

На правах рукописи

Медхн Тесфит Асрат

**ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ В
УСЛОВИЯХ ЭРИТРЕИ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Научный руководитель: **Левшин Александр Григорьевич**,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева

Официальные оппоненты: **Калинин Андрей Борисович**,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры технических систем в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный аграрный университет»

Грибов Иван Васильевич,
кандидат технических наук, главный специалист
Центра сельскохозяйственного машиностроения
ФГУП «НАМИ»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тверская государственная
сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 26 июня 2025 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета 35.2.030.03, на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время Эритрейская корпорация растениеводства и животноводства (ECLC) служит единственным источником сельскохозяйственной техники как для государственных, так и для местных фермеров. Эта государственная корпорация производит различные сельскохозяйственные продукты, в первую очередь зерновые и домашний скот. Она управляет пшеничными полями на фермах Целот-Ади'гуадад и Халхале, применяя традиционные методы ведения сельского хозяйства. Полевые операции обычно выполняются традиционно, на основе методов маршрутизации, без каких-либо идей по улучшению. Слабые и сильные стороны операций не выявляются, поскольку отсутствует культура научной оценки любой операции.

Оценка производительности машин – одна из важнейших базовых переменных для операционных модификаций. Практиков, похоже, не волнует ни качественный аспект полевых работ, ни производительность и эффективность используемых машин. Ни одно исследование еще не дало ценной информации о полевых работах и не выявило проблем управления и эксплуатации, которые препятствуют производительности. Операции не выполняются на основе каких-либо надежных руководств или стандартов; скорее, они зависят от общих знаний и понимания операторов техники. Система полностью ориентирована на традиционные методы и не знает, можно ли повысить производительность даже при той же структуре управления.

Кроме того, ECLC обычно планирует посев пшеницы с учетом наступления сезона дождей, который обычно начинается в середине июня - июле. Учитывая, что почва глинистая и существует высокая вероятность того, что с началом лета дожди будут идти каждый день, это усложняет посевные работы или заставляет прибегать к традиционным методам посева, то есть к ручному высеву. В таких условиях, как в Эритрее (более короткий сезон дождей), посев является очень важной операцией. Ведь любая незначительная задержка в посевной может привести к частичной или полной потере урожая. С другой стороны, культура, которая созревает на неделю или две раньше обычного сезона созревания, также может оказаться под угрозой потери урожая из-за дождей; таким образом, посев раньше обычного времени, просто наблюдая за осадками, также может быть риском. Поэтому для производства пшеницы в высокогорных районах Эритреи очень важно завершить посевную в нужное время. Определение критических дат посева помогает определить другие полевые операции, такие как основная обработка почвы и предпосевная обработка. Однако оптимальное распределение машин для подготовки поля (обработки почвы) и посева, исходя из размера поля и имеющихся ограничений по времени для выполнения конкретных операций, упускается из виду (ему уделяется мало внимания). Эта проблема часто связана с непредсказуемым характером осадков, что приводит к задержкам в посеве или оставлению незасеянных участков.

Решение этих проблем путем оптимизации операций по обработке почвы и посеву, а также контроля качества полевых работ может оказать значительное влияние на производительность сельского хозяйства и продовольственную безопасность Эритреи.

Степень разработанности темы. Анализ производительности машинно-тракторных агрегатов является ключевой областью исследований на протяжении многих лет, изучаемых различными исследователями: Н.В. Краснощеков, Ю.К. Киртбая, А.Н. Скороходов, А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, Н.И. Верещагин, А.Г. Левшин, В.А. Смелик, Л.Е. Агеев, К.С. Орманджи, А. Srivastava et al., P.I. Miu, H.D. Kutzbach; L.M. Griffel et al.; A. Janulevičius et al.; D.S. Paraforos, R. Hübner, H.W. Griepentrog. Точность вождения сельскохозяйственной техники значительно повысила эффективность сельскохозяйственных работ: К.С. Орманджи, И.Г. Смирнов, V. I. Adamchuk, P. J. Jasa; J. Conesa-Muñoz, G. Pajares, A. Ribeiro; R. D. Grisso et al.; Y. Li et al.; M. A. Munnaf et al.; T. Oksanen; T. Parsons et al.; E. Rodias et al.; E. Šarauskis et al.; G. Scott; N. Sharaby et al.; J. Turan et al.; A. Utamima, T. Reiners; S. S. Virk et al.; L. Xiong et al.; J. Xu et al.; Y. A. Yuzenko et al.; Y. Zhang, Y. Hu, Y. Xu. Однако использование простого мобильного приложения для анализа точности работы машинно-тракторных агрегатов на удаленных сельскохозяйственных полях, где нет доступа к интернету и не используются современные системы наведения с корректорами, несмотря на низкую стоимость, изучено не полностью.

Влияние рельефа на производительность посевных машинно-тракторных агрегатов с учетом препятствий и других особенностей поля рассматривалось различными авторами: А. А. Зангиев, А. Н. Скороходов; М. О. Ale, S. I. Manuwa, O. Olukunle; S. A. Badua et al.; L. Benos et al.; E. M. Brandelero et al.; D. Demetriou et al.; L. M. Griffel et al.; S. Ivančan et al.; A. Janulevičius et al.; S. Kirkegaard Nielsen et al.; S. Matsuura; D. C. Montgomery; T. Oksanen; P. Toscano et al.; Y. Wang et al.; C.-W. Wu et al. Однако из-за вариативности полевых условий необходимы дальнейшие исследования. Анализ качества обработки почвы и посева был широко исследован: А. А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, А. Н. Скороходов; E. M. Brandelero et al.; L. Xiong, S. Sun, M. Xiao; J. Turan et al. Однако анализ в реальном времени для принятия решений - определения необходимости дополнительной обработки почвы или продолжения запланированных операций - остается недостаточно изученным.

Объектом исследования являются машинно-тракторные агрегаты (МТА) для выполнения сельскохозяйственных работ.

Предмет исследования – оценка точности, скорости работы и оптимизации глубины посева для машинно-тракторных агрегатов с учетом таких факторов, как неровность почвы, полевые препятствия и условия рельефа, а также качественный анализ работы МТА.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – Повышение эффективности механизированных сельскохозяйственных работ за счет улучшения качества работ и увеличения производительности машин.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие

задачи:

1. Проанализировать природно-климатические условия и эффективность механизированных сельскохозяйственных работ и определить основные направления развития по улучшению качества и повышения производительности машинно-тракторных агрегатов.
2. Оценить влияние характеристик поля на производительность МТА с целью выработки рекомендаций по проектированию геометрии полей, повышающих эффективность выполнения механизированных работ за счет улучшения маневренности и снижения эксплуатационных затрат;
3. Определить оптимальные сроки выполнения основной и предпосевной обработки почвы и посева для южных и центральных регионов Эритреи с учетом климатических характеристик;
4. Проанализировать точность высева сеялкой Nardi Dora Air и определить частоту повторения и пропусков посева. Обосновать рекомендации по повышению точности посева за счет цифровых технологий. сравнении с современной;
5. Оценить качество основной и предпосевной обработки почвы и процесса посева для южных и центральных регионов в Эритрее и разработать рекомендации по повышению качества;
6. Оптимизация использования техники для одновременного выполнения производственных процессов, обеспечивающая комплексное выполнение всех задач в кратчайшие сроки;
7. Разработка и внедрение стратегий оптимизации маршрутов для сельскохозяйственной техники с целью минимизации холостого пробега при сохранении производительности техники на различных полевых операциях.

Научная новизна исследования. Исследования заключается в разработке методики контроля точности вождения МТА с использованием цифровой карты поля, мобильного приложения к смартфону для позиционирования машинно-тракторных агрегатов в системе ГИС на удаленных сельскохозяйственных полях. Для условий фермы Целот-Ади'Гвадад Эритреи разработана бальная система оценки качества механизированных работ для основной и предпосевной обработки почвы и посева зерновых; обоснованы агротехнические ограничения для рабочей скорости посева. Предложена оригинальная система анализа и оптимизации маршрута движения МТА, позволяющая уменьшить холостые переезды.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость – Данное исследование развивает теоретические представления о точном земледелии, представляя недорогой, основанный на мобильном приложении подход для оценки точности машинно-тракторных агрегатов в удаленных районах, где нет доступа к интернету или современных корректоров наведения. Это устраняет пробел в доступных технологиях точного земледелия. Кроме того, в исследовании уточняются существующие модели взаимодействия машины и трактора путем анализа того, как неровности почвы, полевые препятствия и различные условия местности влияют на точность высева, что расширяет знания о механических и

экологических факторах, влияющих на производительность и качество посева. Кроме того, определяя оптимальные рабочие скорости с помощью экспериментов на конкретных полях в условиях Эритреи, данное исследование обогащает теоретические модели эффективности машин в полусухих условиях, поддерживая адаптацию точного земледелия к различным агроклиматическим условиям.

