабочая скорость, объем бака, диаметр и ширина профиля колеса, коэффициент распределения веса опрыскивателя на его опорные колеса при изменении факторов

внешней среды) были определены методом вычислительных экспериментов на основе энергетической математической модели машинно-тракторных агрегатов с прицепными опрыскивателями [11]. Внутри внешнего цикла расчетов для каждого значения фактора среды проводили шестипараметрическую оптимизацию с сохранением данных и автоматическое построение графика зависимости критерия оптимизации и оптимальных параметров опрыскивателя от заданных значений этого фактора. Критерием оптимальности принимаемых решений служили суммарные энергетические затраты, которые кроме прямых энергетических затрат машинно-тракторного агрегата, учитывали косвенные энергетические затраты, в том числе энергию урожая, теряемого из-за принятия неверных решений по параметрам опрыскивателя с учетом условий его работы. Расчеты проводили по компьютерным программам в системе компьютерной математики МАТЛАБ [13].

Ранее [11, 12] был изучен вопрос влияния параметров опрыскивателя на величину суммарных энергетических затрат, включающих и энергию теряемого урожая. Было выявлено что минимальные суммарные энергетические затраты снижаются с ростом ширины захвата агрегата, его рабочей скорости, диаметра колеса опрыскивателя, объема бака, а также при снижении ширины профиля колеса опрыскивателя и уменьшении, в заданных пределах, коэффициента распределения веса опрыскивателя на его опорные колеса.

Для принятых, в ходе вычислительных экспериментов, условий работы [12] прицепного опрыскивателя с трактором типа МТЗ-82 оптимальны следующие параметры: ширина захвата 32 м, скорость 10 км/ч, диаметр колеса 2 м, объем бака 5000 л, ширина профиля 0,2 м,

коэффициент распределения веса опрыскивателя на его опорные колеса 0,83. При повороте агрегата в пределах поля с посевом суммарные энергетические затраты составили 4852,9 МДж/га.

В представленной работе решали задачу по определению стабильности оптимальных значений перечисленных параметров при изменении следующих условий работы опрыскивателя: площадь обрабатываемого поля от 1 до 101 га, длина гона от 0,1 до 1,1 км, плотность почвы от 1,1 до 1,7 г/см<sup>3</sup>, производительность заправщика от 100 до 700 л/мин, урожайность зерновой культуры от 15 до 70 ц/га, сезонный объем работы на один агрегат от 100 до 3600 га, норма внесения препаратов от 50 до 330 л/га, количество сорняков, приходящихся на единицу площади поля, от 10 до 460 шт./м<sup>2</sup>.

Кроме того, для вычислительного эксперимента использовали следующие исходные данные: поворот агрегата в пределах поля; расстояние переезда  $l_{пер}$  – 3 км; коэффициент прочности несущей поверхности поля  $Q_1$  – 0,9; культура – яровая пшеница; число тракторов, занятых на операции  $N_{тракт}$  – 1 шт.; продолжительность рабочего дня  $T_{днев}$  – 14 ч;

давление насоса  $P_{насоса}$  – 3 МПа; давление воздуха в шинах  $P_w$  – 0,16 МПа; число колес на одном борту моста  $Z_k$  – 1 шт.; коэффициент сцепления колес с почвой  $K_{сцеп}$  – 0,6; коэффициент сопротивления перекачиванию колес  $f_{перек}$  – 0,1. Для улучшения экологических аспектов [14, 15, 16], верхний предел скорости, исходя из используемых распылителей [17] не должен превышать 12 км/ч.

**Результаты и обсуждение.** Суммарные энергетические затраты уменьшались на 2700 МДж/га при росте площади поля с 1 до 20 га, а затем стабилизировались на уровне 4850 МДж/га (рис. 1). Оптимальные величины параметров опрыскивателя оставались неизменными во всем рассмотренном диапазоне изменения площади поля.

Аналогичную картину снижения суммарных энергетических затрат на 1100 МДж/га наблюдали при увеличении длины гона от 0,1 до 1,1 км (рис. 2) при неизменных оптимальных параметрах опрыскивателя, что свидетельствует об их независимости от этого фактора. Для снижения суммарных энергетических затрат площадь поля должна превышать 20 га, а длина гона – 500 м.

