

References

1. Savin V.Yu. Opredelenie sostava ochesannogo vorokha pri uborke pshenitsy s ispolzovaniem pritsepnogo ochesyvayushchego ustroystva // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 4 (51). – S. 96-99.
2. Kovlyagin F. V. Uborka zernovykh kultur metodom ochesa / V. F. Kovlyagin, G. G. Maslov // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – 1991. – No. 8. – S. 5–6.
3. Sravnitel'naya otsenka ochesyvayushchikh adapterov razlichnykh konstruktsiy / E. V. Zhulin [i dr.] // Nauchno-tehnicheskiy byulleten VIM. – 1992. – No. 83. – S. 21-24.
4. Vliyanie sostava ochesannogo zernovogo vorokha na predvaritelnyu separatsiyu svobodnogo zerna / Ozherelev V.N. [i dr.] // Traktory i selkhozmashiny. – 2024. – T. 91. – No. 5. – S. 553-561.
5. A.S. No. 1165278 SSSR, MPK A01D41/08. Ustroystvo dlya obmolota rasteniy na kornyu / I.K. Golubev [i dr.]. – Zayavka No. 3633051/30-15 ot 24.05.1983; opubl. 07.07.1985, byul. No. 25.
6. Boldin A. P. Osnovy nauchnykh issledovanii i UNIRS: uchebnoe posobie / A. P. Boldin, V. A. Maksimov. – Moskva: MADI, 2002. – 276 s.
7. Lezhenkin I.A. Statisticheskaya model soderzhaniya polovy v ochesannom vorokhe ozimoy pshenitsy. / I.A. Lezhenkin // Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta selskogo khozyaystva imeni Petra Vasilenka. – 2013. – No. 132. – S. 355-360.



УДК 631.3

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-253-11-83-90

А.В. Тур, В.И. Беляев**A.V. Tur, V.I. Belyaev**

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОСЕВА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

RATIONAL SEEDING UNIT SELECTION FOR DIFFERENTIAL SOWING OF SPRING WHEAT AND MINERAL FERTILIZER APPLICATION IN THE ALTAI REGION

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат (MTA), яровая пшеница, дифференцированный посев и внесение удобрений, зона плодородия поля, индекс вегетации NDVI, расход топлива, производительность, эксплуатационные и приведенные затраты.

Представлено обоснование выбора рационального посевного агрегата для дифференцированного посева и внесения удобрений с учётом неоднородности почвенных характеристик по участкам полей. Основная цель работы – повышение эффективности выполнения дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений за счет обоснования рациональных параметров и режимов работы посевного агрегата. Для реализации технологии используются специализированные машины с навигационными системами и возможностью секционного управления. Коммуникация техники осуществляется

через ISOBUS-терминалы. Использование терминалов ISOBUS является наиболее распространенным техническим решением для загрузки и исполнения карт на основе индексов NDVI и их разновидностей. В ходе исследования проведены расчёты и сравнения различных вариантов посевных агрегатов на базе тракторов с мощностью двигателя 220-309 кВт и сеялок шириной захвата 6-12 м. Установлено, что наиболее эффективным вариантом МТА является применение трактора с мощностью двигателя 309 кВт и сеялки шириной захвата 9 м. Величина эксплуатационных и приведенных затрат при этом минимальна 637,5 и 987,2 руб/га соответственно). Проведенные расчеты позволяют обеспечить правильное комплектование посевного агрегата: подбор рациональных параметров трактора и посевного комплекса. Так как функция дифференцированного сева и внесения удобрений лишь немногого удорожает и утяжеляет МТА, затраты увеличиваются незначи-

тельно, но при этом имеется возможность получения потенциально более высоких урожаев. Результаты наших полевых опытов доказывают высокую экономическую эффективность дифференцированного подхода при незначительном увеличении затрат на оборудование, а технология позволяет повысить урожайность и качество зерна при правильном ее применении по зонам плодородия поля.

Keywords: machine-tractor unit, spring wheat, differential sowing and fertilization rates, field fertility zone, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), fuel consumption, performance, operating and total costs.

