

На правах рукописи

ХУССЕЙН ИБРАГИМ АДЛ ХУССЕЙН

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКИ
ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ИРАКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИЦЕПА
ПЕРЕГРУЗЧИКА И ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ РУКАВОВ**

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

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:

Смелик Виктор Александрович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Костенко Михаил Юрьевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и технических систем в АПК ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ)

Защита состоится 16 апреля 2026 года в 12.30 на заседании диссертационного совета 35.2.030.03, созданного 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 « ___ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сезон сбора урожая в Ираке сопряжен с рядом серьезных проблем, которые существенно влияют на сельскохозяйственный сектор в целом и на продовольственную безопасность в частности. Поскольку зерновые считаются стратегической культурой, они являются основным продуктом питания населения. Основными проблемами механизированной уборки зерна являются короткий сезон сбора урожая, который не превышает 4...5 дней. В условиях засухи и высоких температур темп созревания пшеницы достигает более 6000 га за сутки. Из-за недостаточного парка зерноуборочных комбайнов (ЗУК), нагрузка 600 га на комбайн, и низкой эффективности использования при автономной работе комбайнов, реализуются низкие темпы уборки, что приводит к увеличению сроков уборки и большим биологическим потерям.

В Ираке обеспеченность современным оборудованием для хранения зерна составляет 30...40 % от собранного урожая, поэтому велики потери при хранении. В связи с этим, разработка рекомендаций по повышению эффективности уборочных работ и использованию полиэтиленовых рукавов в качестве временных складов для хранения зерна является важной и актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Повышению эффективности уборки пшеницы посвящены научно-исследовательские и научные работы известных ученых Киртбая Ю.К., Рунчева М.С., Кленина Н.И., Жалнина Э.В., Зангиева А. А., Скороходова А.Н., Дидманидзе О.Н., Смелика В.А., Ряднова А.И., Лебедева А.Т., Плешакова В.Н., Арютова Б.А., Костенко М.Ю., Тронева С.В., Mohamed M. El-Kholy and Reham M. Kamel и других ученых.

На кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка разработаны принципы операционной технологии и методики оптимизации производственных процессов, изложенные в работах Киртбая Ю.К., Шарова Н.М., Зангиева А.А., Скороходова А.Н., Дидманидзе О.Н., Левшин А.Г. и других ученых.

В Ираке имеется большое количество комбайнов и тракторов, но сельскохозяйственный сектор страдает от плохой организации, управления и планирования работ особенно в короткий период уборки урожая, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат и потерям продукции.

Объект исследования – технологии уборки, транспортировки и хранения зерна в условиях Республики Ирак.

Предмет исследования – оптимизация производственных процессов поточной уборки пшеницы в условиях Ирака и хранение урожая в полиэтиленовых рукавах.

Цель исследования – повышение эффективности механизированной уборки пшеницы за счет поточной организации уборочного процесса и хранения урожая в полиэтиленовых рукавах.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ природно-климатических характеристик, технологий производства пшеницы, состава парка тракторов и комбайнов, технологий уборки и хранения пшеницы, используемых в Ираке, и обосновать рекомендации по повышению эффективности технологических процессов.

2. Определить темп наступления наиболее благоприятного момента для уборки и коэффициенты интенсивности биологических потерь и оптимизировать процесс уборки пшеницы в условиях провинции Эс-Сувайра по минимуму потерь: момент начала уборки, суточный темп и продолжительность уборки.

3. Провести хронометражные наблюдения за автономной работой зерноуборочных комбайнов и провести расчетные исследования производительности при групповой работе.

4. Обосновать оптимальный состав уборочно-транспортного комплекса при поточной уборке пшеницы по минимуму эксплуатационных затрат с учетом вероятностных характеристик процесса и снизить простои при загрузке автомобилей во время перевозки зерна на элеваторы в городах: Васит (расстояние перевозки 38,6 км) и Ди Кар (расстояние 72 км) по сравнению с традиционной технологией уборки.

5. Обосновать количество точек размещения временных складов и оптимальный состав уборочно-транспортного комплекса при поточной уборке пшеницы и хранении зерна в полиэтиленовых рукавах и сравнить с традиционной технологией уборки и автомобильными перевозками зерна на элеватор в городе Ди Кар (расстояние 72 км).

6. Провести технико-экономическую оценку сравниваемых технологий уборки пшеницы в Ираке.

Научная новизна исследования заключается в научном обосновании: оптимальных темпов уборочных работ, обеспечивающих минимум суммарных биологических потерь зерна; рекомендаций по повышению эффективности поточной технологии уборки в условиях Ирака; состава уборочно-

транспортного комплекса машин для уборки, загрузки и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работ заключается в методике обоснования оптимального состава уборочно-транспортного комплекса для поточной технологии уборки урожая на небольших и средних по размеру полях в Республике Ирак с учетом вероятностных характеристик процесса и обосновании поточной технологии уборки и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах.

Практическую значимость работы составляют полученные значения коэффициентов интенсивности потерь зерна; темпов наступления оптимальных сроков уборки; рекомендации по обеспечению допустимого уровня биологических потерь за счет организации уборочного процесса; практические рекомендации по составу уборочно-транспортного комплекса машин для уборки, транспортировки и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах; в передаче российского научного опыта по поточной уборке зерновых культур Министерству сельского хозяйства Ирака для его использования при обучении фермеров, что позволит повысить эффективность использования техники и снизить затраты на производство пшеницы.