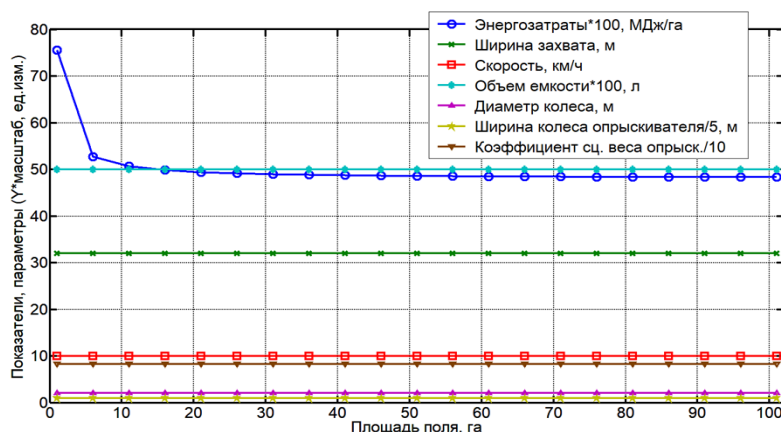


Рис. 1 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении площади поля

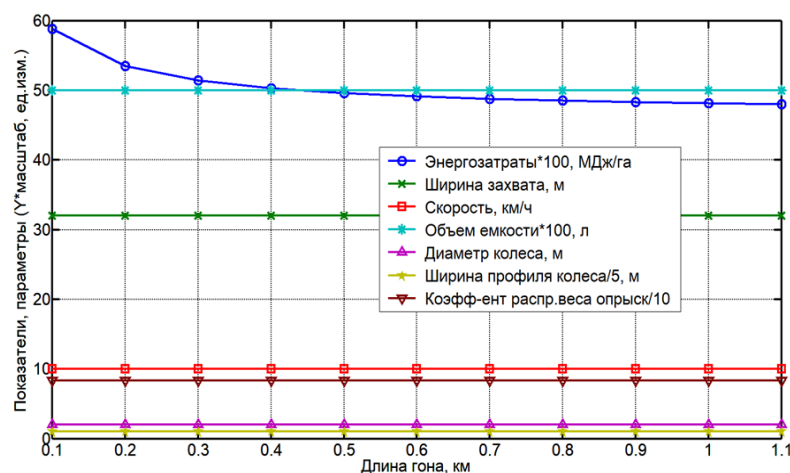


Рис. 2 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении длины гона

Такое влияние площади поля, которое невозможно без изменения длины гона, на суммарные энергетические затраты объясняется значительным изменением производительности опрыскивателя при варьировании этого фактора в рассматриваемых

пределах в 8,1 раз (рис. 3).

Это влияет на длительность проведения работ, а значит и на потери урожайности зерновых культур от нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции [18, 19, 20].

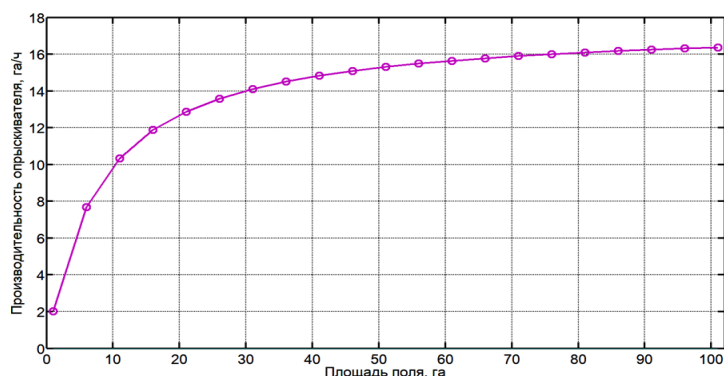


Рис. 3 – Изменение производительности опрыскивателя при увеличении площади обрабатываемого поля

Увеличение урожайности зерновой культуры в рассматриваемом диапазоне не влияет на оптимальные параметры

опрыскивателя, но приводит к росту суммарных энергетических затрат на 5300 МДж/га (рис. 4).

