

На правах рукописи

АЛСАНКАРИ АХМАД

**ОПТИМАЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ТРАКТОРА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ  
НА БЛИЖНЕМ ВОСТОКЕ**

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

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

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: **Смирнов Игорь Геннадьевич**,  
доктор технических наук, главный научный  
сотрудник, заведующий отделом технологий и  
машин для садоводства, виноградарства и  
питомниководства ФГБНУ «Федеральный  
научный агроинженерный центр ВИМ»

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

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тверская государственная  
сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 19 сентября 2024 г. в 10:00 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](http://www.timacad.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Н. Н. Пуляев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Оптимизация эксплуатации сельскохозяйственного трактора заключается в обосновании оптимального соотношения мощности двигателя, ширины захвата и скорости агрегата. В качестве критериев эффективности используют трудозатраты, производительность, эксплуатационные и приведенные затраты. Проблема заключается в большом разнообразии природно-климатических условий и вероятностном характере величин, оценивающих свойства почвы, климатические характеристики и производственные условия, непосредственно влияющие на показатели эффективности.

Оптимальное использование мощности трактора в производственном процессе способствует увеличению и совершенствованию производства и снижению потерь. Посадка клубней и сбор урожая картофеля в хорошем количестве и качественном состоянии требует хорошо оборудованной подготовки почвы путем глубокой вспашки отвальными плугами с последующим рыхлением и выравниванием, чтобы подготовить поле к последующему въезду картофелесажалок. Эти операции являются важными компонентами энергии, потребляемой для получения урожая. Следовательно, необходимо повысить степень использования имеющихся возможностей за счет улучшения производительности сельскохозяйственного трактора, работая на полную мощность, которая обеспечивает максимальное тяговое усилие, рабочей ширины захвата и скорости, обеспечиваемой мощностью трактора в пределах научно допустимого буксования.

**Степень разработанности темы.** Большое количество российских и зарубежных ученых посвятили свое время и силы совершенствованию методов эксплуатации машинно-тракторного парка, выявлению и разработке эффективных методов оптимизации состава машинно-тракторных агрегатов и парка в целом. Основу теории заложили: Свирщевский С.Б., Киртбая Ю.К., Скороходов А.Н., Зангиев А.А., Шаров Н.М., Дидманидзе О.Н., Хабатов Р.Ш., Левшин А.Г., Финн Э.А., Табашников А.Т., Шевцов В.Г., Докин Б.Д., Еникеев В.Г., Барам Г.Е., Пильщиков Л.М., Al-Tahan Y. N., Abdullah, A. A. Al-Najjar, F. и др.

Тестовые испытания тягово-сцепных свойств трактора требуют значительного времени и специального оборудования, а также большого количества измерений. При этом ГОСТовские сравнительные испытания нормируют условия и режимы работы и не учитывают реальные силовые нагрузки (точки приложения, направление вектора сопротивления). Для эксплуатационных расчетов данные испытаний аппроксимируют различными эмпирическими зависимостями, имеющие разную точность. Для практических целей необходимо разработать более универсальную методику обработки экспериментальных данных для получения зависимости буксования от тягового. В связи с этим была предложена дифференциальная модель, повышающая точность и простоту в получении результатов сравнения.

По литературным данным в Российской Федерации для обоснования

оптимального состава МТА стремились загрузить на максимальную тяговую мощность трактора с целью снижения энергии затрат и повышения производительности. Такой подход был применен и к парку тракторов, развернутых на Ближнем Востоке.

**Объект исследования** – механизированные процессы возделывания картофеля в условиях Ближнего Востока.

**Предмет исследования** – методы моделирования и оптимизации параметров и режимов работы агрегатов для возделывания картофеля.

**Цель и задачи исследования.**

**Цель исследования** – обоснование оптимальных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов технологического комплекса машин для возделывания и уборки картофеля при агрегатировании с тракторами, производимыми в Сирийской Арабской Республики.