Методология и методы научного исследования.

Методология включает: анализ природно-климатических факторов производства пшеницы, имитационное моделирование технологических процессов уборки и транспортировки зерна, хронометражные наблюдения за процессом уборки зерна в местных условиях Ирака, статистическое моделирование состава уборочно-транспортного комплекса; моделирование процесса поточной уборки и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах.

Методы исследования: системный анализ, статистическая оценка данных о процессах уборки урожая, природных и климатических характеристиках, хронометраж за работой основных агрегатов; анализ процессов потерь при уборке урожая традиционными методами.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа природно-климатических характеристик, технологий производства пшеницы, состава парка тракторов и комбайнов, технологий уборки и хранения пшеницы, используемых в Ираке;

2. Результаты оптимальной организации процесса сбора урожая в Ираке по минимуму биологических потерь: момент начала уборки, темп и продолжительность уборки;

3. Результаты хронометражных наблюдений при автономной и групповой работе зерноуборочных комбайнов и анализа эффективности автомобильной перевозки зерна на элеваторы.

4. Оптимальный состав уборочно-транспортного комплекса при поточной уборке пшеницы по минимуму эксплуатационных затрат с учетом вероятностных характеристик процесса;

5. Оптимальный состав уборочно-транспортного комплекса при поточной уборке пшеницы для уборки и хранения части убранного зерна в полиэтиленовых рукавах в климатических условиях Ирака;

6. Результаты технико-экономической оценки новых технологий уборки пшеницы в условиях Ирака.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность результатов исследования подтверждается использованием методов современных научных исследований, адекватностью математических моделей аппроксимации экспериментальных данных; использованием материалов государственной статистики и методов статистического анализа с помощью программ Microsoft Excel и Mathcad.

По результатам исследования опубликовано 9 научных работ в изданиях (РИНЦ), в том числе 3 в изданиях ВАК.

Апробация результатов исследований. Результаты исследований доложены на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция и школа молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства, Краснодар, 24-27 мая 2022 г.; Всероссийская (национальная) научно-практическая конференции, Ростов-на-Дону, 16-18 марта 2022 г.; «Опора России» Всероссийская научная конференция использование и управление сельскохозяйственной техникой и специальным оборудованием на небольших сельскохозяйственных землях, Санкт-Петербург, 2022 г.; Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-Летию Со Дня Рождения К.А. Тимирязева, Москва, РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 05-07 июня 2023 г.; Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения А.Я. Ниловича: Москва, РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 03-05 июня 2024 г.;

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Общий объём диссертации 133 страниц, имеется 37 рисунков, 50 таблиц, список литературы из 152 наименований российских и зарубежных исследователей и 2 приложения.

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 основные положения, выносимые на защиту, а также доказана степень достоверности и апробация результатов исследований.

В первой главе анализируются урожайность пшеницы и объемы ее производства в Ираке и соседних регионах, а также начало сезона посадки и сбора урожая, объем производства зерна, сельскохозяйственные площади, выделенные для выращивания в рамках правительственного плана и климатические условия, которые оказывают существенное влияние на объем производства. Также была проанализирована организация работы сельскохозяйственной техники, транспортировки и хранения урожая.

Во второй главе приведена методика расчёта производительности комбайна в условиях эксплуатации Ирака. Рабочую ширину захвата V_p и рабочую скорость V_p уборочной машины определяем по формулам

$$V_p = V_k \cdot \beta; \quad (1) \quad V_p = \frac{36 \cdot q \cdot K_{\Pi}}{V_p \cdot H(1 + \delta_c)}, \quad (2)$$

где V_k - конструкционная ширина захвата уборочной машины, м; β - коэффициент использования ширины захвата; q - пропускная способность уборочной машины, кг/с; K_{Π} - коэффициент уменьшения пропускной способности ($K_{\Pi} = 0,8$); H - урожайность убираемой сельхоз культуры, т/га; δ_c - выход побочной продукции по отношению к основной.

Потенциальную производительность комбайна $W_{ч}$ (га/час) и $W_{ч}$, (т/час) за час сменного времени определим по формулам:

$$W_{ч} = 0,1 V_p v_p \tau; \quad (3) \quad W_U = W_{ч} H \cdot \tau, \quad (4)$$

где: τ – коэффициент использования времени смены.

Обоснована модель сравнительного технико-экономического анализа и методика определения эксплуатационных затрат для технологических схем уборочного процесса (Таблица 1). Для этого определялись для каждой технологической схемы эксплуатационные затраты по типовым методикам.