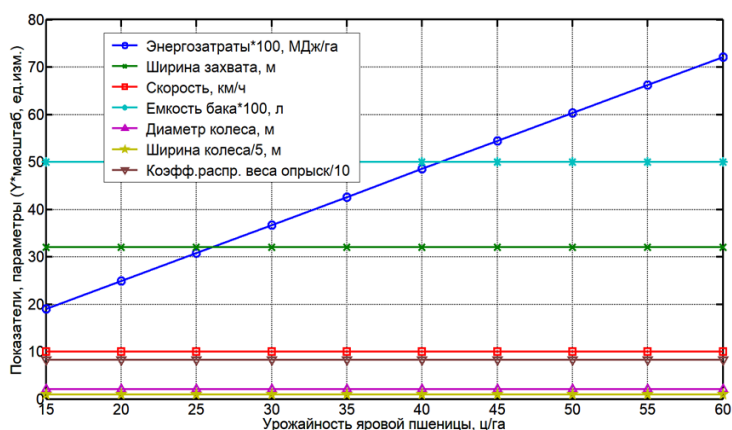


Рис. 4 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении урожайности яровой пшеницы

Увеличение объема работ, выполняемой агрегатом за один сезон с 100 до 3600 га ведет к росту суммарных энергетических затрат на 1160 МДж/га (рис. 5), что связано с ростом

потерь урожайности из-за нарушения агротехнических сроков выполнения операции по защите растений, но оптимальные величины параметров агрегата остаются неизменными.

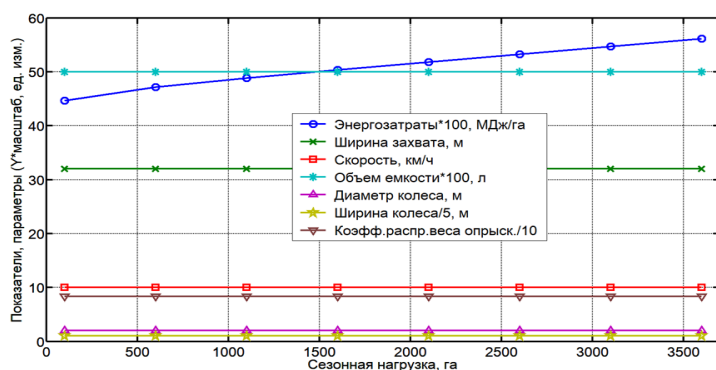


Рис. 5 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении сезонной нагрузки опрыскивателя

Изменение плотности почвы, также не влияет на оптимальные параметры опрыскивателя (рис. 6). Повышение производительности загрузчика жидкости в бак опрыскивателя приводит к незначительному снижению суммарных энергетических затрат

на 180 МДж/га и они стабилизируются уже при величина этого показателя чуть больше 200 л/мин (рис. 7). При этом на всем протяжении изменения производительности загрузчика оптимальные величины параметров опрыскивателя были стабильны.

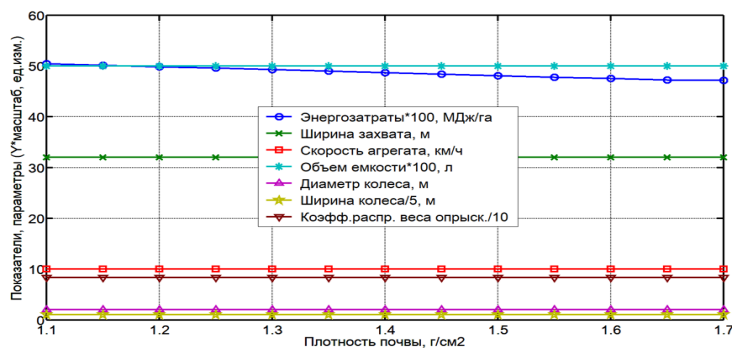


Рис. 6 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении плотности почвы

Рост нормы расхода опрыскивателем жидкости с 50 до 330 л/га приводит к незначительному, но увеличению суммарных энергетических затрат на 220 МДж/га (рис. 8), что связано со снижением производительности опрыскивателя из-за частых остановок на заправку. При этом наблюдается скачкообразное снижение оптимальной скорости опрыскивателя с 12 до 10 км/ч, при расходе жидкости 115 л/ч

и с 10 до 8 км/ч при расходе жидкости 250 л/ч, что объясняется увеличением потребной мощности на внесение жидкости и ограниченной мощностью двигателя модельного трактора в 80 л.с.