The substantiation of the selection of a rational seeding unit for differential sowing and fertilizer application taking into account soil heterogeneity across field parts is discussed. The research goal is to enhance the efficiency of differential sowing and mineral fertilizer application through the substantiation of the rational parameters and operating modes of the seeding unit. To implement the technology, specialized machines equipped with navigation systems and sectional control capabilities are used. The communication between the ma-

Тур Андрей Викторович, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: tur_andrej@mail.ru.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Введение

Основы оптимизации дифференцированного посева и внесения удобрений базируются на учёте неоднородности качества почв и их структуры. Эти параметры влияют на такие важные агрономические показатели, как кислотность, содержание гумуса, влагоудерживающая способность, доступность питательных веществ и теплопроводность почв.

Необходимо учесть все эти особенности отдельных зон поля и адаптировать норму высева и дозу внесения удобрений таким образом, чтобы получить оптимальную урожайность в складывающихся условиях. Дифференцированный посев и внесение удобрений ведутся по картам зонирования, созданным на базе многолетних спутниковых снимков, данных почвенных сенсоров, карт урожайности или их комбинации.

Подходов к влиянию на норму высева и дозу удобрений достаточно много. Например, в зонах

chines is carried out via ISOBUS terminals. The use of ISOBUS terminals is the most widespread technical solution for loading and executing maps based on NDVI indices and their variations. During the research, calculations and comparisons of various seeding unit options were conducted examining combinations of tractors with engine power ranging from 220–309 kW and seeders with working widths of 6–12 meters. It was found that the most effective machine-tractor unit (MTU) option was the combination of a 309 kW tractor and a 9-meter seeder. In this configuration, both operating costs (637.5 RUB ha) and total costs (987.2 RUB ha) were minimal. The conducted calculations ensure proper configuration of the seeding unit by selecting rational parameters for both the tractor and the seeding complex. While the function of differential sowing and fertilizer application slightly increases the cost and weight of the MTU, the costs rise marginally. However, this provides the opportunity to achieve potentially higher yields. The results of our field trials demonstrate the high economic efficiency of the differential approach with only a slight increase in equipment costs. The technology enables increased crop yields and grain quality when correctly applied across soil fertility zones.

Tur Andrey Viktorovich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: tur_andrej@mail.ru.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

с низким качеством почв нормы и дозы уменьшают, а на благополучных участках увеличивают. Такой подход основывается на том, что зоны с максимальным плодородием могут произвести больший урожай биомассы, а зоны с меньшим потенциалом, по многолетним данным, производят всегда одинаково низкий урожай биомассы [1].

Второй подход основывается на выравнивании общей биомассы. В таком случае зоны с потенциально высокой урожайностью обеспечивают меньшим количеством посевного материала и удобрений, а зоны с низким потенциалом, наоборот, за счет большего количества посевного материала и удобрений пытаются дотянуть до зоны со средним уровнем плодородия.

Для реализации дифференцированного посева и внесения удобрений необходимо орудие, например, трактор или сеялка, оборудованные навигационной системой и обладающие воз-

можностью посекционного отключения и индивидуальной настройки высевающих аппаратов. Коммуникация трактора и сеялки устанавливается через ISOBUS-терминал или другой терминал, предлагаемый производителями [2-4].

Таким образом, оптимизация дифференцированного посева и внесения удобрений обеспечивает увеличение эффективности усвоения питательных веществ, минимизацию риска неурожая при неблагоприятных погодных условиях и улучшение качества получаемого урожая [5].

Ещё один важный аспект – растущий интерес к дифференцированному посеву по всему миру благодаря возможности оптимизации за счет этих технологий расходов на посевной материал и удобрения, учитывая тренд на рост цен по данным статьям затрат [6]. Базой для формирования карт – заданий служат снимки NDVI, в том или ином виде, на базе которых формируются зоны плодородия, по которым происходят дифференцированный сев и внесение удобрений [7].

В дополнение к агротехнологическому аспекту практической ценности дифференцированного посева и внесения удобрений за счет повышения урожайности и качества зерна яровой пшеницы необходимо обосновать рациональные параметры агрегата из трактора и сеялки.