При оптимизации будем использовать принцип поточного планирования. Условием непрерывности потока является равенство производительности по всем звеньям комплексов:

$$mW_1 = nW_2 = \dots = n_i W_i = \dots = n_k W_k. \quad (5)$$

Таблица 1 Технологические схемы уборки

1. Традиционная схема уборки		
1.1 Автономная работа комбайнов	Автомобильные перевозки на элеватор 1 (38,6 км)	Хранение на элеваторе 1
1.2 Автономная работа комбайнов	Автомобильные перевозки на элеватор 2 (72 км)	Хранение на элеваторе 2
2. Поточная схема уборки		
2.1. Групповая работа комбайнов с бункером-перегрузчиком	Автомобильные перевозки на элеватор 1 (38,6 км)	Хранение на элеваторе 1
2.2. Групповая работа комбайнов с бункером-перегрузчиком	Автомобильные перевозки на элеватор 2 (72 км)	Хранение на элеваторе 2
3. Поточная схема уборки и хранение зерна в Элеваторе 1 и в полиэтиленовых рукавах		
3.1 Затраты на уборку урожая с использованием бункера-накопителя	Автомобильные перевозки на элеватор 1 (38,6 км)	Хранение на элеваторе 1
3.2 Затраты на уборку урожая УТК с использованием бункера-накопителя	Транспортировка зерна к месту хранения и загрузка полиэтиленовых рукавов (расстояние 4,8 км)	Хранение зерна в полиэтиленовых рукавах (8 точек размещения)

Для эффективной работы m комбайнов целесообразно использовать в качестве компенсирующей емкости n бункеров-накопителей. При выборе бункера-накопителя необходимо обеспечить согласование емкости бункера зерноуборочного комбайна и бункера-перегрузчика.

Производительность бункера-перегрузчика $W_{\text{Бункер}}$, рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{Бункер}} = \frac{Q_n \cdot \alpha_r}{\sum t} \quad (6)$$

где: Q_n - номинальная грузоподъемность бункера; α_r - степень использования грузоподъемности; $\sum t$ - общее время цикла работы бункера-перегрузчика.

Эксплуатационные затраты для i -ого агрегата $C_{эi}$ руб. за 1 час работы определим по формуле:

$$C_{эi} = \{C_{ТСМ} + C_{аморт} + C_{страховки} + C_{Зтро} + C_{трудо}\}, \quad (7)$$

где: составляющие затрат (руб./ч): на амортизацию $C_{аморт}$; на техническое обслуживание и ремонт $C_{ТОР}$; на топливо и смазочные масла $C_{ТСМ}$; страхование $C_{страх}$ (для тракторов и зерноуборочных комбайнов) и оплату труда $C_{ТРУД}$.

Общие затраты на процесс уборки $\sum C_{ТЕХН}$ по традиционной схеме состоят из эксплуатационных затрат зерноуборочного комбайна $C_{зук}$, затрат на автомобильные перевозки $C_{авт}$ на элеватор 1 и 2 и затраты на хранение зерна на элеваторах $C_{хран}$, (устанавливаются централизованно Минэкономикой Ирака для каждого элеватора)

$$\sum C_{ТЕХН} = \{C_{зук} + C_{авт} + C_{хран}\}. \quad (8)$$

Транспортные расходы $C_{авт}$ (руб./т) делятся на две части: затраты на ожидание погрузки на поле t_1 (час), ожидание разгрузки на элеваторе t_2 (час) (тариф - g , руб./час) и затраты на выполнение транспортной работы Q (т·км) (тариф - p , руб./т·км). Общие затраты на транспортировку зерна (руб./т) автомобилями определим по формуле:

$$C_{авт} = \{(t_1 + t_2) \cdot g + p \cdot Q_T\} / Q_H \alpha, \quad (9)$$

где Q_H - номинальная грузоподъемность автомобиля, т; α - коэффициент использования грузоподъемности (для зерна $\alpha = 1$).

Совместную работу ЗУК и бункера-накопителя рассматриваем как систему массового обслуживания. При заполнении бункера комбайна возникает необходимость его разгрузки (заявка на обслуживание). Состояние системы характеризуется интенсивностью потока заявок λ , пропускной способностью каналов обслуживания системы μ . В зависимости от числа требований в системе обслуживании k и количества каналов обслуживания n . Для рассматриваемой замкнутой системы $k = 0, 1, 2, \dots, N$. При $k \leq n$ простаивают бункеры-перегрузчики; при $k = n$ в системе не будет простаивающих прицепов и комбайнов, а при $k \geq n$ в системе будут простаивать зерноуборочные комбайны. В ходе имитационного моделирования определяют среднее число простаивающих комбайнов и бункеров-перегрузчиков и соответственно коэффициенты простоя $k_{пр1}$ и $k_{пр2}$. Оптимальное соотношение комбайнов и обслуживающих агрегатов выбираем из условия

$$C = \frac{mC_m + nC_n}{w_j n (1 - k'_{npj})}, \quad (10)$$

где C_m , C_n - затраты за час работы соответственно обслуживаемых (зерноуборочные комбайны) и обслуживающих агрегатов (бункеры-накопители); $k_{пр}$ - коэффициенты простоя бункеров-перегрузчиков. Минимальное значение функции $C = f(m)$ при $n = const$ указывает на оптимальное число обслуживаемых

агрегатов при установленном числе обслуживающих в отряде. Минимальное значение функции $C = f(n)$ при $m = \text{const}$ указывает на оптимальное число обслуживающих агрегатов при установленном числе обслуживаемых в комплексе.

Эксплуатационные затраты при поточной уборке рассчитываются по формуле:

$$\sum C_{\text{техн}} = \{C_{\text{утк}} + \{(t_1 + t_2) \cdot g + p \cdot Q_T\} / Q_H \alpha + C_{\text{хран}}\} \quad (11)$$

где: $C_{\text{утк}}$ - затраты на уборочно-транспортный комплекс при поточной уборке, руб./тонна.

Для снижения затрат рекомендуется использовать вместо элеватора в г. Ди Кар использовать полиэтиленовые рукава (технологии 3.2, Таблица 1) Рисунок 1.