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

1. Выполнить обзор литературы, опубликованной в нескольких странах Ближнего Востока, в отношении типов почв и ее характеристик, парка тракторов, всех типов плугов и сельскохозяйственной техники, используемых при производстве сельскохозяйственной продукции;

2. Провести анализ методов описания взаимосвязи между буксованием колес и тяговым усилием трактора, обосновать методику оценки зависимости буксования при выполнении конкретных механизированных видов работ для ограниченного объема данных;

3. Обосновать оптимальное агрегатирование тракторов с комплексом машин для возделывания и уборки картофеля в условиях Сирии, нормы выработки и расхода топлива. Разработать рекомендации по машинам аналогам российского производства и технике, производимой странами на Ближнем Востоке. Для оценки достоверности сравнить методику расчета состава машинно-тракторных агрегатов, используемую в Российской Федерации, с методикой, рекомендуемой Американским обществом сельскохозяйственных инженеров и биологии (ASABE).

4. Сопоставить данные по твердости почвы в условиях Сирии и полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на основе пенетрометрических испытаний с использованием твердомеров идентичной конструкции со шкалой, нормированной по методике Шарова Н.М.

5. Выполнить технико-экономическую оценку предложенных рекомендаций.

**Научная новизна исследования** заключается в:

- обосновании оптимальной эксплуатации комплекса машин для возделывания картофеля на мелко контурных участках в условиях Ближнего Востока;

- обосновании дифференциальной модели буксования, позволяющей оценить зависимость буксования от силовой нагрузки при разных уровнях влажности почвы и глубины обработки по ограниченному объему экспериментальных данных;

- определении оптимальных параметров машинно-тракторных агрегатов для норм расхода топлива и производительности при работе трактора Фураг 470 с комплексом машин по Российской и американской (ASABE) методикам расчета оптимальных значений показателей;

- разработке рекомендаций по выбору машинно-технологического комплекса в соответствии с российской базой и техникой, производимой в странах Ближнего Востока для возделывания и уборки картофеля в соответствии с мощностью тракторов;

- методике сопоставления деформативных свойств почвы в Сирии и России на основе пенетрометрических испытаний с использованием твердомеров идентичной конструкции с нормированной шкалой твердости Шарова Н.М.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

**Теоретическая значимость работы** заключается в обосновании оптимальной эксплуатации комплекса машин для возделывания картофеля на мелко контурных участках в условиях Ближнего Востока; дифференциальной модели буксования, позволяющей оценить зависимость буксования от силовой нагрузки при разных уровнях влажности почвы и глубины обработки по ограниченному объему экспериментальных данных; методике сопоставления деформативных свойств почвы в Сирии и России на основе пенетрометрических испытаний с использованием твердомеров идентичной конструкции.

**Практическая значимость** исследования заключается в рекомендациях по технологическому комплексу для возделывания картофеля в условиях Сирии, разработанных на основе обобщения российского опыта в области эффективной эксплуатации тракторов. Для агрегатов на базе трактора типа Фураг 470 обоснованы нормы расхода топлива и производительности, рациональные способы движения агрегатов в полевых условиях, что сокращает холостой ход и снижает расход топлива.

Методика аппроксимации зависимости буксования от тяговой нагрузки в виде дифференциальной модели позволяет оценить буксование при выполнении механизированных работ по ограниченному объему.

Передача российского научного опыта Университету Алеппо в Сирии и использование его при обучении студентов позволит повысить качество подготовки. Предоставление рекомендаций фермерам по сельскому хозяйству в области оптимальной загрузки тракторов и повышения производительности позволит повысить эффективность сельского хозяйства в Сирии.

### **Методология и методы научного исследования.**

**Методология** включает использование принятой в России методики оптимизации машинно-тракторных агрегатов и методики, рекомендуемой американским обществом ASABE применительно к условиям стран Ближнего Востока; использование общепринятых методов статистического анализа; проведение лабораторно-полевых опытов для определения плотности и твердости почвы; проведение хронометражных наблюдений по ГОСТ 24055-2016 для определения производительности и расхода топлива для базовых агрегатов.

**Методы исследований:** системный анализ, статистическая оценка данных по показателям условий работы, природно-климатическим характеристикам, хронометражные наблюдения за работой основных агрегатов; анализ эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов на базе трактора Фурат 470.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты литературного обзора публикаций по типам почв и ее характеристикам, парку тракторов, по сельскохозяйственной технике, используемой при производстве сельскохозяйственной продукции;

- методика дифференциальной модели аппроксимации взаимосвязи между буксованием и тяговым усилием при проведении обработки почвы и посадке картофеля, апробированная на основе результатов производственных испытаний трех моделей картофелесажалок на разной глубине и влажности почвы;

- результаты расчета оптимальных рабочих скоростей, ширины захвата, расхода топлива и производительности, а также выбранные способы движения агрегатов для комплекса машин на базе трактора Фурат 470 при возделывании картофеля;

- методика сопоставления деформативных свойств почвы на Ближнем Востоке и полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на основе пениметрических испытаний с использованием твердомеров идентичной конструкции со шкалой, нормированной по методике Шарова Н.М.