Объекты и методы исследования

Цель исследования – повышение эффективности выполнения дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений за счет обоснования рациональных параметров и режимов работы посевного агрегата.

Задачи:

- 1) на основании теоретических расчетов установить количественную оценку влияния параметров посевного агрегата на скоростные режимы работы, производительность и топливную экономичность;

- 2) дать технико-экономическую оценку результатов исследования.

Решение поставленных задач возможно через разработку и использование математической модели системы взаимодействия «почва – посевной комплекс – трактор».

Расчеты по оптимизации МТА опираются на вероятностную модель, разработанную кафедрой сельскохозяйственной техники и технологий Алтайского ГАУ [8]. В данную модель в качестве исследуемых факторов были включены различные сочетания параметров тракторов производства АО «Петербургский тракторный завод» (г. Санкт-Петербург) и посевных комплексов производства АО «АМ-Техника» (г. Самара).

Отправной точкой для расчетов приняты три мощностные категории тракторов серии К7М – 220, 257 и 309 кВт. Из ассортимента сеялок производства АО «АМ-Техника» были выбраны три, наиболее распространенные модели Amazone Primera DMC 6000-2C, Amazone Primera DMC 9000-2C и Amazone Primera DMC 12000-2C, шириной захвата 6, 9 и 12 м соответственно.

Расчеты проведены для вариантов посевных агрегатов с применением опции дифференцированного внесения семян и удобрений.

Исследуемые факторы и уровни их варьирования приведены в таблице.

Таблица
Исследуемые факторы и их уровни

Факторы	Уровни варьирования		
Рабочая ширина захвата, м	6	9	12
Мощность двигателя трактора, кВт	220	257	309

В результате реализации плана полнофакторного вычислительного эксперимента 3^2 выполнено 9 вариантов сочетаний исследуемых факторов. Функциями отклика являлись значения рабочих скоростей движения посевных агрегатов, чистой производительности и расхода топлива на единицу обработанной площади. Окончательный вывод о наиболее рациональных параметрах посевных агрегатов осуществляли по величине эксплуатационных и приведенных затрат с учетом требований агротехники по рабочим скоростям движения.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим результаты расчетов выходных показателей МТА на базе тракторов с тремя уровнями мощности двигателя и посевных комплексов с тремя уровнями рабочей ширины захвата. В графическом виде они приведены на рисунках 1-3.

Анализ данных показывает, что МТА на базе трактора с мощностью двигателя 220 кВт и посевных комплексов рабочей шириной захвата 6, 9 и 12 м позволяют развивать рабочие скорости движения 4,37; 3,67 и 1,91 м/с соответственно. При этом максимальная производительность и минимальный удельный расход топлива (по площади) получены при ширине захвата агрегата 9 м и составляют 11,93 га/ч и 3,67 кг/га соот-

ветственно. Все МТА работают на скоростях движения, не превышающих заданную по агротехническим требованиям (5,0 м/с).

При агрегатировании с трактором 257 кВт посевной комплекс шириной захвата 6 м будет превышать допускаемую производителем скорость движения на 0,13 м/с [9]. Данный факт указывает на необходимость контроля скорости движения при выполнении сева. Скоростные показатели агрегатов с комплексами 9 и 12 м ниже, и составляют 4,3 и 2,83 м/с соответственно, а лучшие показатели производительности и расхода топлива достигаются при агрегатировании трактора с комплексом шириной захвата 9 м (13,92 га/ч и 3,54 кг/га соответственно).