Приходится вместо ширины захвата агрегата жертвовать его скоростью с целью сохранения меньших суммарных энергетических затрат.

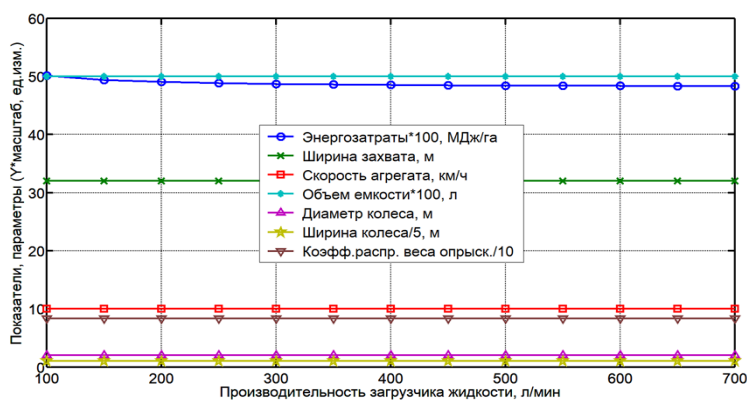


Рис. 7 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров опрыскивателя при увеличении производительности загрузчика жидкости

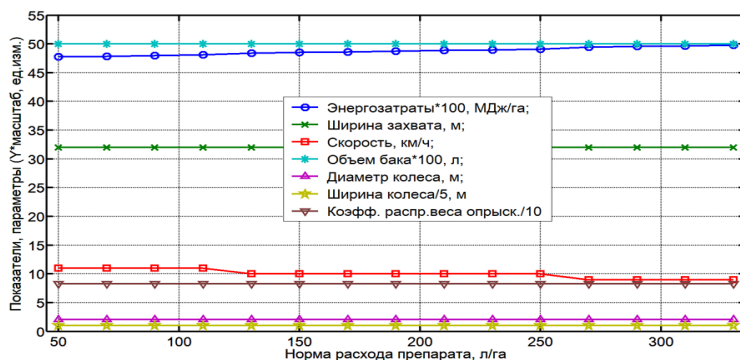


Рис. 8 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении нормы расхода препарата

Рост количества сорняков на 1 м<sup>2</sup> посевов в пределах с 10 до 460 шт./м<sup>2</sup> привел к росту суммарных энергетических затрат на 1450

МДж/га (рис. 9), связанных с ростом потерь урожая от влияния сорняков, но оптимальные параметры агрегата при этом не меняются.

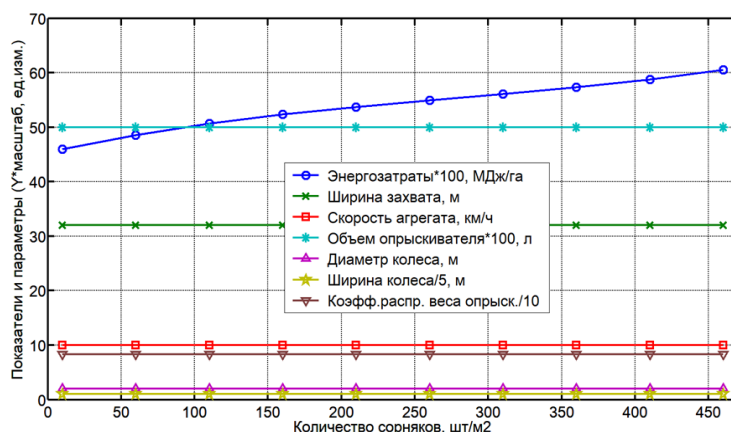


Рис. 9 – Изменение суммарных энергетических затрат и параметров агрегата при увеличении количества сорняков на поле

**Выводы.** Увеличение площади обрабатываемого поля, длины гона, плотности почвы, производительности заправщика опрыскивателя приводит к снижению суммарных энергетических затрат на единицу выполненной опрыскивателем работы, повышение урожайности зерновой культуры, сезонного объема работы в расчете на 1 агрегат, нормы

внесения препаратов, количества сорняков, приходящихся на единицу площади поля – к их росту.