**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 Excel и Mathcad; идентичностью полученных рекомендаций по составу машинно-тракторных агрегатов, полученных по Российской методике и американской методике ассоциации ASABE.

По результатам исследования опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 в изданиях ВАК общим объемом 2,25 п.л., авторский вклад 84,89 %.

Соискатель принял непосредственное участие в подготовке демонстрационных материалов по Тимирязевской академии в проекте «Открываем ведущие российские вузы в Русском Доме в Бейруте».

**Апробация результатов исследований.**

Результаты исследований доложены на следующих конференциях: Семинар «Чтения академика В. Н. Болтинского (Москва, 24 января 2020); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию В.А. Михельсона (Москва, 9-11 Июня 2020); Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, посвящённой 155-летию (Москва, 2-4 декабря 2020); Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова (Москва, 7-9 июня 2021); Московская международная межвузовская

научно-техническая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения Великой Отечественной Войны, (Москва, 2023); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича (Москва, 3-5 июня 2024).

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 206 страниц, имеется 55 рисунков, 72 таблицы, список литературы из 174 наименований российских и зарубежных исследователей и 6 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** проведен анализ урожайности и производства картофеля во всем мире и в арабском мире, также рассмотрены сезоны выращивания картофеля, объемы производства, посевные площади в Сирии и климатические условия. Также были проанализированы типы почв, климат и пахотные площади Сирии, технологические процессы, используемые при выращивании и уборке картофеля в странах Ближнего Востока.

Кроме того, был проанализирован парк машин и тракторов. Также были проанализированы эксплуатационные показатели сельскохозяйственного трактора, в том числе скорость, глубина обработки, ширина захвата, производительность, расход топлива, буксование и сопротивление машины. Также были проанализированы физико-механические свойства почвы в Сирии, средние плотности во всех стабильности составляют  $1,3 \text{ г/см}^3$ , определение плотности, которая оказывает наибольшее влияние на зону размножения клубней картофеля, а также проанализировано сопротивление почвы проникновению на основе деформационных свойств почвы до и после операций по подготовке почвы различными плугами и оборудованием в зависимости от глубины обработки и скорости работы агрегата.

**Во второй главе** описываются экспериментальная установка, методика проведения исследований, используемые оборудование и измерительные приборы.

Проанализированы методы Н.М. Шарова и А.Г. Левшина для оценки деформационных свойств почвы. Для всех подобных состояний определяется значение произвольного напряжения  $H$ , которое выражает первую стадию погружения круглого конца плунжера в грунт и выражается соотношением

$$H = \frac{tg \gamma * \mu}{d}, \quad (1)$$

где:  $\gamma$  – угол наклона  $\gamma$  линии от горизонта ( $^\circ$ );  $\mu$  – жесткость пружины ( $100H/\text{см}$ );  $d$  – диаметр наконечника ( $d = 2 \text{ см}$ ).

Твердость почвы измерялась с помощью пенетрометра DICKEY-john с коническим наконечником диаметром 1,905 см. Измерения проводились во второй и третьей зонах климатической стабильности в сотрудничестве с кафедрой сельской инженерии Университета Алеппо в Сирии в сочетании с измерениями пентрометра Eijkelkamp с площадью конуса  $0,99 \text{ см}^2$ , при диаметре 1,596 см, до и после проведения операций по подготовке почвы с использованием дискового, чизельного, лемешного плугов и глубокорыхлителя.

Также на поле, ранее засаженном картофелем, в РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева в лаборатории кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка были проведены измерения плотности с использованием цилиндра плотности и измерения твердости с использованием того же пенетрометра Spot On диаметром 1,28 см и круглой шкалой диаметром 2 см, твердомера Ю.Ю. Ревякина, с целью сравнения деформационных характеристик грунтов между Сирией и Россией.