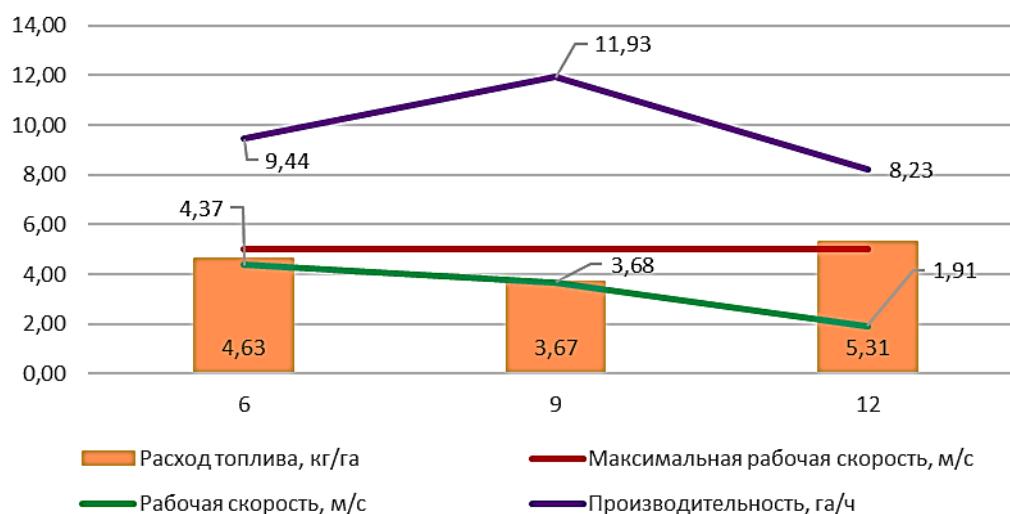


Рис. 1. Выходные показатели МТА с ДВ на базе трактора 220 кВт

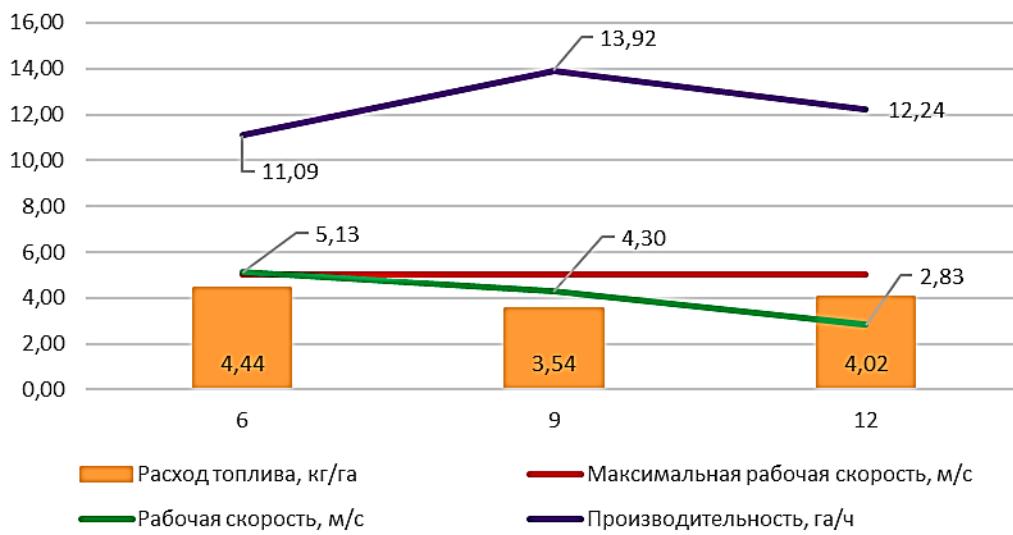


Рис. 2. Выходные показатели МТА на базе трактора 257 кВт

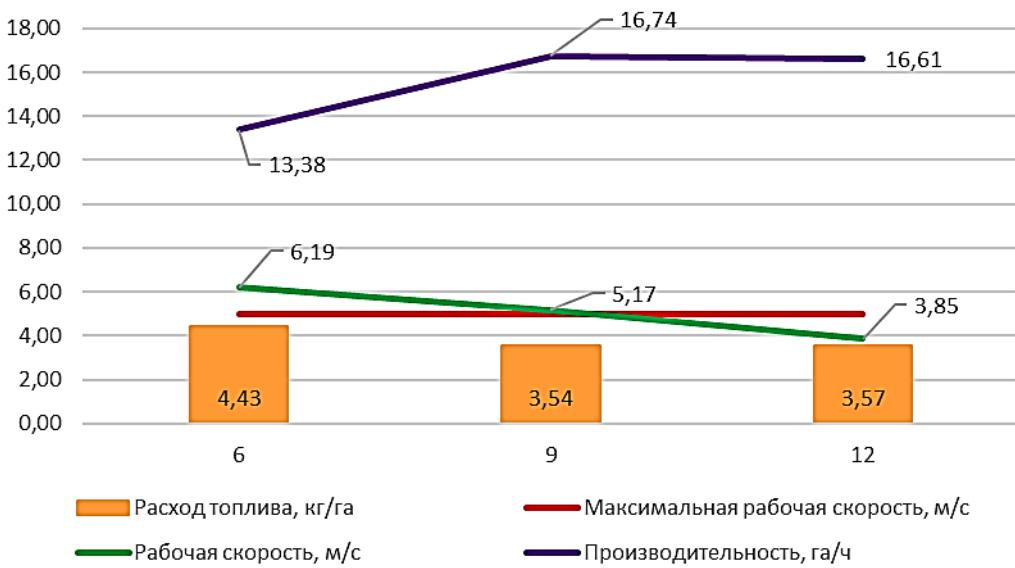


Рис. 3. Выходные показатели МТА на базе трактора 309 кВт

Для соблюдения агротехнических требований по рабочей скорости движения трактор с мощностью двигателя 309 кВт нецелесообразно агрегатировать с посевным комплексом рабочей шириной захвата 6 м. Превышение рабочей скорости движения составит 1,19 м/с.

У агрегата шириной захвата 9 м следует контролировать рабочую скорость движения, т.к. она незначительно превышает агротехнически заданную (на 0,13 м/с). При этом показатели производительности и расхода топлива наилучшие (16,74 га/ч и 3,54 кг/га соответственно).

Агрегатирование трактора с посевным комплексом шириной захвата 12 м уступает не-

сколько 9 м по производительности (на 0,13 га/ч) и по расходу топлива (на 0,03 кг/га).

Результаты экономической оценки сравниваемых МТА приведены в графическом виде на рисунках 4-6.

Установлено, что с точки зрения минимума эксплуатационных и приведенных затрат наиболее эффективным является агрегатирование трактора с мощностью двигателя 220 кВт с комплексом шириной захвата 9 м. Величина затрат составляет, соответственно, 734,1 и 1158,2 руб/га, что существенно ниже, чем у агрегатов шириной захвата 6 и 12 м (на 185,7 и 286,3 руб/га; на 337,4 и 538,2 руб/га соответственно).