Оптимальные параметры прицепного опрыскивателя для трактора 4К4а типа МТЗ-82 при варьировании большинства факторов, определяющих условия работы этих агрегатов не изменяются.

#### Литература

1. Технические средства для химической защиты растений: состояние и перспективы развития / А. С. Дорохов, И. А. Старостин, А. В. Ещин и др. // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 12-18. doi: 10.26897/2687-1149-2022-3-12-18.
2. Аналитические исследования технических параметров самодвижущихся опрыскивателей / Е. Е. Демин, А. С. Старцев, А. А. Протасов и др. // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 112-114. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp112-114.
3. Федоренко В. Ф. Оптимизация методов и инструментов экологической трансформации применения средств защиты растений // Техника и оборудование для села. 2022. № 5(299). С. 22-26. doi: 10.33267/2072-9642-2022-5-22-26.
4. Результаты исследований мощности установленных двигателей и массы самоходных штанговых опрыскивателей / Е. Е. Демин, А. С. Старцев, П. И. Павлов и др. // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 73-76. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp73-76.
5. Вододохова М. В., Стрельцов И. Н., Бушев А. А. Повышение технических характеристик сельскохозяйственных шин для прицепной техники // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 153-156. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.021.
6. Борисенко И. Б., Мезникова М. В., Улыбина Е. И. Качественные показатели опрыскивания при применении способа полосовой химической обработки подсолнечника // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 338-347. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-35.
7. Selection of the main parameters of tractors for direct sowing of grain crops according to various optimization criteria / K. A. Khafizov, R. N. Khafizov, A. A. Nurmiev, et al. // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». Kazan: EDP Sciences, 2022. Vol. 52. P. 00045. URL: [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2022/11/bioconf\\_fies2022\\_00045/bioconf\\_fies2022\\_00045.html](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2022/11/bioconf_fies2022_00045/bioconf_fies2022_00045.html) (дата обращения: 11.01.2024). doi: 10.1051/bioconf/20225200045.
8. Method of justification for parameters of tractor-implement unit with regards to their impact on crop productivity / C. Khafizov, A. Nurmiev, R. Khafizov, N. Adigamov // Engineering for Rural Development. 2018. Vol. 17. P. 176-185. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N193.
9. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. С. Ценч и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 4. С. 63-68. doi: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
10. Полищук Ю. В., Лаптев Н. В., Комаров А. П. Применение систем автоматического и параллельного вождения в сельскохозяйственном производстве Республики Казахстан и эффективность их использования // Аграрный вестник Урала. 2020. № 5(196). С. 11-19. doi: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-11-19.
11. Энергетическая математическая модель опрыскивателя / К. А. Хафизов, А. А. Нурмиев, Р. Н. Хафизов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2(70). С. 117-126.

doi: 10.12737/2073-0462-2023-117-126.

12. Повышение эффективности использования прицепного опрыскивателя путем снижения потерь урожая / А. А. Нурмиев, К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 3(71). С. 92-101. doi: 10.12737/2073-0462-2023-92-101.

13. Хафизов Р.Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684888 Российская Федерация. Программа для расчета шестипараметрической оптимизации конструкции прицепного опрыскивателя: № 2023684483: заявл. 15.11.2023 : опубли. 21.11.2023 / Р. Н. Хафизов, К. А. Хафизов, А. А. Нурмиев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет».

14. Федоренко В. Ф., Аристов Э. Г., Краховецкий Н. Н. Экологические аспекты оптимизации применения средств защиты растений // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 4-11. doi: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-11.

15. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И. С. Крук, О. В. Горденко, Т. П. Кот и др. // Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2022. Т. 60, № 3. С. 320-331. DOI 10.29235/1817-7204-2022-60-3-320-331.

16. Сабитов М. М. Влияние удобрений и средств защиты растений на засоренность, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2021. № 4. С. 41-47. doi: 10.24412/1029-2551-2021-4-008.

17. Свиридов А. С., Катаев Ю. В., Загоруйко М. Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 96-100. DOI 10.28983/asj.y2021i6pp96-100.

18. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2(70). – С. 199-205. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-199-205.

19. Совершенствование влагоаккумулирующей техники и технологии обработки почвы и посева / Н. К. Мазитов, А. Р. Валиев, Л. З. Шарафиев, И. С. Мухаметшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2(66). – С. 74-83. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-74-83.

20. Хакимов, Р. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при различных сроках и способах подкормки растений / Р. А. Хакимов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3(63). – С. 41-50. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-3-41-50.

#### Сведения об авторах:

Нурмиев Азат Ахиарович – старший преподаватель кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: azat-nurmiev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Дидманидзе Отари Назирович - доктор технических наук, Академик РАН, заведующий кафедры тракторы и автомобили, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Хафизов Рамиль Наилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: ramilajz@mail.ru

Хафизов Камилль Абдулхакович – доктор технических наук, заведующий кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: fts-kgau@mail.ru

Залаков Наиль Ринатович – соискатель кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: Nail.Zalakov@tatar.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

#### STUDY OF THE OPTIMAL PARAMETERS' STABILITY OF A TRAILED SPRAYER WHEN CHANGING WORKING CONDITIONS

A. A. Nurmiev, O. N. Didmanidze, R. N. Khafizov, K. A. Khafizov, N. R. Zalakov

**Abstract.** Research was carried out to identify changes in energy costs and the stability of the optimal parameters of a trailed sprayer when changing the numerical values of factors affecting its operation, to determine the possibility of stable operation in various conditions. The work was carried out using the example of a trailed sprayer for a 4K4a tractor, type MTZ-82, with an engine power of 80 hp. (optimal working width – 32 m, speed – 10 km/h, wheel diameter – 2 m, tank volume – 5000 l, wheel profile width – 0.2 m, sprayer weight distribution coefficient on its support wheels – 0.83) at changing the following operating conditions of the unit: cultivated field area from 1 to 101 hectares, paddock length from 0.1 to 1.1 km, soil density from 1.1 to 1.7 g/cm<sup>3</sup>, tanker productivity from 100 to 700 l/min, grain yield from 15 to 70 c/ha, seasonal volume of work per unit from 100 to 3600 ha, application rate of preparations from 50 to 330 l/ha, number of weeds per unit field area from 10 to 460 pcs/m<sup>2</sup>. With an increase in the numerical values of the first four of the listed factors that determine the operating conditions of the sprayer, the total energy costs decreased by 200...2800 MJ/ha, an increase in the values of the indicators of the other four factors of the system led to an increase in the total energy costs by 300...5300 MJ/ha. At the same time, the optimal parameters of the sprayer remained unchanged regardless of the variation in the factors under consideration.

**Key words:** machine-tractor unit, sprayer, computational experiment, energy consumption, yield loss, optimization of parameters, optimization criterion.

#### References

1. Dorokhov AS, Starostin IA, Eshchin AV. [Technical means for chemical plant protection: status and development prospects]. *Agroinzheneriya*. 2022; Vol.24. 3. 12-18 p. doi: 10.26897/2687-1149-2022-3-12-18.

2. Demin EE, Startsev AS, Protasov AA. [Analytical studies of the technical parameters of self-propelled sprayers]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021; 12. 112-114 p. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp112-114.

3. Fedorenko VF. [Optimization of methods and tools for environmental transformation of the use of plant protection products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022; 5(299). 22-26 p. doi: 10.33267/2072-9642-2022-5-22-26.

4. Demin EE, Startsev AS, Pavlov PI. [Results of studies of the power of installed engines and the mass of self-propelled boom sprayers]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2022; 12. 73-76 p. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp73-76.

5. Vododokhova MV, Streltsov IN, Beushev AA. [Improving the technical characteristics of agricultural tires for trailed equipment]. *Polzunovskiy vestnik*. 2022; 2. 153-156 p. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.021.