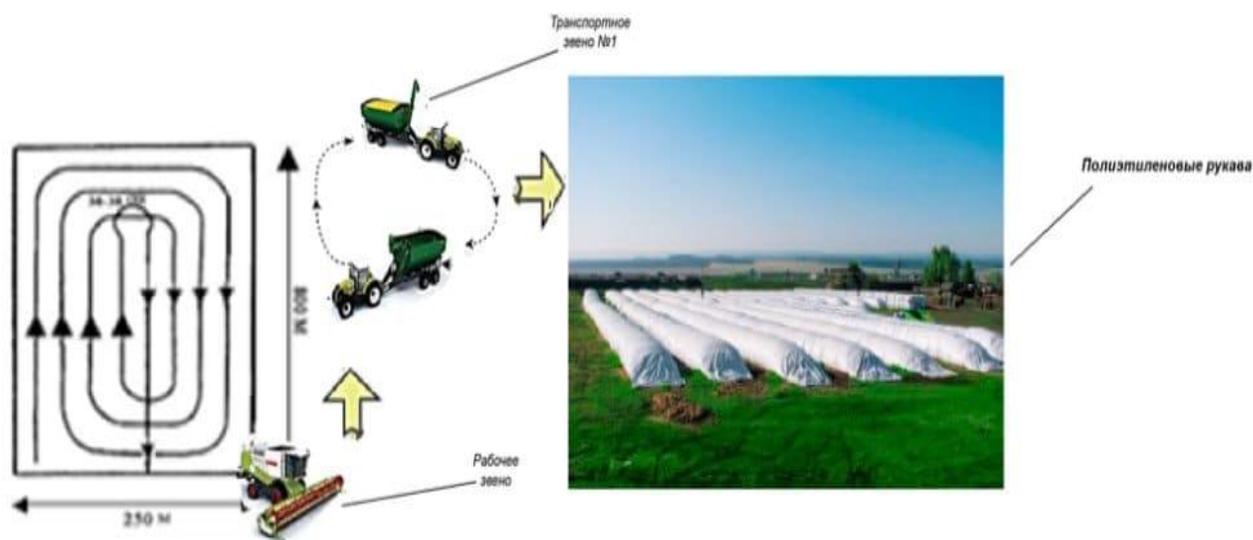


Рисунок 1 – Схема транспортировки и хранения зерна с использованием полиэтиленовых рукавов

Количество точек размещения временных складов из полиэтиленовых рукавов определяли по минимуму суммарных затрат

$$\sum C_{\text{техн}} = \{C_{\text{утк}} + C_{\text{охран}} + C_{\text{загр}} + C_{\text{разгр}} + C_{\text{рукав}}\}, \quad (12)$$

где $C_{\text{загр}}$ - эксплуатационные затраты на загрузку и разгрузку $C_{\text{разгр}}$ рукавов, руб./т; $C_{\text{рукав}}$ - затраты на полиэтиленовые рукава, руб./т; охрана временного склада $C_{\text{охран}}$, руб./т; $C_{\text{утк}}$ - затраты УТК, руб./т.

В третьей главе "Методика экспериментальных исследований" приведены условия проведения экспериментов по сбору урожая на полях в округе Васит, регионе Эс-Сувайра. Средняя температура на экспериментальном участке во

время эксперимента составляла около 42 градусов по Цельсию, а среднее годовое количество осадков в этом районе часто составляло менее 150 мм.

Хронометражные наблюдения за комбайном и бункером-перегрузчиком проводили по ГОСТ 24055-2016. Также были зафиксированы затраты времени грузовых автомобилей при транспортировке зерна.

Для оптимальной организации уборочного процесса и определения оптимальных сроков уборки по минимуму биологических потерь определяли коэффициент интенсивности потерь K_1 , K_2 по формулам:

$$K_1 = (Q - Q_1)/Q(t_{\text{опт}} - t_1), \quad (13) \quad K_2 = (\Delta U - \Delta U_1)/U_{\text{max}}(t_2 - t_{\text{опт}}), \quad (14)$$

где: Q – абсолютный вес 1000 зерен в момент полной спелости хлебов; Q_1 – абсолютный вес 1000 зерна за t_1 день до наступления НБМ; U_{max} – максимальная урожайность пшеницы, т/га; ΔU , ΔU_1 –потери урожая при уборке в оптимальный момент и через t_2 дней после оптимального срока.

Для оптимизации процесса уборки определяли темп созревания зерна P в условиях эксперимента. Зависимость наступления наиболее благоприятного момента представляет собой логисту, но для первого представления примем линейную зависимость:

$$P = F/(t_2 - t_1). \quad (15)$$

Комбайн New Holland TC 5040 был выбран потому, что в Ираке их наибольшее количество, особенно с рабочей шириной захвата 5,77 м. Этот комбайн отличается высокой эффективностью и приспособлен для переезда между полями и при уборке на полях сложной конфигурации. Для согласования работы группы зерноуборочных комбайнов предлагается использовать прицеп-перегрузчик *AGRESTO* БПЗ-16.

Машины для загрузки и выгрузки зерна из полиэтиленовых рукавов выбирали с учетом диаметра рукава и минимальных часовых затрат: загрузочную машину *МЗУ-01К* и машину зерноразгрузочную *МЗР*. Полиэтиленовых рукава выбрали вместимостью 200 тонн.