Практическая значимость работы. Практическая значимость исследования заключается в его непосредственном применении для повышения производительности МТА, особенно в отдаленных сельскохозяйственных районах с ограниченной технологической инфраструктурой. Внедрение недорогого мобильного приложения для оценки точности машинно-тракторных агрегатов предоставляет фермерам и агрономам доступный инструмент для оценки производительности, снижая зависимость от дорогостоящих систем наведения. Уточненное понимание неровностей почвы, препятствий на поле и изменчивости рельефа позволяет лучше настроить и отрегулировать машины, что ведет к повышению точности и эффективности посева. Кроме того, определение оптимальной рабочей скорости для условий Эритреи позволяет фермерам повысить качество выполнения технологических операций, увеличить производительность, минимизируя расход топлива.

Методология и методы научного исследования. Полевые эксперименты проводились в соответствии с установленными научными принципами и стандартными процедурами. Методика включала в себя проведение полевых наблюдений, хронометражные измерения и сбор соответствующих пространственных данных, связанных с полем, с использованием современных инструментов, таких как мобильные приложения и GPS-устройства. Кроме того, полевые наблюдения проводились через несколько дней после посева для подтверждения пространственных данных, полученных в ходе эксперимента. Для поддержки исследования также были собраны дополнительные данные, включая историческую климатическую, почвенную и сельскохозяйственную информацию. Для обработки и анализа собранных данных использовалось статистическое программное обеспечение, такое как SAS, а также инструменты пространственного анализа, такие как ArcGIS и другие языки программирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод обоснования сроков сева и минимизации сроков выполнения комплекса механизированных работ машинно-тракторными агрегатами (МТА);
2. Метод анализа влияния конфигурации поля и топографических особенностей на производительность сеялки;
3. Метод оценки точности движения пневматической сеялки;
4. Результаты оценки качества работы машинно-тракторных агрегатов на комплексе операций;
5. Методика оптимизации маршрутов движения сельскохозяйственной техники с целью минимизации холостых поездок между полями и парками.
6. Методика статистического обоснования параметров качества технологического процесса на примере глубины посева.

Степень достоверности. исследования основаны на результатах экспериментальных исследований, которые проводились с использованием хорошо известных математических моделей. Теоретическая основа исследования базируется на общепризнанных достижениях как фундаментальных, так и прикладных научных дисциплин, обеспечивая прочную базу для анализа. Экспериментальная составляющая еще более усиливается благодаря включению статистических данных из авторитетных источников, таких как национальное министерство сельского хозяйства, что подкрепляет выводы и повышает достоверность результатов. Кроме того, методы, использованные в исследовании, тщательно протестированы и проверены с помощью расчетов, адаптированных к конкретным задачам исследования. Внедрение рекомендаций, полученных в результате данного исследования, может значительно повысить эффективность и производительность машинно-тракторных агрегатов (МТА), что в конечном итоге будет способствовать достижению более широкой цели – увеличению сельскохозяйственного производства и поддержке устойчивых методов ведения сельского хозяйства.

Внедрение результатов исследования. Результаты исследования, способны значительно улучшить эффективность использования машинно-тракторных агрегатов в производственных условиях фермерских хозяйств Эритреи. Интегрируя передовые аналитические методы и современные технологические решения, исследование направлено на оптимизацию эффективности, точности и производительности МТА. Внедрение этих результатов может привести к существенному улучшению традиционных операций МТА, способствуя более устойчивому и точному ведению сельского хозяйства в Эритрее.

Использование результатов исследования в учебном процессе повысит качество теоретической и практической подготовки выпускников Инженерного и технологического колледжа Майнефхи, Асмэра, Эритрея.

Апробация работы. Материалы исследований по теме диссертации докладывались на международных научных конференциях: научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича «Анализ эффективности сеялки с использованием данных мобильного отслеживания: ферма целот, Эритрея», (г. Москва, 2024 г.); Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича «Оценка производительности техники при посеве пшеницы по равномерности распределения растений на ферме «целот», Эритрея» (г. Москва, 2024 г.); Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича «Evaluating the Performance of Wheat Drills by Seed Distribution Metrics: Case of Tselot Farm, Eritrea» (г. Москва, 2024 г.); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева «Анализ взаимосвязи между мощностью и шириной захвата жатки и эффективности автоматизации рабочего процесса зерноуборочного

комбайна» (г. Москва, 2023 г.); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева «Analyzing some design and performance parameters of a combine harvester in terms of its automation» (г. Москва, 2023 г.); научно-практической конференции с международным участием «Наука без границ и языковых барьеров» «Анализ условий и технологий выращивания зерновых в Эритрее» (г. Орёл, 2023 г.).

Публикации результатов исследования. По материалам диссертационной работы опубликовано 10 научных статей, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 публикация в изданиях, рецензируемых Scopus, 6 публикаций на научных конференциях и 1 публикация в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 230 страницах, состоит из введения, четырех глав основной части (содержит 46 таблиц и 107 рисунков), заключения, списка литературы (145 наименований) и 3 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, изложена научная новизна, сформулированы цели и задачи исследований, теоретическая и практическая значимость результатов исследований, обоснована степень ее разработки, изложены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, а также доказана степень достоверности и апробация результатов исследований.

В первой главе Анализируются климатические и сельскохозяйственные условия Эритреи, включая скорость ветра, количество солнечных часов в сутки, характеристики осадков и их распределение по годам в разных регионах, классификация почв. Анализируются структура сельскохозяйственного производства, механизация сельского хозяйства и состав машинно-тракторного парка в Эритрее; технологии производства пшеницы и технологические операции, выполняемые в сельском хозяйстве Эритреи; общие факторы, препятствующие эффективной механизации.

Во второй главе Анализ, определяющий оптимальную глубину посева и сроки посева, может быть обобщен следующим образом. Согласно анализам, проведенным A. Sulek, и M. Ogórkiewicz; M. W. Amdneh, и M. A. Gebul и M. M. Bazzaz, A. Hossain, J. Timsina, J. A. T. Silva, и M. Nuruzzaman, оптимальная глубина посева пшеницы для таких условий, как Эритрея, составляет от 3 до 4 см включительно.

Типичный метод, используемый для этого анализа, – Динамика и процент всходов яровой пшеницы на рисунке 1.

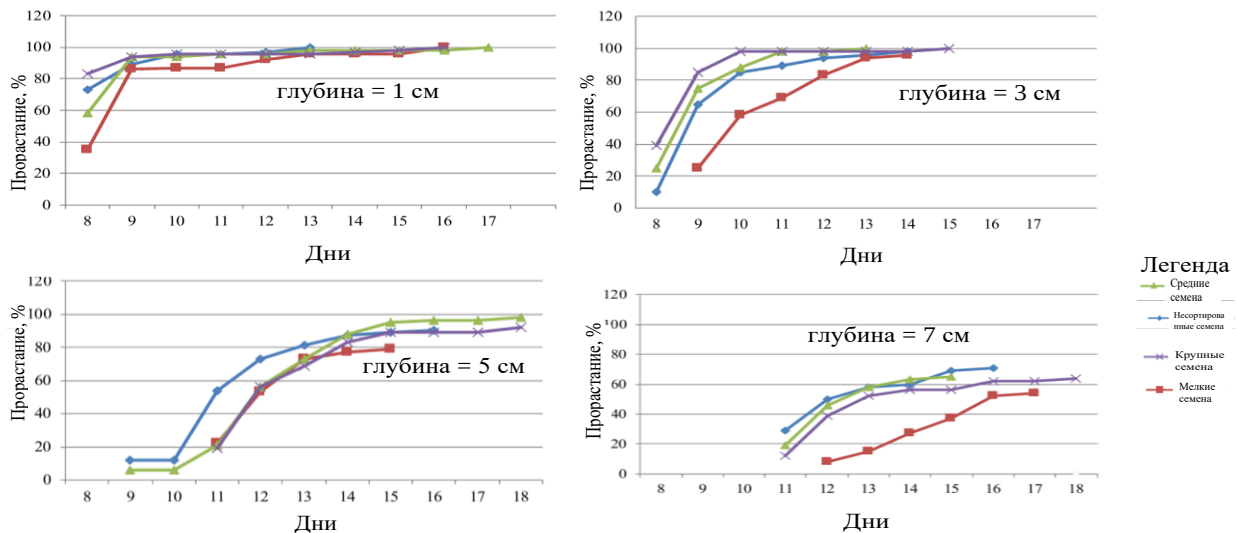


Рисунок 1 – Динамика и процент всходов яровой пшеницы при посеве семян на глубину 1, 3, 5 и 7 см