6. Borisenko IB, Meznikova MV, Ulybina EI. [Qualitative indicators of spraying when using the method of strip chemical treatment of sunflower]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2021; 2(62). 338-347 p. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-35.
7. Khafizov KA, Khafizov RN, Nurmiev AA. Selection of the main parameters of tractors for direct sowing of grain crops according to various optimization criteria. [Internet]. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources»*. Kazan: EDP Sciences. 2022; Vol. 52. 00045 p. [cited 2024, January 11]. Available from: [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2022/11/bioconf\\_fies2022\\_00045/bioconf\\_fies2022\\_00045.html](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2022/11/bioconf_fies2022_00045/bioconf_fies2022_00045.html). doi: 10.1051/bioconf/20225200045.
8. Khafizov K, Nurmiev A, Khafizov R, Adigamov N. Method of justification for parameters of tractor-implement unit with regards to their impact on crop productivity. *Engineering for Rural Development*. 2018. Vol. 17. P. 176-185. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N193.
9. Izmaylov AYu, Lobachevskiy YaP, Tsench YuS. [On the synthesis of a robotic agricultural mobile unit]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2019; 4. 63-68 p. doi: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
10. Polishchuk YuV, Laptev NV, Komarov AP. [Application of automatic and parallel driving systems in agricultural production of the Republic of Kazakhstan and the effectiveness of their use]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2020; 5(196). 11-19 p. doi: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-11-19.
11. Khafizov KA, Nurmiev AA, Khafizov RN. [Energy mathematical model of a sprayer]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 117-126 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-117-126.
12. Nurmiev AA, Khafizov KA, Khafizov RN. [Increasing the efficiency of using a trailed sprayer by reducing crop losses]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 3(71). 92-101 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-92-101.
13. Khafizov RN, Khafizov KA, Nurmiev AA. [Certificate of state registration of a computer program No. 2023684888 Russian Federation. Program for calculating six-parameter optimization of the design of a trailed sprayer: No. 2023684483]. *Applied* 11.15.2023, published 11.21.2023, applicant Kazan State Agrarian University.
14. Fedorenko VF, Aristov EG, Krakhovetskiy NN. [Ecological aspects of optimizing the use of plant protection products]. *Agroinzheneriya*. 2022; Vol.24. 1. 4-11 p. doi: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-11.
15. Kruk IS, Gordeenko OV, Kot TP. [Directions for improving the quality of pesticide application in windy weather]. *Vestsi Natsyyanalnai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*. 2022; Vol.60. 3. 320-331 p. DOI 10.29235/1817-7204-2022-60-3-320-331.
16. Sabitov MM. [Influence of fertilizers and plant protection products on weed infestation, yield and grain quality of winter wheat]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2021; 4. 41-47 p. doi: 10.24412/1029-2551-2021-4-008.
17. Sviridov AS, Kataev YuV, Zagoruiko MG. [Analysis of types of sprayers for agricultural sprayers]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021; 6. 96-100 p. DOI 10.28983/asj.y2021i6pp96-100.
18. Khismatullin MM, Valiev AR, Khismatullin MM. [On the issue of development and economic efficiency of the reclamation industry of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 199-205 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-199-205.
19. Mazitov NK, Valiev AR, Sharafiev LZ, Mukhametshin IS. [Improvement of moisture-accumulating equipment and technology for tillage and sowing]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 2(66). 74-83 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-74-83.
20. Khakimov RA. [Productivity and grain quality of winter wheat at different times and methods of plant feeding]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 3(63). 41-50 p. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-3-41-50.

**Authors:**

Nurmiev Azat Akhbarovich – senior lecturer of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes Department, e-mail: [azat-nurmiev@mail.ru](mailto:azat-nurmiev@mail.ru)  
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia  
 Didmanidze Otari Nazirovich - Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Tractors and Automobiles, e-mail: [Didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:Didmanidze@rgau-msha.ru)  
 Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva, Moscow, Russia  
 Khafizov Ramil Nailovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes Department, e-mail: [ramilajz@mail.ru](mailto:ramilajz@mail.ru)  
 Khafizov Kamil Abdulkhakovich – Doctor of Technical Sciences, Head of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes Department, e-mail: [fts-kgau@mail.ru](mailto:fts-kgau@mail.ru)  
 Zalakov Nail Rinatovich – an applicant of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes Department, e-mail: [Nail.Zalakov@tatar.ru](mailto:Nail.Zalakov@tatar.ru)  
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.