В четвертой главе «Анализ результатов исследования» приведены основные результаты работы. Общий объем собранного урожая составляет 99,0 тыс. тонн при урожайности 3,4 ц/га. Расчетная производительность комбайна *New Holland TC 5040* в условиях эксперимента составила 10,21 тонны в час основного времени.

Хронометражные наблюдения за автономной работой комбайна в провинция Эс Сувайра проведены в течение 3-х контрольных смен, общей продолжительностью 36 часов. Результаты хронометража приведены в Таблице 2. Фактическая

производительность комбайна при автономной работе составила 4,01 тонны в час, коэффициент использования времени смены - 0,393. При использовании бункера-накопителя в сочетании с тремя комбайнами коэффициент использования времени смены увеличился до 0,71 за счет сокращения продолжительности холостых переездов с 2,57 часа до 0,22 часа, Фактическая производительность увеличилась в 1,8 раза и составила 7,31 тонны в час.

Таблица 2– Результаты хронометражных наблюдений за работой комбайна (провинция Эс Сувайра, Ирак)

Технологические показатели	Обозначение	Контрольные смены, час			
		1 - день	2 - день	3-день	Среднее
Время основной работы, час	$T_{\text{раб}}$	4,88	4,52	4,78	4,73
Время переезда к месту работы и обратно, время переезда с поля на поле, час	$T_{\text{переезда}}$	0,94	0,89	0,83	0,88
Время на проведение ежесменного технического обслуживания комбайна, час	$T_{\text{обслуж}}$	0,89	1,02	0,91	0,94
Время на обеденный перерыв, час	$T_{\text{отд}}$	1,00	1,00	1,00	1,00
Время разгрузки бункера, час	$T_{\text{Разгр}}$	0,74	0,64	0,66	0,68
Время на отдых, час	$T_{\text{вхолостую}}$	0,33	0,26	0,34	0,31
Время на проведение наладки и регулирования, час	$T_{\text{проведение}}$	0,73	0,63	0,71	0,69
Время перемещения в пределах поля для выгрузки бункера, час	$T_{\text{перемещения}}$	2,86	2,48	2,38	2,57
Времени на повороты, час	$T_{\text{поворот}}$	0,20	0,24	0,23	0,22
Время смены, час	$T_{\text{см}}$	11,91	12,07	12,08	12,02

Транспортное обеспечение отвозки зерна обеспечивали за счет аренды. Грузовики подают на край поля и комбайны приступают к уборке урожая. При традиционной схеме уборки при заполнении бункера комбайна подъезжает к краю поля для выгрузки зерна в грузовик. При заполнении кузова автомобили направляются к элеваторам. На элеваторе отбираются пробы для проверки качества, автомобили ожидают результаты анализа и выгружают зерно в приемный бункер для последующей обработки и закладки на хранение. Элеваторы расположены на

расстоянии 38,6 км (г. Васит, 50,0 тыс. т.) и 72 км (г. Ди-Кар, 49,0 тыс. т.).

Тариф почасовой оплаты – 1400 руб./час и тариф на перевозку зерна – 2,5 руб. за 1 т·км. Для традиционной схемы уборки среднее время ожидания загрузки 6,12 часа и среднее время ожидания на элеваторе Васит – 2,51 часа; на элеваторе Ди-Кар – среднее время ожидания на элеваторе 2,11 часа и среднее время ожидания загрузки – 6,42 часа.

Суммарные затраты на транспортировку зерна для традиционной схемы уборки на расстояние 38,6 км составили 473,5 руб./т, а при транспортировке на расстояние 72 км – 553,1 руб./т. При поточной технологии соответственно 273,1 руб./т и 352,8 руб./т. (Таблица 3).

Таблица 3 – Общие расходы на ожидание и транспортировку зерна на элеваторах

Расположение элеватора (среднее расстояние, км)	Затраты на ожидание руб./т	Транспортные расходы, руб./т	Общие затраты руб./т
Традиционная схема уборки			
Васит (38,6)	377,5	96	473,5
Ди Кар (72)	373,1	180	553,1
Поточная схема уборки			
Васит (38,6)	177,1	96	273,1
Ди Кар (72)	172,8	180	352,8

Сезон сбора урожая в провинции Эс Сувайра начинается в мае, оптимальная продолжительность 4...5 дней. Комбайновый парк в провинции насчитывает 50 единиц. Темп уборки зависит от производительности комбайна, числа комбайнов и продолжительности уборочных работ (продолжительность смены, коэффициент сменности).

Для оптимальной организации процесса механизированной уборки определили коэффициенты интенсивности потерь $K_1=0,019$ ед./сутки и $K_2=0,12$ ед./сутки для условий провинции Эс-Сувайра (Ирак). Темп созревания хлебной массы – 6023 га/сутки на площади 30115 га. Для традиционной технологии уборки с учетом имеющегося парка комбайнов при двухсменной работе темп уборки составит 1061 га за сутки при потерях 10358,6 т (10%). Для уровня потерь в 5% понадобится увеличить парк комбайнов в 2 раза до 100 комбайнов.

Для поточной уборки при использовании бункера-накопителя AGRESTO БПЗ-

16 объемом 20 м³, вмещающего 4 бункера, производительность зерноуборочного комбайна New Holland TC 5040 увеличится до 7,31 т/ч, (2,15 га/ч). Поток заявок при автономной работе комбайна $\lambda=2,32$ ед./час, интенсивность обслуживания $\mu=1,43$ ед./час. Определение оптимального количества комбайнов для работы с бункером-перегрузчиком БПЗ-20 с учетом вероятностных характеристик процесса приведены на Рисунке 2.