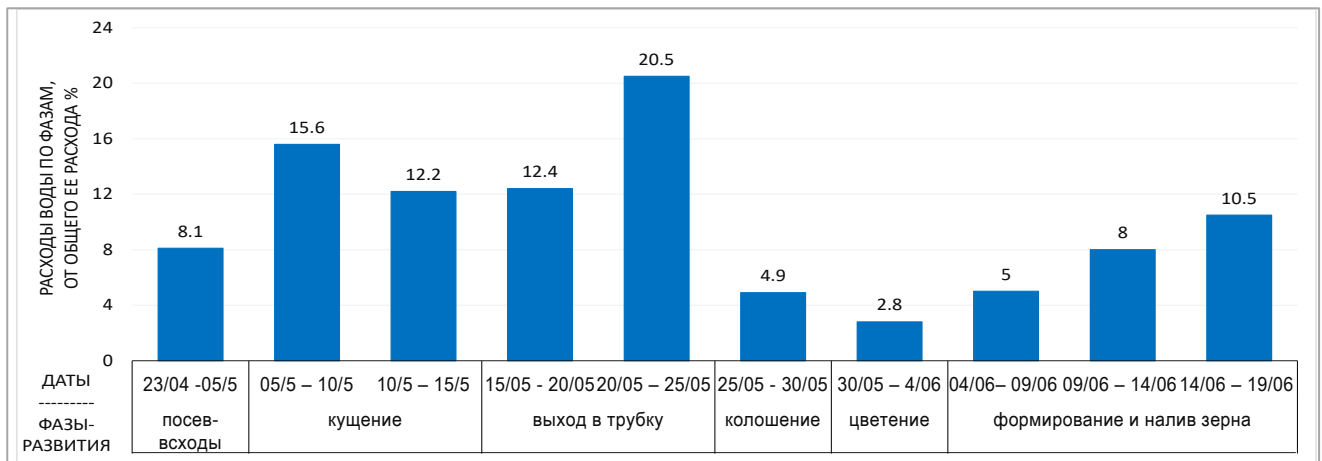


Рисунок 2 – Расход воды по фазам развития яровой пшеницы, % от общего ее расхода

После анализа потребности пшеницы в воде на основе рисунка 2, в течение первых 12 дней вегетационного периода (23.04-05.05, см. рисунок 2) культура потребляет 9,3 мм воды, что соответствует минимальному количеству воды, необходимому пшенице для прорастания. Для определения оптимальных сроков посева исторические осадки в районе исследования сгруппированы по десятилетиям, как показано на рисунках 3 и 4.

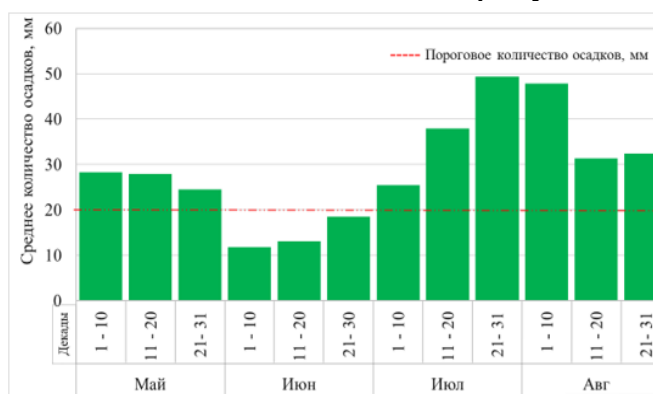


Рисунок 3 – Среднее десятилетнее агрегирование данных о суточных осадках (Целот-Ади'Гуаэдад)

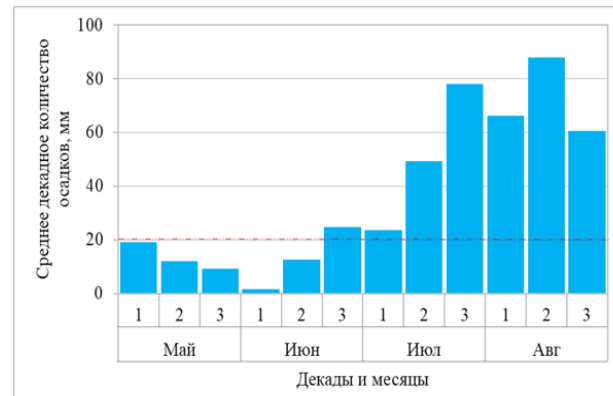


Рисунок 4 – Среднее десятилетнее агрегирование данных о суточных осадках (Халхале)

Теоретический анализ производительности машинно-тракторного агрегата. При анализе выбора трактора для реальных полей, основанном на рекомендациях А. А. Зангиева и А. Н. Скороходова, длина участка исследования сравнивалась с типичными диапазонами длины поля и соответствующей рекомендуемой мощностью трактора для конкретных операций.

Для фактической длины поля, которая составляет менее 300 м и находится за пределами диапазона, указанного вышеупомянутыми авторами, значения были рассчитаны, а модели оценки приведены на рисунке 5. Используя эти значения, мощность трактора выбирается для каждой длины.

Теоретический анализ производительности МТА основан на основном уравнении производительности, приведенном по формуле.

$$W = \frac{W_{\text{CM}}}{T_{\text{CM}}} = 0,36BV\tau = 0,36\Pi\tau, \quad (1)$$

где Π – производительность за час чистой работы агрегата;