Использованы математические методы моделирования машинно-тракторных агрегатов, разработанные Зангиевым А. А. и Скороходовым А. Н применительно к условиям Сирии. За базовую модель принят самый распространенный трактор в Сирии – Фурат 470 (Ибро) мощностью 51,75 кВт (70 л.с). Расчеты проведены применительно к комплексу машин. В дополнение ко многим другим плугам, распространенным на Ближнем Востоке в расчетах определялись следующие оптимальные показатели: сила тяги трактора, рабочая скорость агрегата  $V_o$  (м/с), сопротивление  $R_a$  агрегата (кН, для тягово-приводных машин приведенное сопротивление), оптимальная ширина захвата агрегата  $B_{p0}$ , удельные энергозатраты в расчете на единицу площади выполненной работы  $E_m$  (кДж/м<sup>2</sup>), производительность агрегата  $W$  (га/ч), расход топлива  $\theta$  (кг/га). Буксование в зависимости от тягового усилия трактора в эксплуатационных и рабочих условиях:

$$\varphi = \frac{F_t}{G \cdot \lambda},$$

где:  $G$  – сцепной вес трактора (кг);  $\lambda$  – константа, его значения равно 1 для тракторов с колесной формулой 4x4 и 0,75 – для тракторов 4x2;  $\varphi$  – коэффициент использования тягового усилия трактора.

$$\frac{d\delta}{d\varphi} = b\delta, \delta = ae^{b(\varphi-\varphi_0)}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты;  $\varphi_0 = 0$ .

Чтобы оценить полученные показания, они были сопоставлены с результатами расчета по стандарту Американского общества инженеров сельского хозяйства и биотехнологии (ASABE Standard) для определения оптимальных значений параметров машин при эксплуатации сельскохозяйственного трактора.

**В третьей главе** Методика экспериментального определения показателей твердости и сопоставление с данными пенетрометрических испытаний,



Твердость также измерялась в Сирии в зонах климатической стабильности II и III на глинистых почвах с помощью пенетрометра американского производства с конусным наконечником типа DISKEY-john.



Рисунок 1 – Географическое положение и места отбора проб

На одном из полей полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева площадью около 1,4 га были проведены измерения плотности и твердости почвы по диагонали (рисунок 1).

**Пробоотборник** для определения плотности почвы состоит из корпуса цилиндра диаметром 7,7 см, разделенного на 3 секции длиной 5 см; общая длина составляет 22,3 см.



Рисунок 2 – Отбор проб с помощью цилиндра плотности

Пробы брались в 6 повторностях. Каждая проба взвешивалась в лаборатории на электронных весах, как показано на рисунке 2.

Плотность почвы  $\rho_b$ , г/см<sup>3</sup> рассчитывается по соотношению:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t}, \quad (3)$$

$$V_t = \frac{\pi d^2}{4} * l, \quad (4)$$

где:  $m_s$  – масса цилиндра, г;  $V_t$  – объем цилиндра, см<sup>3</sup>;  $d$  – диаметр цилиндра, см.;  $l$  – высота цилиндра, см.

**Твердость почвы** – измеряли **пенетрометром Spot On** на глубине от 5 до 30 см, количеством измерений 25 для каждой глубины в точках, расположенных по диагонали поля. Был проведен статистический анализ для каждой глубины от 5...30 см. Были рассчитаны для каждой глубины значения: среднего арифметического, дисперсии и стандартного отклонения. Была проведена проверка на наличие грубых ошибок. оценка случайности и достаточности выборки и проверка гипотезы о подчиненности нормальному закону распределения и спектральный анализ по 10 гармоникам. Расчеты выполнялись с помощью Mathcad и MS-Excel.