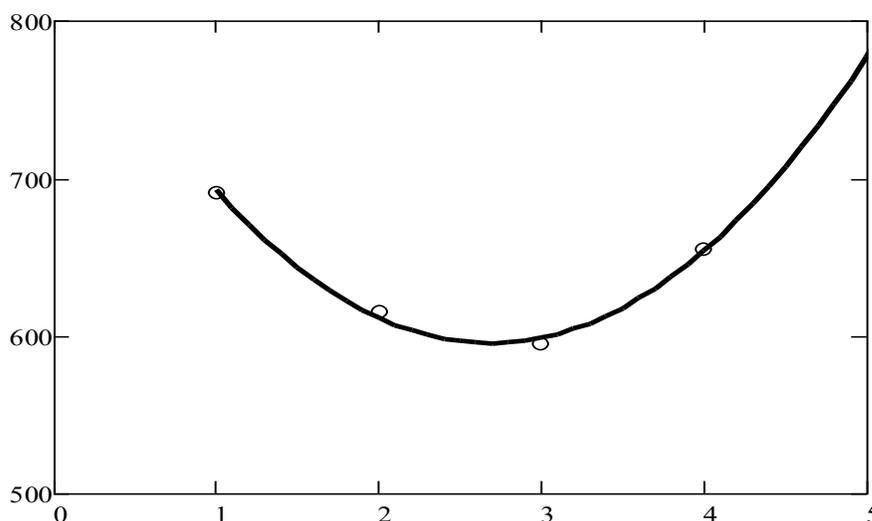


Рисунок 2 – Зависимость суммарных эксплуатационных затрат УТК в зависимости от числа обслуживаемых комбайнов

Минимум эксплуатационных затрат 594,8 руб./т при состав уборочно-транспортного комплекса: 3 зерноуборочных комбайна New Holland TC 5040 и 1 бункер-перегрузчик AGRESTO БПЗ-16.

При поточной уборке урожая с использованием 50 комбайнов и продолжительности работ 10 часов в сутки при темпе уборки 1075 га/день потери составят 10194 т (10%), а при продолжительности работы 18 часов в сутки при темпе уборки 1935 га/день – 4680,7 т. (4,7%).

Для технологии 3.2 предлагается использовать полиэтиленовые рукава вместимостью 200 т диаметром 2,74 м в качестве временного склада. В этом случае бункер-перегрузчик будет собирать урожай от комбайнов, транспортировать к месту хранения и при выгрузке зерна будет заполнять полиэтиленовый рукав с помощью загрузочной машины Мзу-01к.

Суммарные затраты при хранении зерна в полиэтиленовых рукавах состоят из эксплуатационных затрат УТК, затрат на хранение, на приобретение рукавов и

затраты на выгрузку зерна. Зависимость суммарных затрат от числа точек размещения временных складов приведена на Рисунке 3. Минимум затрат 1015,7 руб./т получено для 8 точек. Для этого варианта среднее расстояние перевозки 4,8 км, понадобится 30 рукавов, общая вместимость 6125 т.

Для выгрузки зерна из рукавов рекомендуется использовать машину МЗР, для которой часовые эксплуатационные затраты 5,5 руб./час наименьшие. Важным фактором при выборе состава технологического комплекса – один и тот же производитель бункера-перегрузчика зерна и загрузочной машины.

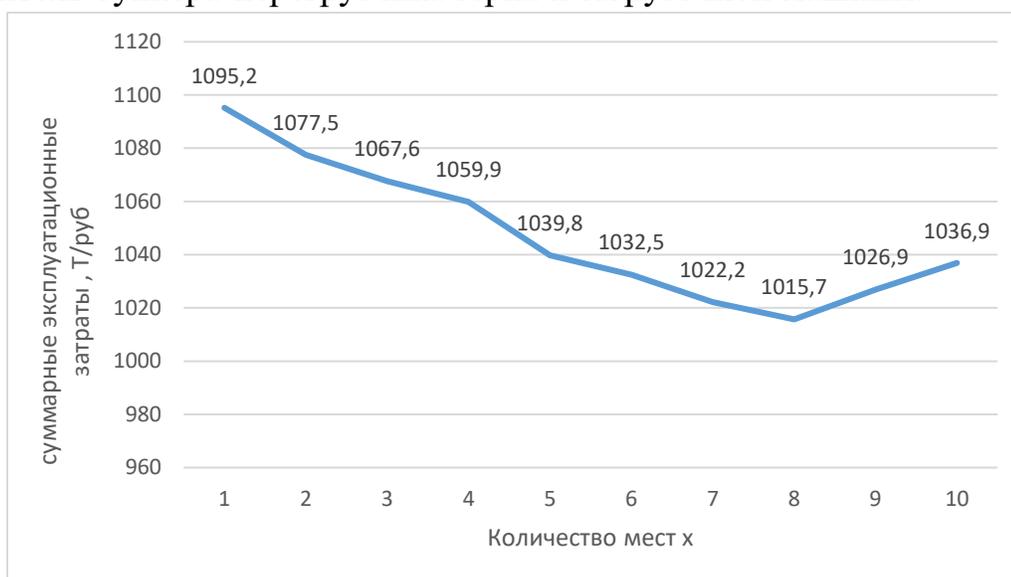


Рисунок 3 – Зависимость суммарных затрат на эксплуатацию комплекса машин в зависимости от числа мест размещения временного склада

Обоснование оптимального состава УТК приведено в Таблице 4. Наименьшие эксплуатационные затраты 618,9 руб./т получены для состава уборочно-транспортного комплекса, состоящего из 2 бункеров-перегрузчиков БПЗ-16 и 4 комбайнов New Holland TC 5040.