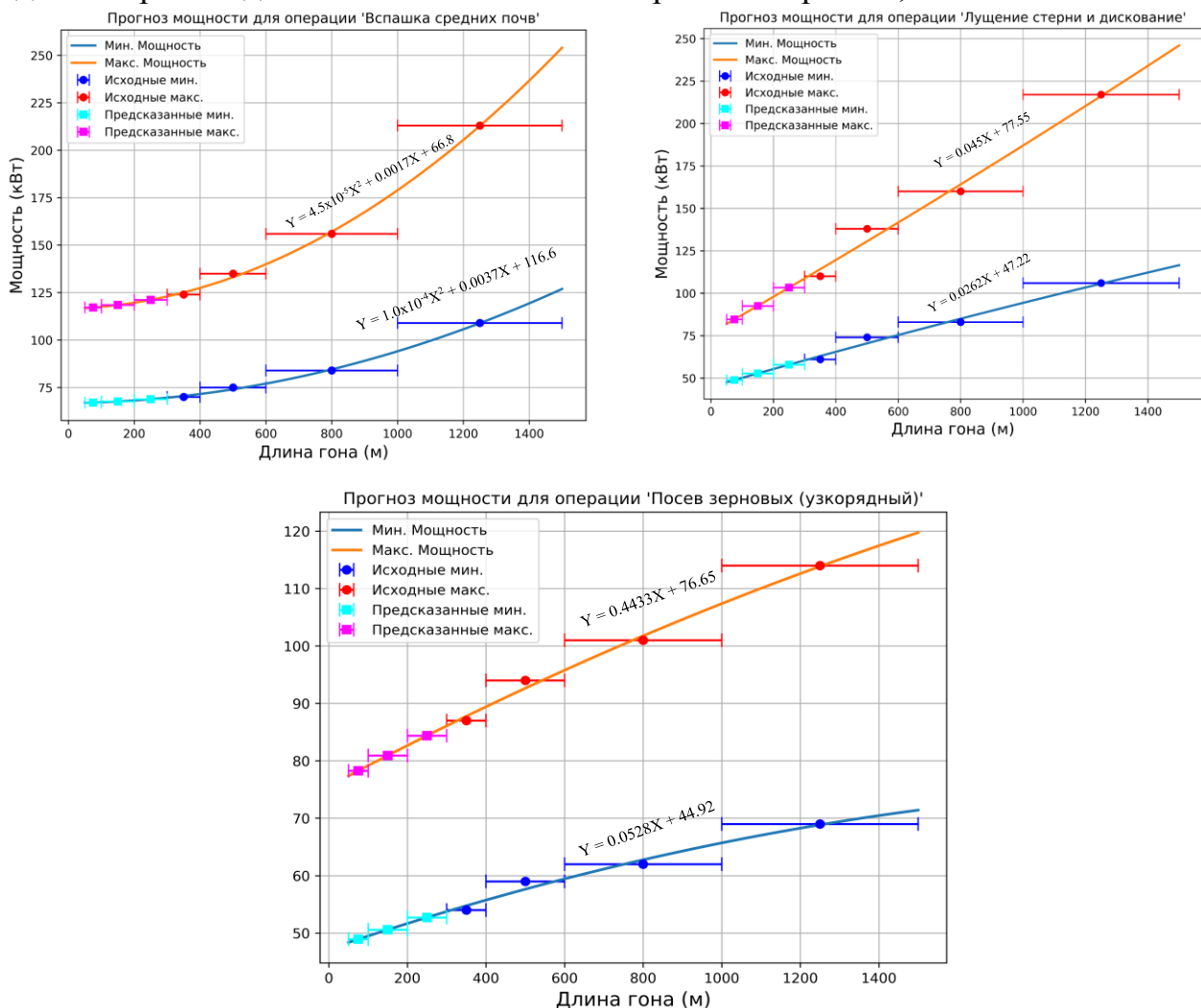


Рисунок 5 – Потребность в мощности машин для полевых работ в зависимости от длины гона

Отклонение условий работы МТА от типовых при расчете его производительности учитывают обобщенным поправочным коэффициентом $K_{об}$, определяемым в виде произведения:

$$K_{об} = k_k, k_{и}, k_c, k_{п}, k_p, \quad (2)$$

где $k_k, k_{и}, k_c, k_{п}, k_p$ – частные поправочные коэффициенты соответственно на каменистость, высоту над уровнем моря, сложность конфигурации полей, изрезанность полей препятствиями и на рельеф.

Таким образом, производительность

$$W = 0,36 \cdot K_{об} \cdot B \cdot v \cdot \tau, \quad (3) \quad \tau = \frac{T_p}{T_{см}}, \quad (4)$$

где W , – производительность агрегата соответственно в заданных и типовых условиях, га/ч; B – рабочая ширина захвата, м; v – рабочая скорость, м/с; τ – коэффициент использования времени смены в типовых условиях, T_p – чистое рабочее время за смену и $T_{см}$ – время смены.

На производительность МТА влияет ряд условий эксплуатации и эксплуатации в полевых условиях. Производительность МТА анализируется в зависимости от конфигурации поля и микрорельефа. В этом исследовании были использованы следующие показатели: средняя длина участка, выпуклость (I_{con}), отношение периметра к площади (P/A), индекс компактности (I_{com}), индекс площади периметра (I_{sp}) и прямоугольность (L.M. Griffel et al; D. Demetriou L. See, J. Stillwell; and Oksanen T.)

$$I_{con} = \frac{A}{A_{coh}} \quad (5) \quad P - A_{ratio} = \frac{P}{A} \quad (6)$$

$$I_{com} = 4\pi \frac{A}{P^2} \quad (7) \quad I_{sp} = \frac{4\sqrt{A}}{P} \quad (8)$$

$$I_r = \frac{A}{A_{mbr}} \quad (9) \quad \sigma_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_{ref})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad (10)$$

где P – периметр участка; A – площадь участка; A_{mbr} – площадь минимального ограничивающего прямоугольника; и A_{coh} – площадь выпуклой оболочки.

Наиболее распространенным методом определения индекса микрорельефа поверхности почвы является метод стандартного отклонения высот, который включает в себя определение стандартного отклонения высот (σ_e) по поверхности участков. Более высокое значение σ_e означает значительную изменчивость высоты поверхности почвы и ее сложность.

где: Z_i – высота над средним уровнем моря (м), отсчитываемая над средним уровнем моря в точке i ; Z_{ref} – опорная высота; и n – количество отсчетов высоты.

Оценка точности работы включает в себя оценку равномерности распределения семян и выявление незасеянных участков. Это можно сделать путем записи фактических маршрутов с помощью интеллектуальных устройств или интегрированных систем или путем анализа пространственных изображений, полученных с помощью камер высокого разрешения. Изображения делятся на квадратные сетки для оценки равномерности, количественно определяемой с помощью коэффициента вариации. Индекс растительности ($Exg = 2 \times G - R - B$) и пороговый алгоритм Отсу используются для идентификации растительных пикселей, что позволяет провести точный анализ распределения семян.

Коэффициент распределения (D_U) в зависимости от коэффициента вариации (CV) может быть определен по формуле:

$$D_U = \frac{1}{CV} = \frac{\bar{x}}{\delta_x}, \quad (11)$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (12)$$

где δ_x – стандартное отклонение распределения семян по субрегионам, $\bar{x}$ – среднее значение, x_i – охват каждого субрегиона, i – порядковый номер каждого субрегиона, n – общее количество субрегионов.

В литературе приводятся технические характеристики для достижения требуемого качества полевых работ. В данном случае будут представлены операции основной обработки почвы, предпосевной обработки почвы и посева. Для каждой операции измеряются различные параметры, а для сравнения каждого измеренного параметра с заданными пределами или диапазонами используются баллы, которые присваиваются соответствующим образом. Кроме того, для определения качественных показателей при проведении полевых работ используется t-критерий.

Независимый t-тест:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{\Delta}}} \quad (13)$$

$$s_{\bar{\Delta}} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (14)$$

где $\bar{x}_1$ and $\bar{x}_2$ – средние значения для каждой из выборок; s_1 и s_2 – стандартные отклонения каждой из выборок, n_1 и n_2 – объем выборки.

T-критерий для одной выборки определяется по формуле:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (15)$$

где $\bar{x}$ – выборочное среднее значение; μ – гипотетическое значение; s – стандартное отклонение выборки

Анализ теоретического метода оптимального использования техники по критерию минимальной продолжительности производственных процессов: За период D дней необходимо выполнить m процессов с n видами агрегатов без фиксированной очередности. Количество агрегатов каждого вида – R_j , их суточная производительность в процессе i – W_{ij} . Сменная продолжительность – T часов, погодный коэффициент – $\eta_{\text{п}}$. Требуется составить план, минимизирующий сроки выполнения работ. Обозначим X_{ij} как объем работ, выполняемых агрегатами типа j в процессе i , а T_j – общую длительность их использования.

$$T_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}R_j}, j = 1, \bar{n}, \quad (16)$$

$$T = T_r = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir}R_r}, = \min., \quad (17)$$

Цель задачи – найти $T = \max\{T_j\} = \min$. Сначала из всех измерений T_j является максимальным. Тогда цели функции выражаются в виде уравнения (2.78). выполнение заданных работ, через Z_j , которое равно

$$Z_j = T_r - T_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir}R_r} - \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}R_j} \quad (18)$$

Максимальная продолжительность выполнения указанного набора задач будет достигнута при полном исчерпании возможностей используемых агрегатов, т.е. $Z_j = 0$.

В случае оптимизации маршрута для сельскохозяйственной техники, чтобы свести к минимуму время простоя между участками или полями и базой МТП, анализируется оптимизация коммивояжера. Алгоритм следующий:

Шаг 1. Определите проблему:

Шаг 2: Создайте начальный маршрут (эвристика ближайшего соседа)

Шаг 3: Оптимизируйте маршрут, используя эвристику 2-й оптимизации

Шаг 4: Проверьте ограничения по пропускной способности

В третьей главе «Метод определения подходящих сроков сева»

В этом разделе исторические ежедневные осадки (1999-2022) ферм Целот-Адигуэдад и ежедневные осадки Хальхале за годы с 2010 по 2022 год были преобразованы в декады, агрегируя данные в 10-дневные периоды в течение месяца в виде: Декада 1 – дни месяца с 1 по 10; Декада 2 – дни с 11-20; и Декада 3 – дни с 21-го по конец месяца.