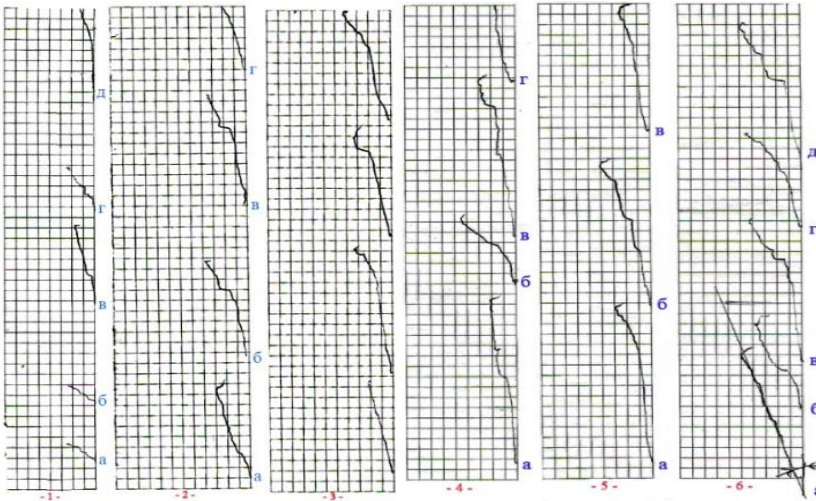


Рисунок 3 – Твердограмма на глубине 5 см для круглого плоского плунжера (25 измерений)

Экспериментальная оценка тягово-сцепных свойств трактора при выполнении работ затруднительна, поэтому разработка методики экспресс-анализа буксования является важной прикладной задачей. Для описания зависимости буксования от тягового усилия в процессе работы аппроксимировали дифференциальным уравнением:

$$\frac{d\delta}{d\varphi} = b\delta \quad ; \quad \delta = ae^{b(\varphi-\varphi_0)}, \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты;  $\varphi_0 = 0$ .

Эмпирические коэффициенты определяем по методу наименьших квадратов. Для этого линеаризуем зависимость (5) прологорифмировав ее  $\ln\delta = \ln a + b(\varphi - \varphi_0)$  и представим ее в линейном виде  $Y = a^1 + bx$ .

Математическая модель буксования проверялась по данным тяговых испытаний по ГОСТ-7057. На нормированных почвенных фонах и горизонтальном направлении вектора тягового усилия, что существенно отличается от производственных испытаний.

Затем определяли возможность применения дифференциальной модели для оценки буксования при выполнении машинно-тракторным агрегатом полевых работ по выборкам небольшого объема. Исследование чизельного агрегата проводилось в Ираке на участке земли, который не обрабатывался в предыдущем сезоне; тип почвы – суглинок. Агрегат – в составе трактора New Holland S8000 (мощностью 82 л.с., массой 3080 кг) с чизельным плугом шириной захвата 2160 мм, производство Государственного машиностроительного завода (Ирак). Передние шины – 18.4-30, задние – 12.4-24. Опыты проводились для трех уровней влажности почвы: 11...13; 14...16; 17...19%. Вторым фактором в исследованиях была глубина обработки почвы на трех уровнях, см: 12...15; 17...20; 22...25.

Тесноту нелинейной связи случайных величин оценим индексом корреляции  $r_{xy}$ , а оценку статистической значимости уравнения проверим по критерию Фишера. Фактическое значение статистики Фишера равно

Твердость почвы определяли твердомером Ю.Ю. Ревякина с круглым плоским плунжером, конец диаметром 2 см. Твердограммы для разных точек по диагонали поля приведены на рисунке 3. На твердограммах с помощью транспортира измеряли угол наклона  $\gamma$  линии от горизонта.

отношению удельных (рассчитанных на одну степень свободы) факторной и остаточной дисперсий.

Полученные данные о буксовании в зависимости от тягового усилия для трех механических картофелесажалок  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$ , и диапазона скорости движения от 3 до 7 км/час, ширина захвата 140, 150 и 180 см, и глубины посадки (3, 5 и 7 см), соответственно. Дифференциальная модель была обобщена для этих картофелесажалок на ограниченных данных по коэффициенту буксования и тяговому усилию.

Предложены и проанализированы способы движения агрегатов в поле, а также использован российский опыт выбора подходящего типа технологического процесса при подготовке почвы и посадке картофеля. Приведены методы расчета, применяемые для каждого способа движения.

Также проводились полевые хронометражные наблюдения по ГОСТ 24055 в третьей зоне стабильности в Сирии в течение четырех рабочих дней с использованием агрегата (трактор Фурат 470 + дисковый плуг 90 см и культиватор шириной захвата 210 см, 6 лап и культиватор шириной захвата 225 см, 7 лап) с целью определения фактической производительности, коэффициента использования сменного времени и фактического расхода топлива.

Соответствующий поправочный коэффициент был проанализирован после проведения анализа характера сельскохозяйственных полей в Сирии и представления справочных поправочных коэффициентов, к которым пришли россияне для внедрения их в учебные программы в Сирии.