Таблица 4 – Затраты на уборку урожая с использованием 2-х бункеров-перегрузчиков и разного числа комбайнов, руб./т

Количество комбайнов	Количество бункеров перегрузчиков	K_{np}	K_{np}'	$\sum C$ руб/Т
2	2	0	0,641	691
3	2	0,023	0,474	631,9
4	2	0,062	0,328	618,9
5	2	0,117	0,210	632,4

Сравнение затрат на сбор урожая для трех бизнес-вариантов представлено в Таблице 5

Таблица 5 – Затраты на сбор урожая, транспортировку и хранение для трех схем уборки, руб./т.

Схема уборки	Затраты на уборку урожая, руб./т							
	ЗУК	УТК	Автомобиль	Хранение	Охрана*	Стоимость рукавов	Згру,разг	Общие затраты
1	887,9	0	473,5	696	0	0	0	2057,4
	887,9	0	553,1	696	0	0	0	2137
2	0	594,8	273,1	969	0	0	0	1563,9
	0	594,8	352,8	696	0	0	0	1643,6
3	0	594,8	273,1	696	0	0	0	1563,9
	0	618,9	0	0	117,5	270	9,3	1015,7

* - Затраты на охрану варьируются в зависимости от количества пунктов охраны.

Общие затраты на уборку при поточной технологии снизятся с 2057,4 руб./т до 1563,9 руб./т(23,9%) при хранении на элеваторе в г. Васит (38,6 км) и при хранении на элеваторе в г. Ди Кар снизятся с 2137,0 руб./т до 1643,6 руб./т(23%).

Применение новой технологии хранения зерна в полиэтиленовых рукавах существенно снижает эксплуатационные затраты с 1643,6 руб./т до 1015,7 руб./т .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее важной культурой, возделываемой в Ираке, остается пшеница, которая занимает 54,6 % посевных площадей. Основное производства зерна приходится на 3 зону стабильности (более 70 %) характеризуемой высокой температурой (до 50 градусов) и количеством годовых осадков 350...550 мм. Без полива погибает до 74 % посевов. Анализ показывает низкую обеспеченность техникой. В наиболее развитом регионе на 1 трактор приходится 52 га пахотных земель и 601 га приходится на 1 комбайн. Поэтому важнейшей задачей является повышение эффективности использования технического потенциала.

2. Сезон уборки пшеницы приходится на май, характеризуемый высокой температурой 35...40 градусов и осадками не более 150 мм. Уборку начинают при снижении влажности мене 14%, продолжительность фазы полной спелости 4-5 дней, темп созревания посевов достигает 6023 га в сутки. Коэффициенты интенсивности

потерь для условий Ирака равны $K_1=0,019$; $K_2=0,012$. Для имеющегося парка 50 комбайнов при их автономной работе в день 10 часов, темпы уборки будут 590 га в сутки и суммарные потери составят 20395,9 т или 20 %; при поточной уборке потери - 10194,8 т (10,2%); при поточной двухсменной работе уборочно-транспортного комплекса потери можно снизить до 5%.

3. Потенциальная производительность наиболее широко используемого при уборке пшеницы в Ираке New Holland TC 5040 равна 10,21 т/час. При автономной работе комбайна по данным хронометража среднее значение коэффициента использования времени смены равно 0,393 и соответственно производительность равна 4,01 т/час. При групповой работе комбайнов и использовании бункера-перегрузчика коэффициент использования времени смены увеличивается до 0,715 и соответственно производительность увеличивается до 7,31 т/час.

4. При традиционной уборке простои автомобилей в среднем равны 6,15...6,35 часа на поле при ожидании загрузки и 2,11...2,51 часа в ожидании разгрузки на элеваторе. Общие затраты на транспортировку зерна составляют 473,5 руб./т на элеватор в г. Васит (38,6 км) и 553,1 руб./т на элеватор в г. ДиКар (72 км). Доля оплаты простоев составили 79% и 67,5% соответственно.

При использовании одного бункера-перегрузчика зерна БПЗ-20 минимальные эксплуатационные затраты получены по обслуживании 3 зерноуборочных комбайнов. При групповой работе комбайнов затраты на ожидание погрузки в поле снижаются в 3,97...4,45 раза. Общие затраты на уборку при поточной технологии снизятся с 2057,4 руб./т до 1563,9 руб./т при хранении на элеваторе в г. Васит (38,6 км) и при хранении на элеваторе в г. Ди Кар снизятся с 2137,0 руб./т до 1643,6 руб./т.

5. Применение новой технологии хранения зерна в полиэтиленовых рукавах вместо элеватора в г. Ди Кар расположенного на расстоянии 72 км от убираемых площадей позволит отказаться от автомобильных перевозок и существенно снизить эксплуатационные затраты до 1015,7 руб./т при хранении 49 тыс. т зерна. Оптимально потребуется создать 8 точек хранения 6125 т зерна в 30 рукавах. Средний радиус обслуживания – 4,8 км.