Для проведения хронометражных наблюдений использовался стандартный метод экспериментирования и анализа данных ГОСТ 24055-2016.

Анализ производительности сеялок во время полевых работ проводится следующим образом: для оценки производительности сеялки учитывались следующие параметры: эффективная производительность по полю (F_{eff}), эффективность (η) и средняя скорость обработки (v_p), которые определялись выражениями:

$$F_{eff} = \frac{A}{T_{total}} \quad (19)$$

$$\eta = \frac{T}{T_{total}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (20)$$

где t_j – чистое рабочее время; t_i – время, затраченное на выполнение рабочего хода t_j , и время поворота агрегата до начала следующего прохода $j + 1$. При вынужденной остановке агрегата фиксируется время на разворот (t_1), установку пневматической трубки в разобранном корпусе сошника (t_2), проверку засоренности трубок подачи семян и их разблокировку (очистку) (t_3), проверку бункера на наличие семян и его заполнение (t_4), и t_i может быть задано, соответственно, следующим образом: $t_i = t_j + t_1 + t_2 + t_3 + t_4$; $j = 1, 2, \dots, n$, количество проходов.

Чтобы понять **влияние конфигурации поля и топографических особенностей** на производительность сеялки, были приняты во внимание такие параметры, как планировка поля (форма и размер полигонов поля), текстура почвы, препятствия и неровные поверхности.

Для определения границ участков использовалась программа Locus GIS (автономный сборщик данных, картограф, калькулятор площадей и редактор SHP версии 1.17.0). Для дальнейшей обработки использовались ArcGIS и Google Earth Pro. Методы, описанные в уравнениях 2.61-2.65, используются для вычисления значений формы и размера каждого участка, а поверхности каждого участка были оцифрованы с помощью Google Earth Pro для получения информации о рельефе, которая будет использована в уравнении (2.66) для вычисления индекса микрорельефа поверхности почвы.

Метод оценки эксплуатационной точности пневматической сеялки Locus GIS offline land survey-data collector, mapper, area calculator, and SHP editor version 1.17.0 для смартфонов – была использована для отслеживания маршрутов МТА.



Рисунок 6 – Фотография участка 11 с мобильного приложения и его натуральный увеличенный фрагмент

Расстояние между двумя рядами должно составлять 0,15 м. Любое отклонение от этого значения считается ошибкой (рисунок 6). На рисунке 7 показано, что смартфон отслеживает соответствующие графики.

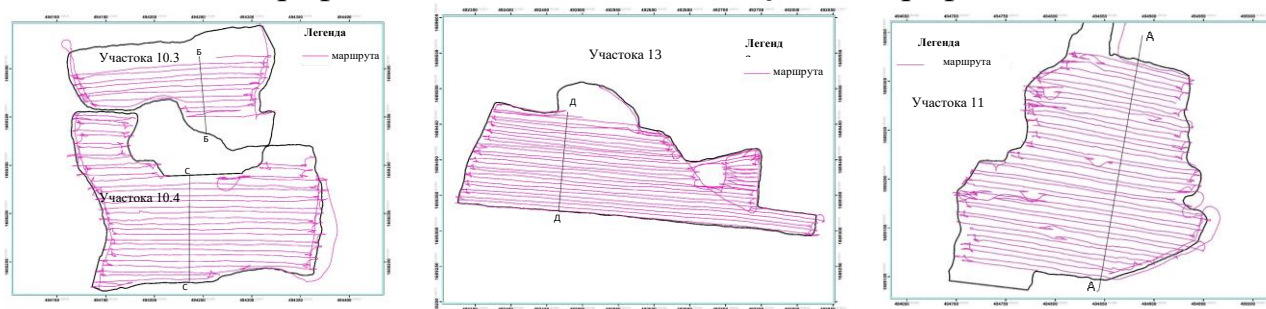


Рисунок 7 – Отслеживаемые маршруты оцениваемых участков

Площади, пересеженные (RP) или оставшиеся незасеянными между проходами (MP), определяются по формулам:

$$RP = \frac{S_R}{S - S_R} \times 100 \quad (21)$$

$$MP = \frac{S_M}{S - S_R + S_M} \times 100 \quad (22)$$

А площадь, повторяющаяся (S_R) и/или оставшаяся незасеянными (S_M),

Ошибка рабочей ширины (ϵ) и t-критерий, используемые для сравнения допустимой и фактической погрешностей, приведены ниже.

$$\epsilon_{i(T6090)} = |B_{ui} - B_t| \quad (23)$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (24)$$

где: $\bar{x}$ – среднее значение выборки, μ – среднее значение точности автоматизированной системы, s – стандартное отклонение выборки, n – размер выборки, B_{ui} – фактическое и B_t – теоретическое расстояние между последующими проходами.

Методы оценки качества работы машинно-тракторных агрегатов: В данном исследовании используется балльный метод оценки качества работ. В этом разделе приведен пример таблицы для сбора и сравнения данных по

основной обработке почвы с использованием баллов. Метод получения данных для этой оценки кратко описан в таблице 1 и на рисунке 8.

Таблица 1 – Используемые показатели операций основной обработки почвы и применяемый метод сбора данных для оценки качества (А.А. Зангиев, и А.Н. Скороходов; К.С. Орманджи)

Показатель	Градация нормативов	Балл	Метод определения
Отклонение средней фактической глубины обработки от заданной, см	Не более 1	3	Измерить в 10 местах по диагонали участка. Полученное среднее значение уменьшить на величину вспушенности почвы (20%)
	Не более 2	2	
	более 2	1	
Неподрезанные сорняки	Отсутствуют	3	Визуально. При необходимости 3...5 В местах по диагонали участка наложить метровую рамку и подсчитать неподрезанные сорняки
	Имеются	1	
Выравненность поверхности, %	Не более 3	3	Визуально. При необходимости В 3...5 местах участка поперек обработки замерить длину профиля шнуром 10 м, соединенным с двухметровой лентой
	Не более 5	2	
	более 5	1	



Рисунок 8 – Фотографии, сделанные во время полевых измерений



Рисунок 9 – Фотографии, сделанные во время полевых измерений количества комков и неподрезанных сорняков

При проведении качественной оценки операций предпосевной обработки почвы были измерены следующие показатели: Отклонение глубины обработки при обработке, см; Количество комков диаметром 5 см (шт/м²) and Количество неподрезанных сорняков, шт/м². За исключением рассмотренных параметров, метод и

оборудование, использованные во время экспериментов, аналогичны основной обработке почвы. На рисунках 9 и 10 приведены фотографии, сделанные во время реальных измерений.



Рисунок 10 – Фотографии сделаны 03 (слева) и 25 (справа) июля 2024 года, до и после дождя соответственно

Поскольку предпосевная обработка проводилась до и после дождя, одни и те же измерения проводились дважды.



Рисунок 11 – Измерение глубины заделки семян с помощью стандартной измерительной ленты

Оценка глубины заделки семян: Качество работы на этом участке определяется путем измерения таких показателей, как: Отклонение нормы высева семян %; Отклонение глубины заделки семян, см; и Отклонение в размере стыкового расстояния, см.

Для проверки влияния скорости на глубину заделки семян и норму высева была использована полностью рандомизированная конструкция блока с тремя повторениями и шестью скоростями (4, 6, 8, 10, 12 и 14 км/ч). Глубину высева измеряли в десяти точках на одну повторность, а норму высева оценивали в пяти точках на одну повторность. ширину междурядий между крайними сошниками двух соседних проходов измеряли 10 раз, чтобы оценить фактическую ширину посева и проанализировать ее вариабельность. Программное обеспечение SAS разработало модель линейной регрессии, в которой скорость рассматривалась как независимая переменная, а глубина – как реакции, а повторы – как случайные величины.

Оптимальное использование техники при одновременном выполнении производственных процессов: На ферме ECLC используются

единицы оборудования, перечисленные в таблице 2. Работают на 6 тракторах Новая Голландия Т7060, 8 Новая Голландия Т6050, 3 ФОРГУСОН 465 (4WD) и 4 Новая Голландия Т6090. Ежедневная производительность и площадь обрабатываемой площади представлены в таблице 2. Для основной обработки почвы используются дисковые плуги, для предпосевной – дисковые бороны, а для посева – сеялка Nardi Dora Air Drill 600.