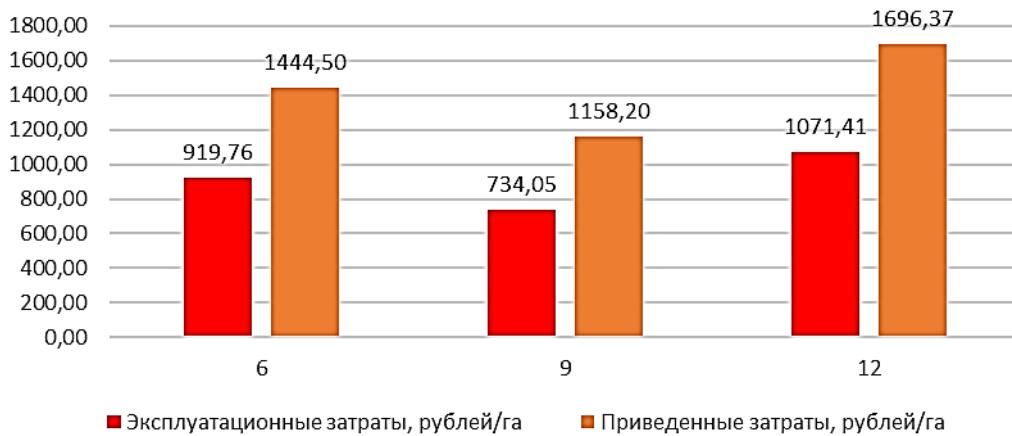


Рис. 4. Эксплуатационные и приведенные затраты МТА с трактором 220 кВт

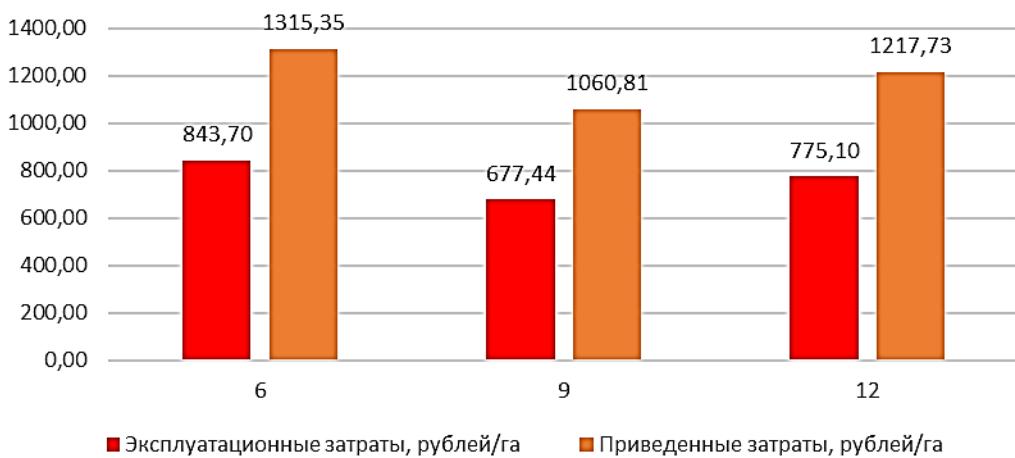


Рис. 5. Эксплуатационные и приведенные затраты для МТА с трактором 257 кВт

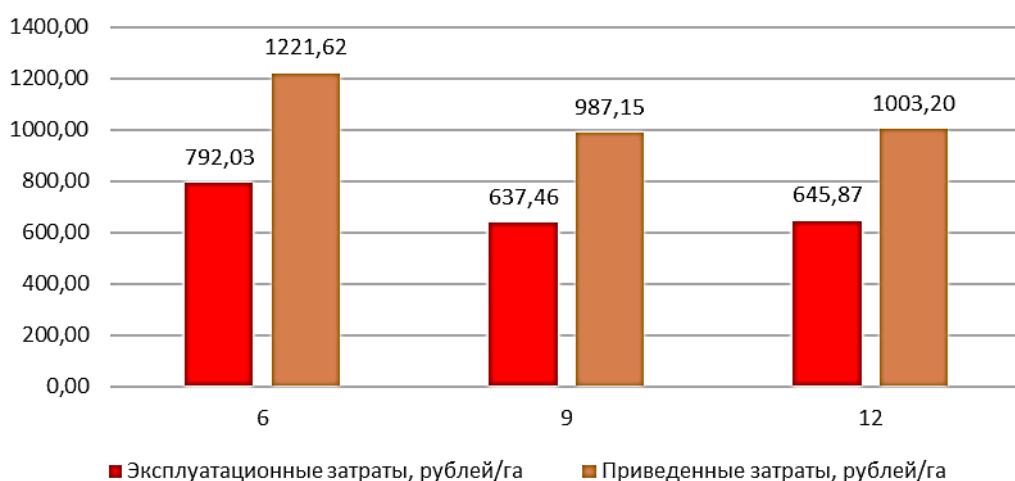


Рис. 6. Эксплуатационные и приведенные затраты МТА с трактором 309 кВт

Трактор с мощностью двигателя 257 кВт также целесообразно агрегатировать с комплексом шириной захвата 9 м. Эксплуатационные и приведенные затраты при этом будут минимальны и составят 677,4 и 1060,8 руб/га соответственно. В сравнении с агрегатами шириной захвата 6 и 12 м экономия затрат достигнет 166,3 и 97,7 руб/га; 254,5 и 156,9 руб/га соответственно.