Минимальные эксплуатационные затраты для уборочно-транспортного комплекса получены для 4 комбайнов и 2 прицепов-перегрузчиков зерна. По минимуму эксплуатационных затрат выбраны: машина для загрузки рукавов – Мзу-01К для диаметра рукава 2,74 м; машина для выгрузки зерна – МЗР.

6. Для обеспечения потерь не более 5% для традиционной технологии понадобится увеличить существующий парк комбайнов в 2 раза и надо иметь 200 человек обслуживающего персонала. При поточной технологии будет достаточно 57 комбайнов и 152 человек, а для поточной технологии и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах достаточно 77 человек обслуживаемого персонала.

Годовая экономия совокупных затрат денежных средств (для поточной технологии составила 58851,6 тыс. руб. и поточной с хранением в полиэтиленовых рукавах - 79618,7 тыс. руб. Снижение себестоимости выполнения работы соответственно снизились на 23,5% и 38,3%. Срок окупаемости капиталовложений – 0,85 лет.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Апробация рекомендаций в рамках пилотного проекта в Ираке с целью доказательства эффективности предлагаемых технологий.

2. Проведение практического семинара по новым разработкам в качестве пилотного проекта для специалистов Министерства и передовых фермеров;

3. Стимулирование фермеров к приобретению оптимального оборудования для группового уборочного комплекса с использованием бункеров-перегрузчиков и разработка рекомендаций по финансовой поддержке государством. Организовать обучение фермеров достижению оптимальной системы работы для снижения потерь при уборке урожая.

4. Включение в учебный процесс в Багдатском университете на сельскохозяйственном факультете на кафедре сельскохозяйственных машин и оборудования.

НАПРАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Разработка практических рекомендаций по оптимизации процесса уборки, составу уборочно-транспортного комплекса и новой технологии уборки и хранения зерна в полиэтиленовых рукавах;

2. Разработать рекомендации по внедрению цифровых сервисов для улучшения процесса сбора, транспортировки и хранения пшеницы в Ираке;

3. Мониторинг качества зерна и рекомендации по миксированию партий зерна при выгрузке из полиэтиленовых рукавов.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ:

1. Хуссейн Ибрагим Адил Хуссейн О состоянии производства пшеницы в условиях мелкоконтурного земледелия Республики Ирак/ Ибрагим Адил Хуссейн Хуссейн, Аль-Хаттаб Алшабеби, А.Г. Левшин. // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2024 – № 1. – С. 116-119.

2. Хуссейн, Х. И. А. Повышение эффективности сбора урожая и хранения на элеваторах с использованием бункера-перегрузчика / Х. И. А. Хуссейн, А. А. Н. Муса, А. А. Е. Махди // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 3. – С. 156-162. – DOI 10.36508/RSATU.2025.73.63.001.

3. Хуссейн Ибрагим Адил Хуссейн Повышение эффективности механизированной уборки пшеницы в условиях Ирака с применением полиэтиленовых рукавов / И.А.Х. Хуссейн, А.Г. Левшин, И.Н. Гаспарян // Агроинженерия. – 2025. – № 6. – С. 27-34.

Публикации в других изданиях:

4. Исследование влияния скорости воздушного потока, параметров работы решетного стана и цифровой модели зерна на процесс сепарации зернового материала в зерноочистительной машине / А. В. Бутовченко, О. С. Бабенко, И. А. Х. Хуссейн [и др.] // Актуальные проблемы науки и техники. 2022 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16-18 марта 2022 года / Отв. редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. – С. 793-794.

5. Альшинаийин, Х. Д. Д. Предварительная очистка зерна с помощью машины С.SAS-013 / Х. Д. Д. Альшинаийин, И. А. Х. Хуссейн, // Эколого-генетические основы селекции и возделывания сельскохозяйственных культур : материалы Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства, Краснодар, 24–27 мая 2022 года. – Краснодар: Издательство «ЭДВИ», 2022. – С. 29-32. – DOI 10.33775/conf-2022-29-32.

6. Хуссейн, И. А. Х. Использование и управление сельскохозяйственной техникой и специальным оборудованием на небольших сельскохозяйственных

землях / И. А. Х., Хуссейн, А. Г. Левшин // Научные исследования молодых ученых. Опора России. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 13-16.

7. Хуссейн, И. А. Х. Изучение производительности молотильной машины в процессе уборки урожая и возможности снижения потерь / И. А. Х. Хуссейн, А. Н. М. Алшабеби, А. А. У. Аль-Гайлани // Journal of Agriculture and Environment. – 2023. – № 1(29). – DOI 10.23649/jae.2023.1.39.001.

8. Процессы транспортировки и хранения во время уборки зерновых культур / И. А. Х. Хуссейн, А. Г. Левшин, Х. Д. Д. Альшинаин, Н. М. Алшабеби Аль -Хаттаб // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К. А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05-07 июня 2023 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2023. – С. 488-493.

9. Hussein, I. A. H. Studying the costs of transportation, storage and the loss of wheat crop during harvesting operations in Iraq / I. A. H. Hussein, A. G. Levshin, N. M. Alshabebi Al-Khattab // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К. А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05-07 июня 2023 года, 2023. – Р. 493-496.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность коллективу кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, в том числе, научному руководителю Левшину Александру Григорьевичу.