Таблица 2 – Исходные данные задачи

Тип операции	Объем работы, га	Часовая производительность, га/ч				Объем работ, выполняемых агрегатами на базе тракторов			
		Новая голландия Т7060 (6)	Новая голландия Т6050 (8)	Фергусон 465 (5)	Новая голландия Т6090 (4)	Новая голландия Т7060 (6)	Новая голландия Т6050 (8)	Фергусон 465 (5)	Новая голландия Т6090 (4)
Основная обработка почвы	1290,34	0,8775	0,51	0,45	1,17	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
Предпосевная подготовка	1290,34	1,68	1,7	0,0	2,2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
Посев	1290,34	0	0,0	0,0	4,42	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₄	X ₃₄

Оптимизация маршрутов для сельскохозяйственной техники с целью минимизации холостых поездок между полями и базой МТП: Методология разделена на четыре ключевых этапа: инициализация данных, расчет матрицы расстояний, оптимизация маршрута и представление результатов. Географические координаты (восточные и северные) всех участков и МТП были использованы для вычисления матрицы расстояний. Площади участков (га) были переведены в цифровую форму, а производительность машин (га/день) была определена в ходе экспериментов на ферме. Для оцифровки расстояний между каждым участком и депо использовался Google Earth Pro. Цель состоит в том, чтобы свести к минимуму ежедневные маршруты движения техники (холостые ходы).

В четвертой главе результаты выполнения всех заданий рассматриваются в упорядоченном виде, как указано в списке задач, которые необходимо решить.

Исходя из анализа осадков по годам и средних значений осадков по декадам, идеальный срок посева должен быть не раньше начала 2-й декады июня (чтобы сократить продолжительность засушливых периодов после посева) и не позже конца 3-й декады июня (чтобы минимизировать риск задержек, вызванных продолжением дождей в последующие декады). Таким образом, наилучшая дата посева – 20 июня.

При предпосевной обработке хронометражные наблюдения проводились дважды (в июле и сентябре 2023 года), для посева пшеницы и нута соответственно. Июльская операция проводилась на более сложном рельефе с неправильной формой делянок и сильно различающимися размерами, а в сентябре те же МТА работали на делянках более правильной формы с относительно хорошей длиной пробега (около 400 м) и однородным рельефом, но почва была с высоким содержанием влаги, поэтому много времени было потеряно на Удаление залипающей почвы с орудий (рисунок 13).

Для большей наглядности можно отметить, что в июле МТА Т6090 (М), Т6050 (М) и Т6050 (W) показали $k_{см}$ ща 0,63, 0,58 и 0,57, соответственно, а в сентябре – 0,3, 0,4 и 0,4, соответственно. Средний $k_{см}$ для сеялки пшеницы составил 0,26, а средняя сменная производительность – 1,6 га. Значения $k_{см}$ указаны на рисунке 4.14.



Рисунок 12 – Почва налипла на орудие

Для анализа влияния факторов формы и размера на производительность МТА, v_a (и F_{eff}) показал умеренно сильную корреляцию с Р/А (51 %) и умеренную корреляцию с длиной участка (41 %), при этом более высокая сложность границ снижает эффективность, а более длинные участки повышают ее. Рельеф поверхности почвы также показал, что эксплуатация МТА на скорости выше

идеального предела при высоком значении индекса рельефа негативно влияет на производительность.

Для определения реакции на топографические особенности был проведен двумерный анализ обобщенного поправочного коэффициента $K_{об}$ и коэффициента эффективности полевого времени η ($R^2=0,79$), который показал, что эти факторы вносят значительный вклад в снижение производительности МТА (рисунок 14).

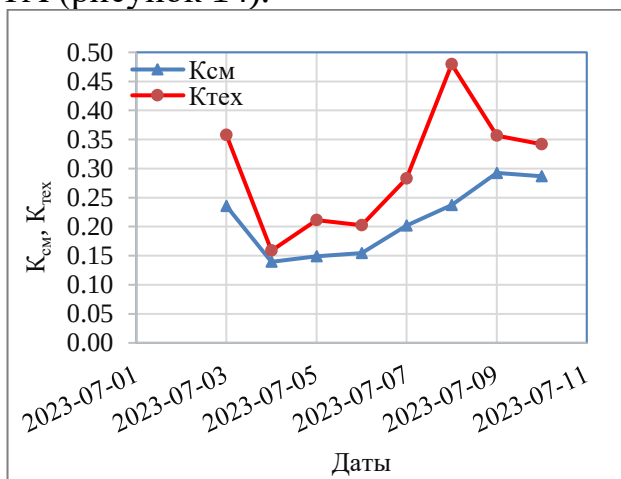


Рисунок 13 – Коэффициент использования технологического и сменного времени, включая

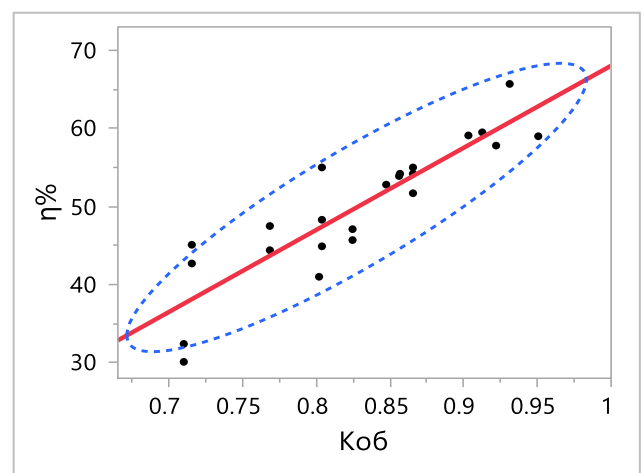


Рисунок 14 – Корреляция между коэффициентом снижения эффективности ($K_{об}$) и η МТА

Анализируя точность работы техники, можно отметить, что из общей площади, обработанной во время эксперимента (107 га), около 17 га повторно засеяны и около 3 га остались незасеянными. Статистический анализ показали

высокий уровень превосходства сеялок с GPS-наведением в сравнении с обычным посевным агрегатом. При работе без навигационной системы для обеспечения допустимого диапазона варьирования рабочей ширины захвата $6,15 \pm 7$ см рекомендуемый диапазон рабочих скоростей 10...12 км/ч.

Проанализировать качественные показатели. При основной обработке почвы не было существенной разницы между средней и идеальной глубиной, но более высокий коэффициент полезного действия (27,7 %) свидетельствует о высокой вариабельности. Среднее увеличение профиля составило 4,88 % – среднее качество (<5) и отсутствие сорняков (сухая почва).

Что касается предпосевных работ, то во время отбора проб перед дождем, основанного на методе подсчета очков, было зафиксировано, что 40 % глубины залегания находится в приемлемом диапазоне (отличное качество), 5 % – в умеренном и 55 % – в плохом, что связано с высоким стандартным отклонением (3,7 см) и CV (29,76 %). Что касается количества комочков на 1 м^2 , то 85 % комочков имели диаметр менее 5 см, а 15% находились в диапазоне 20...30 см. Для выборки после дождя среднее значение и стандартное отклонение составили 10,63 см и 1,84 см, а CV – 17,27%. В соответствии с оценочным баллом, 40% кусочков были оценены как отличные по глубине, 15% - как средние и 45% – как мелкие (низкого качества). Размер комков был в пределах допустимого диапазона. Что касается способности обработки почвы бороться с сорняками, то 16,67% образцов показали сбалансированное распределение отличного, умеренно хорошего и умеренно низкого качества, в то время как остальные 50 образцов имели низкое качество.

Посев: Среднее значение нормы высева (66,8 семян на 1 м длины) существенно не отличалось от ожидаемых значений (49 семян/м). Однако высокий показатель CV = 35,37%. Среднее значение и стандартное отклонение фактической глубины составили 2,36 см и 0,6 см соответственно, а CV – 25,25%. фактическое значение было значительно ниже среднего тестового значения. Исходя из балльной оценки, 30% глубины заделки семян были качественными, а 70% – средними. Таким образом, общее качество урожая в целом неудовлетворительное.