**В четвертой главе** измерения твердости анализировались с использованием разных плугов при разной глубине обработки, разных скоростях и разной глубине измерения. Также было проведено сравнение средних значений твердости для одного и того же типа почвы в Сирии, Ираке и России.

Результаты статистических расчетов для глубин от 5 до 30 см для пенетрометра и твердомера Ю.Ю. Ревякина (полевая станция РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева), так как на всех глубинах мы не обнаружили грубых ошибок, мы принимаем случайность выборки и то, что случайная величина подчиняется законам нормального распределения. Приводится анализ результатов исследований. На графике показаны средние значения твердости,  $\text{КН/м}^2$ , перед обработкой почвы.

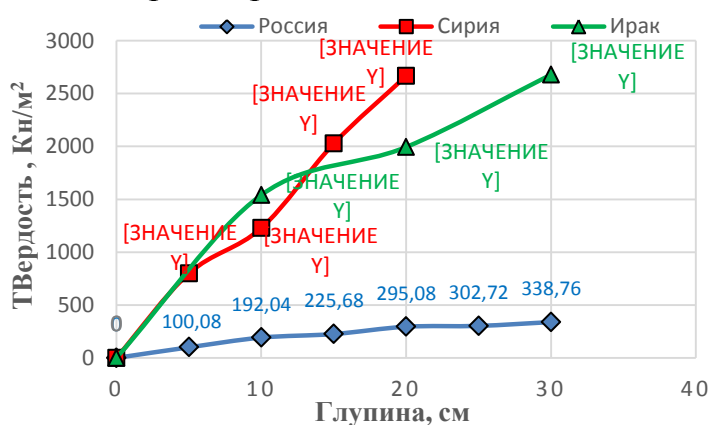


Рисунок 4 – Сравнение твердости,  $\text{КН/м}^2$ , как в России, так и на Ближнем Востоке

На графике (рисунок 4) мы отмечаем сходимость средних значений по Сирии и Ираку, со значительной разницей по сравнению со значениями по России, из-за использования в обеих странах конусообразной головки большего диаметра, чем диаметр, используемый в России, в дополнение к влиянию влажности, которая больше в России.

Среднее значение твердости на глубину 5 см при использовании твердомера Ю.Ю. Ревякина составило 179,5 кН/м. Путем проведения анализа значений, полученных обоими приборами, расчетов и сравнения был получен поправочный коэффициент, связывающий значения двух приборов в виде фрагмента шкалы твердости, представленной на рисунке 5, с помощью которого деформационные характеристики сирийского грунта можно получить по плунжера с круглым концом на глубину 5 см.