У агрегатов на базе трактора с мощностью двигателя 309 кВт и посевных комплексов с шириной захвата 9 и 12 м близкие значения эксплуатационных и приведенных затрат (637,5 и 645,9 руб/га; 987,2 и 1003,2 руб/га соответственно). Наибольшие значения затрат у агрегата шириной захвата 6 м (792,0 и 1221,6 руб/га соответственно), поэтому наиболее рациональным является агрегат шириной захвата 12 м, так как

он обеспечивает соблюдение агротехнических требований по скоростям движения.

Заключение

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что наиболее эффективным вариантом посевного агрегата, оборудованного системой дифференцированного внесения семян и удобрений, является агрегатирование трактора мощностью двигателя 309 кВт и 9-метровой сеялки. Эксплуатационные и приведенные затраты при этом минимальны (637,5 и 987,2 руб/га), а рабочая скорость движения максимальна (5,17 м/с), которую следует контролировать на посеве, т.к. она близка к предельной, рекомендуемой производителем.

Близкие показатели эффективности получены при агрегатировании трактора с мощностью двигателя 309 кВт и посевного комплекса шириной захвата 12 м (645,9 и 1003,2 руб/га соответственно) при скорости движения 3,85 м/с.

Функция дифференцированного сева и внесения удобрений лишь немногим удорожает и утяжеляет МТА, увеличивая затраты незначительно, но давая при этом возможность получения потенциально более высоких урожаев за счет использования преимущества дифференцированной работы по зонам плодородия.

Библиографический список

1. Антонов, В. Н. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В. Н. Антонов, Л. А. Сладких. – Текст: непосредственный // Геоматика. – 2009. – № 4. – С. 50-53. – EDN STVWHH.
2. Lösungen für die Präzisionslandwirtschaft. <https://johndeere.widen.net/view/pdf/50zs6ofktn/yy2314886-precision-ag-technology-de.pdf?t.download=true> (16.09.2025).
3. Volle Kontrolle mit Ihrem CCI-1200Terminal <https://iqblue.lemken.com/terminals/cci-1200-terminal/> (16.09.2025)
4. Терминалы и решения ISOBUS. – URL: <https://www.kuhn.ru/cifrovye-resheniya/terminaly-i-resheniya-isobus> (дата обращения: 17.09.2025). – Текст: электронный.
5. Гопп, Н. В. Цифровое картографирование пространственной изменчивости параметров почв и растительности на Юго-Востоке Западной Сибири: специальность 03.02.13 «Почвоведение»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Гопп Наталья Владимировна. – Новосибирск, 2022. – 269 с. – EDN DQKFRH. – Текст: непосредственный
6. Разборчивый высев. – URL: <https://www.nsh.ru/rastenievodstvo/razborchiviy-vysev/> (дата обращения: 17.09.2025). – Текст: электронный.
7. Как спутниковые снимки превращаются в NDVI. – URL: https://blog.onesoil.ai/ru/how-satellite-images-are-turned-into-ndvi?utm_source=helpdesk&utm_medium=ru 28.04.2025 11.32 (11.04.2025).

[satellite-images-are-turned-into-ndvi?utm_source=helpdesk&utm_medium=ru](https://blog.onesoil.ai/ru/how-satellite-images-are-turned-into-ndvi?utm_source=helpdesk&utm_medium=ru) 28.04.2025 11.32 (дата обращения: 11.04.2025). – Текст: электронный.

8. Беляев, В. И. Теоретическое обоснование эксплуатационных параметров и режимов работы почвообрабатывающих посевных агрегатов / В. И. Беляев, Д.В. Беляев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 9 (35). – С. 49-51.

9. Инструкция по эксплуатации. Прицепная сеялка Amazone Primera DMC 12000-2C. Amazonen-Werke, BAG0086.13 06.22.