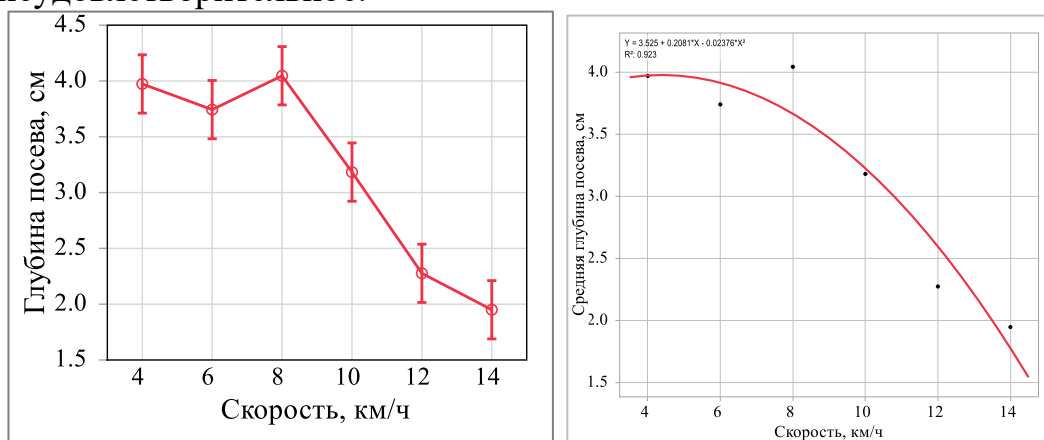


Рисунок 15 – Глубина заделки семян зависит от скорости работы сеялки

Как указано в разделе теоретического анализа, допустимым является диапазон глубины заделки семян от 3 до 4 см; скорость 10 км/ч полностью соответствует этому диапазону (рисунок 15).

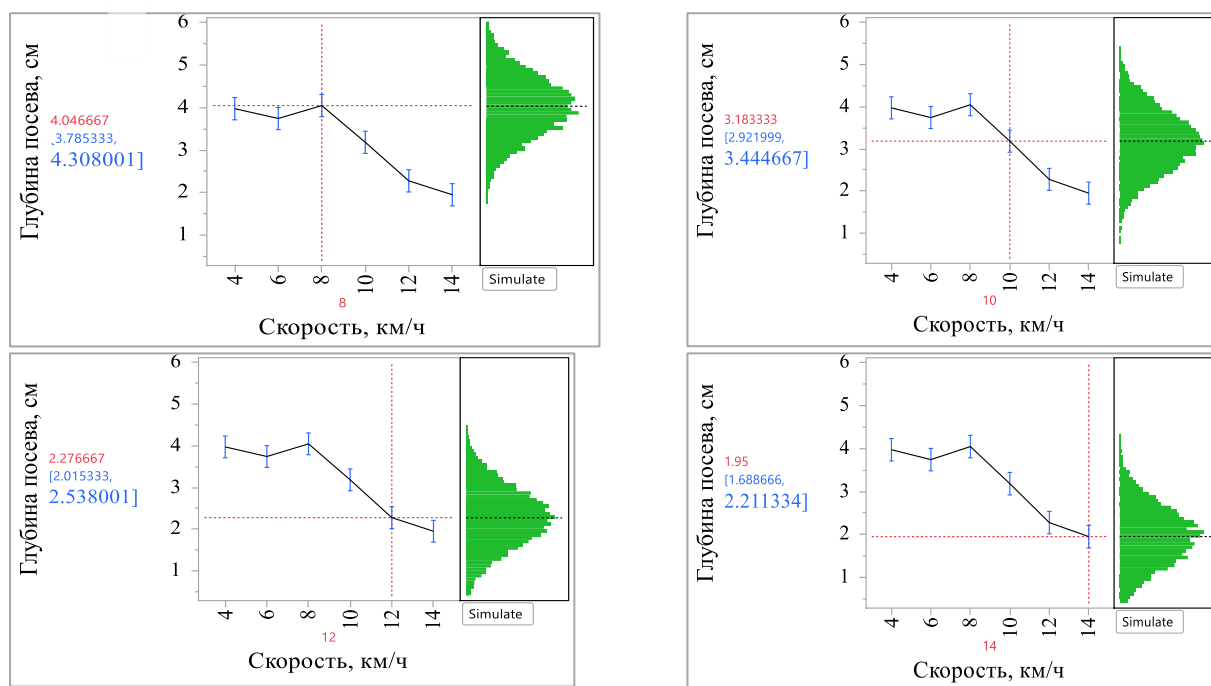


Рисунок 16 – Моделирование прогностического профиля глубины посева на рабочих скоростях 8, 10, 12 и 14 км/ч

Результаты моделирования скорости показаны на рисунке 16. В данных полевых условиях максимально допустимая рабочая скорость составляет 10 км/ч. При такой скорости 95 % наблюдаемых глубин заделки семян находились в диапазоне от 2,9 до 3,4 см, при средней глубине заделки 3,2 см (рисунок 16). Кроме того, если почвообрабатывающие операции соответствуют требуемым стандартам качества, скорость МТА может быть увеличена до более чем 14 км/ч.

Оптимальное использование техники при одновременном выполнении производственных процессов: В таблице 3 показана площадь, выделенная для каждой модели трактора, чтобы обеспечить равномерное распределение рабочей нагрузки в течение одинакового времени работы для всех закрепленных тракторов. Цифры в скобках указывают на количество каждой модели трактора.

Таблица 3 – Оптимальная площадь, обрабатываемая техникой для каждого типа полевых работ (га)

Тип операции	Объем работы га	Часовая производительность, га/ч				Объем работ, выполняемых агрегатами на базе тракторов			
		Новая голландия T7060 (6)	Новая голландия T6050 (8)	Фергусон 465 (5)	Новая голландия T6090 (4)	Новая голландия T7060 (6)	Новая голландия T6050 (8)	Фергусон 465 (5)	Новая голландия T6090 (4)
Основная обработка почвы	1290,34	0,8775	0,51	0,45	1,17	451,53	416,05	302,07	120,7
Предпосевная обработка почвы	1290,34	1,68	1,7	0,0	2,2	501,41	462,58	0	326,35
Посев	1290,34	0	0,0	0,0	4,42	0	0	0	1290,34
Требуемое количество дней						14	14	14	14

Сбалансировав нагрузку между имеющимися МТА, можно одновременно

обработать 1290,34 га земли для основной и предпосевной обработки почвы и посева минимум в течение 14 дней.

Оптимизация маршрутов движения сельскохозяйственной техники для минимизации простоев в пути между полями и базой МТП: Процесс оптимизации маршрута призван минимизировать холостые переезды между базой МТП и участками и обратно в базе МТП каждый день (смену), чтобы в конце работы общее расстояние также было сведено к минимуму. Маршруты сведены воедино на рисунках ниже.

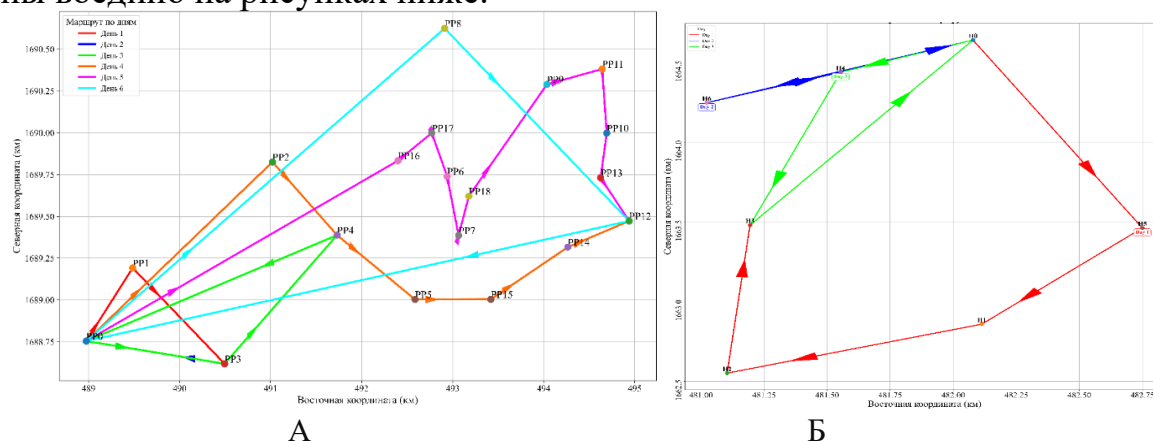


Рисунок 17 – Оптимальные ежедневные маршруты движения МТА от депо до участка (ов) и обратно – (А) основная обработка почвы – (Б) предпосевная обработка почвы

Заключение:

1. По природно-климатическим и почвенным характеристиками наиболее благоприятными для возделывания пшеницы являются южный (осадки 300...600 мм) и центральный регионы (осадки 100...500 мм) Эритреи. Средняя температура увеличилась за последние годы на 1,7 °С. В этой зоне производится около 70% зерновых культур.