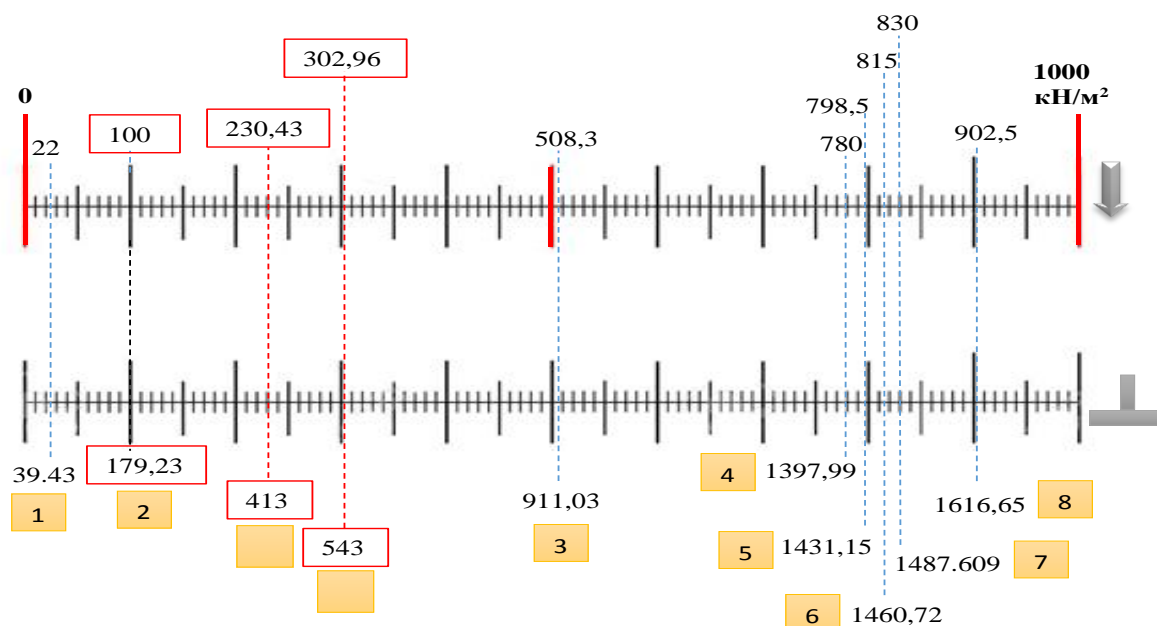
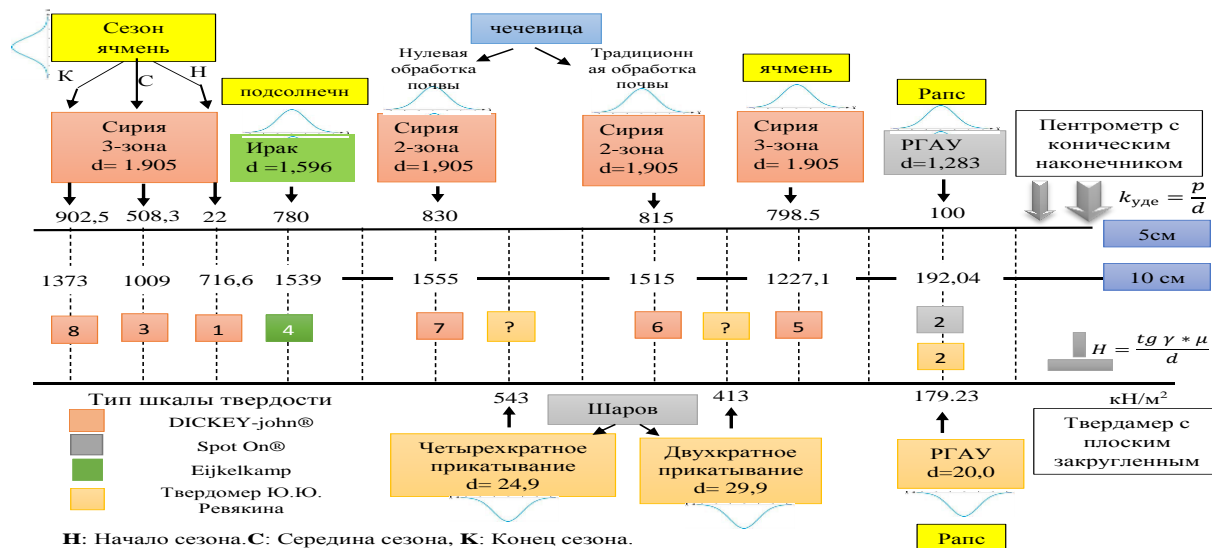


Рисунок 5 – Фрагмент шкалы твердости в соответствии с поправочным коэффициентом

Поэтому метод Шарова может быть применен и внедрен в Сирии как новый метод изучения деформационных свойств грунтов, помимо возможности получения значений твердости по поправочному коэффициенту.

Результаты проверки экспресс-оценки тяговых характеристик трактора New Holland с чизельным плугом по обобщенной дифференциальной модели показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Статистическая обработка опытных данных

Влажность почвы, %	Эмпирические коэффициенты		Дисперсия адекватности, $S_{ag}^2$	Индекс корреляции, $P_{xy}$	Расчетное значение критерия Фишера, $F_{ЭМП}$
	$a$	$b$			
Для чизельного агрегата					
11...13	3,162	2,372	0,117	0,999	999
14...16	2,088	3,649	0,637	0,976	40,4
17...19	3,373	2,911	0,827	0,885	7,673
Для тяговых испытаний					
19,0	0,571	5,675	0,844	0,977	467,261

Сравнение дисперсий адекватности для испытаний чизельного агрегата в сравнение с данными для тяговых испытаний по критерию Фишера приведено в таблице 1. Критическое значение критерия Фишера  $F_{KP} = 4,844$  при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы  $K_2 = 11$  и  $K_1 = 1$ .