References

1. Antonov, V. N. Monitoring sostoyaniya posevov i prognozirovaniye urozhaynosti yarovoym pshenitsy po dannym DZZ / V. N. Antonov, L. A. Sladkikh // Geomatika. – 2009. – No. 4. – S. 50-53.
2. Lösungen für die Präzisionslandwirtschaft. <https://johndeere.widen.net/view/pdf/50zs6ofktn/yy2314886-precision-ag-technology-de.pdf?t.download=true> (16.09.2025).
3. Volle Kontrolle mit Ihrem CCI-1200 Terminal. <https://iqblue.lemken.com/terminals/cci-1200-terminal/> (16.09.2025)
4. Terminaly i resheniya ISOBUS. <https://www.kuhn.ru/cifrovye-resheniya/terminaly-i-resheniya-isobus> (17.09.2025).
5. Gopp, N. V. Tsifrovoe kartografirovaniye prostranstvennoy izmenchivosti parametrov pochv i rastitelnosti na Yugo-Vostoke Zapadnoy Sibiri: spetsialnost 03.02.13 "Pochvovedenie": dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora biologicheskikh nauk / Gopp Natalya Vladimirovna. – Novosibirsk, 2022. – 269 s.
6. Razborchivyy vysev. <https://www.nsh.ru/rastenievodstvo/razborchiviy-vysev/> (17.09.2025).
7. Kak sputnikovye snimki prevrashchayutsya v NDVI. https://blog.onesoil.ai/ru/how-satellite-images-are-turned-into-ndvi?utm_source=helpdesk&utm_medium=ru 28.04.2025 11.32 (11.04.2025).

8. Belyaev, V. I. Teoreticheskoe obosnovanie ekspluatatsionnykh parametrov i rezhimov raboty pochvoobrabatyvayushchikh posevnykh agregatov / V. I. Belyaev, D. V. Belyaev // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – No. 9 (35). – S. 49-51.
9. Instruktsiya po ekspluatatsii. Pritsepnaya seyalka Amazone Primera DMC 12000-2C. Amazonen-Werke, BAG0086.13 06.22.



УДК 631.362.33

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-253-11-90-95

В.Е. Зубков, Н.П. Семилетова, Л.С. Кравцов

V.E. Zubkov, N.P. Semiletova, L.S. Kravtsov

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ ЗЕРНИСТЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БЛОКИРОВАННОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

INTENSIFICATION OF GRANULAR BULK MATERIAL SEPARATION IN A BLOCKED FLUIDIZED BED

Ключевые слова: интенсификация, сепарация, рабочий орган, ворох, зернистые сыпучие материалы, псевдоожиженный слой, технологический коридор.

Рассматриваются вопросы интенсификации процесса сепарации сыпучих зернистых материалов, которая может достигаться путем создания сепарирующих систем на новых технологических принципах. Такой системой, на наш взгляд, является блокированный псевдоожиженный слой (БПС), который представляет собой двухфазную аэромеханическую систему, которую можно настраивать на разделяющую способность – эффективную плотность, промежуточную между плотностями разделяемых компонентов. Проведены исследования процесса сепарации зернистых сыпучих материалов в БПС на экспериментальной установке. Интенсификация процесса сепарации достигается в данном устройстве путем повышения частоты вращения рабочего органа, в связи с чем необходимо было выяснить, как это влияет на величину технологического коридора – разрыва между траекториями движения компонентов смеси в процессе сепарации. Для тестирования ис-

пользовалась смесь зерна пшеницы и равновесных по размерам почвенных комков и камней. Результаты исследований показали, что такая смесь разделяется полностью. Установлено, что величина технологического коридора незначительно, но повышается с увеличением числа оборотов рабочего органа. При применении числа оборотов рабочего органа с БПС от 100 до 400 об/мин. величина технологического коридора изменяется от 4,5 до 10 мм. Установлено также, что данная конструктивно-технологическая схема, на основе которой создана экспериментальная установка, позволяет получить сепарирующую систему со стабильным распределением воздушного потока по ее поверхности, что положительно влияет на эффективность процесса сепарации. Замеры скоростей воздушного потока проводились с помощью электроанемометра в статике (БПС не вращался). По результатам замеров строились эпюры распределения скоростей воздушного потока по кольцевой поверхности горизонтального БПС. Результаты показали, что в данном случае происходит практически равномерное распределение скоростей воздушного потока по площади кольцевой поверхности БПС.