2. По данным хронометражных наблюдений при посеве пшеницы на ферме «Целот» с использованием пневматической сеялки Nardi DORRA среднее значение коэффициента использования времени смены $K_{см}$ составило 0,26. При соблюдении оптимальных рекомендаций среднее значение для того же МТА было 0,68, что в 2,5 раза выше, чем в обычной практике. Среднее значение $K_{см}$ для трех МТА, работавших в июле, и четырех МТА, работавших в сентябре, на предпосевной обработке почвы составило 0,59 и 0,37, соответственно. Такое различие объясняется потерей времени на очистку рабочих органов от налипающей почвы, вызванной ошибочным выбором орудий без учета состояния почвы и ее влажности.

3. Топографические особенности, микрорельеф и конфигурация поля оказывают существенное влияние на производительность МТА при посеве. Совокупный коэффициент снижения эффективности $K_{об}$ показал значительное влияние ($R^2 = 0,79$) на снижение эффективности. Поэтому необходимо улучшить общую планировку поля и его выравнивание, а также проводить полевые работы с учетом специфики поля.

4. Идеальное время для посева пшеницы для южных и центральных регионов Эритреи с 11 по 30 июня. Этот период снизит риск от повышенного количества осадков в конце июня и засушливого периода при раннем посеве.

5. При посеве пшеницы пневматической сеялкой Nardi Dora среднее значение перекрытия достигало до 71 см. При посеве на площади 107 га повторный посев составил 17 га и не засеяно – 3 га. При посеве стандартные слепоуказатели (маркеры) не обеспечивают заданную точность вождения из-за особенностей климата и низкого качества предпосевной подготовки почвы. Использование систем автоматического вождения позволяет снизить допустимое отклонение в среднем, до 2...2,5 см.

6. При заданной глубине основной обработки почвы 23 см среднее значение фактической глубины оказалось равным 21,05 см, отклонение более 2 см, значение коэффициента вариации (CV) 27,7%, что указывает на высокую вариабельность глубины обработки почвы. Выравненность поверхности 4,88 %. На основании балльного метода оценки качество оценивается как умеренное. Исходя из этой информации, эксплуатационное качество было от умеренного до плохого. Дисковый плуг не обеспечивает требуемое качество обработки, поэтому необходимо рассмотреть возможность использования безотвальной технологии.

Средняя глубина предпосевной обработки почвы равна 12,45 см., коэффициент вариации – 29,76 %. В допустимый диапазон попадает только 40% значений, 5% – среднее качество, а 60 % не удовлетворительное качество. Количество комков размером более 5 см существенно зависит от влажности почвы. При обработке сухой почвы количество комков более 5 см на 20 % превысили допустимую норму (20 шт. на 1 м²). После дождя 70% опытных площадок насчитывали менее 10 комков размером более 5 см. Наличие комков более 5 см. на поле, подготовленном под посев, существенно снижает качество работы посевного агрегата. Рекомендуются использовать на предпосевной обработке почвы комбинированные агрегаты или установить дополнительные прикатывающие устройства на дисковую борону.

7. Оценка соблюдения нормы высева показала высокий коэффициент вариации (CV) 35,37% количества семян на 1 м ряда. Среднее количество семян на 1 м ряда превышает норму высева на 24 растения по сравнению с рекомендуемой нормой (49 живых растений на 1 м длины).

8. Наилучшее значение глубины посева находится в диапазоне 3,75...5 см (среднее = 4,375). По данным исследований средняя глубина посева составила 2,36 см, коэффициент вариации – 25,25%. Т-тест подтвердил, что среднее значение теста и среднее фактическое значение показали статистическую разницу. По методике балльной оценки 30 % глубин были признаны хорошим посевом, а остальные (70 %) – средним.

Зависимость глубины посева от скорости аппроксимируется уравнением второй степени $y = 3,252 + 0,208x - 0,024x^2$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$. Для обоснования рабочей скорости разработана имитационная модель прогнозирования глубины посева с помощью предиктивного профайлера программного комплекса JMP Trial. С доверительной вероятностью 0,95 будет обеспечена средняя глубина посева 4,1 см, доверительный интервал 3,8...4,3 см при скорости 8 км/час. При повышении качества предпосевной обработки, возможно увеличить рабочую скорость до 10 км/час.

9. Сбалансировав нагрузку между имеющимися МТА, можно одновременно обработать 1290,34 га земли для основной и предпосевной обработки почвы и посева минимум в течение 14 дней. Данная модель может быть адаптирована (с изменениями или без) к любым аналогичным полевым операциям и поможет лицам, принимающим решения, заранее спланировать эффективное выполнение полевых операций в напряженный период.

10. Модель оптимизации маршрута позволила минимизировать холостые пробеги машинно-тракторного агрегата между участками и парком. Эта модель помогает планировать перемещения на нужные участки в течение смены (дня), а также может быть адаптирована к другим аналогичным полевым работам с внесением или без внесения изменений в модель.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в изданиях рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. Левшин, А.Г. Влияние конфигурации и топографических особенностей поля фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата / А.Г. Левшин, Медхн Тесфит Асрат, И.Н. Гаспарян, С.Г. Теклай // *Агроинженерия*. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 33-41.

2. Медхн Тесфит Асрат. Оценка эксплуатационной точности пневматической сеялки на ферме Целот Эритреи / Медхн Тесфит Асрат, А.Г. Левшин, С.Г. Теклай // *Агроинженерия*. – 2025. – Т. 27, № 2. – С. 21-29.

Публикации в других изданиях:

3. Medhn Tesfit Asrat. Analysis of the Level of Agricultural Mechanization in Eritrea Based on USDA Data Sources / Medhn Tesfit Asrat, S. G. Teklay, M. T. Mengstu // *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. – 2023. – Т. 5. – №. 6. – С. 62-69.

4. Medhn Tesfit Asrat. Impact of Field Characteristics on Pneumatic Seed Drill Performance: A Case Study in Eritrea / Medhn Tesfit Asrat, A. G. Levshin, S. G. Teklay // *Journal of Agricultural Machinery*. – 2024.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:

5. Медхн Тесфит Асрат. Анализ эффективности сеялки с использованием данных мобильного отслеживания: ферма Целот, Эритрея / Медхн Тесфит Асрат, А.Г. Левшин // *Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича*. – 2024. – С. 229-236.

6. Медхн Тесфит Асрат. Оценка производительности техники при посеве пшеницы по равномерности распределения растений на ферме «Целот», Эритрея / Медхн Тесфит Асрат // *Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : сборник статей*. – 2024. – С. 496-500.

7. Медхн Тесфит Асрат. Анализ взаимосвязи между мощностью и шириной захвата жатки и эффективности автоматизации рабочего процесса зерноуборочного комбайна / Медхн Тесфит Асрат, А.Г. Левшин // *Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : сборник статей*. –

2023. – С. 478-483.

8. Medhn Tesfit Asrat. Analyzing some design and performance parameters of a combine harvester in terms of its automation / Medhn Tesfit Asrat, A.G. Levshin, A.Yu Alipichev // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К. А. Тимирязева. Сборник статей. – 2023. – С. 533-538.

9. Medhn Tesfit Asrat. Evaluating the performance of wheat drills by seed distribution metrics: case of Tselot Farm, Eritrea / Medhn Tesfit Asrat // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича. – 2024. – С. 496-500.

10. Medhn Tesfit Asrat. Analysis of the conditions and technologies for the cultivation of cereals in Eretria / Medhn Tesfit Asrat // Наука без границ и языковых барьеров : материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Орел, 2023. – С. 427-436.