Значения дисперсий при влажности почвы 14...16 % и 17...19 % - однородны (имеют сопоставимую вариацию), а для влажности 11...13 % дисперсии существенно отличаются, что можно объяснить более устойчивым взаимодействием колеса с почвой (выше твердость и меньше буксование). Следует отметить, что при увеличении влажности дисперсия адекватности увеличивается, что говорит об увеличении вариации значений буксования. При средней влажности 14...16 % динамика приращения буксования при увеличении коэффициента использования тягового усилия выше по сравнению с данными для менее влажной и более влажной почвы (рисунок б).

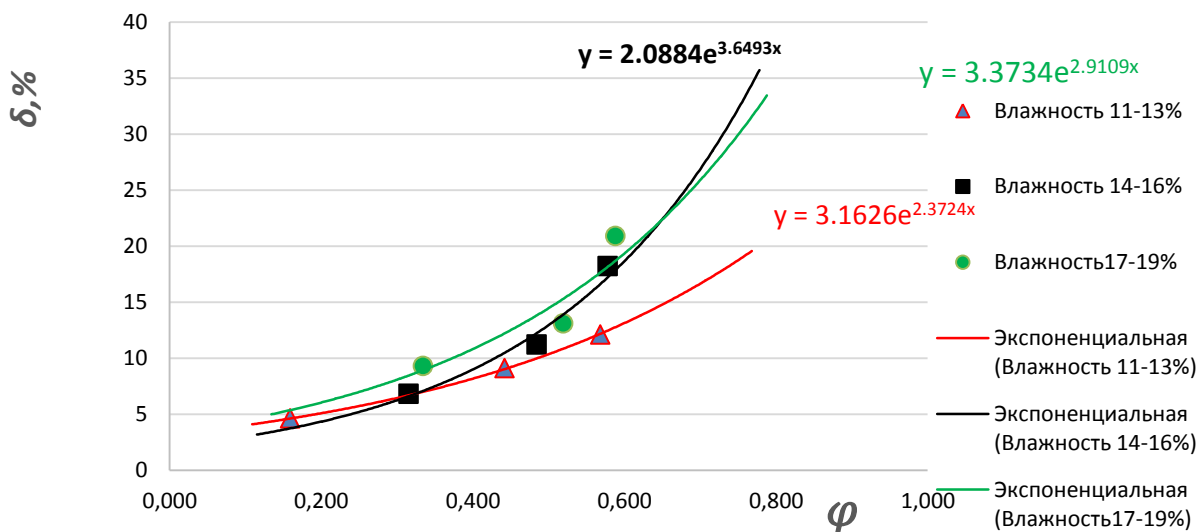


Рисунок б – Схема взаимосвязь между буксованием и тяговым усилием при разных уровнях влажности

На диаграмме (рисунок б) показано совпадение значений буксования при трех уровнях влажности 12, 15, 19 % и совместимость этих значений с тяговым усилием, что подтверждает надежность дифференциальной модели и сокращает время и усилия по сравнению с испытаниями на сцепление. Используя модель,

получили значения дисперсии на трех уровнях влажности 0,117, 0,637, 0,828 соответственно.

В таблице 2 показаны результаты использования обобщенной дифференциальной модели на ограниченных данных о буксовании и тяговом усилии для трех различных картофелесажалок  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , развернутых в странах Ближнего Востока на глубине (3...5...7) см соответственно.

Таблица 2 – Значения дисперсии для картофелесажалок

Картофеле-сажалка	Глубина	$a$	$b$	$S_{ag}^2$	$P_{xy}$	$F_{ЭМП}$
$M_1$	3	0,25	3,55	0,017	0,988	2994
	5	0,13	4,75	0,574	0,980	294
	7	0,59	3,58	0,520	0,993	851,143
$M_2$	3	0,17	4,13	0,865	0,962	147,846
	5	0,45	3,58	0,053	0,991	660.6
	7	1,02	2,99	0,670	0,992	744
$M_3$	3	0,39	3,02	0,667	0,964	160,6
	5	3,12	2,69	0,900	0,976	244
	7	4,33	2,83	0,628	0,991	550,5

Были определены эмпирические коэффициенты трех картофелесажалок, что позволяет определить взаимосвязь между буксованием и тяговым усилием, поскольку из таблицы 2 отмечено, что значения дисперсии не превышали 0,99.

Результаты хронометражных наблюдений, проведенных в третьем районе стабильности, показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные хронометражные наблюдений

Показатель	Сплошная культивация			Дисковый плуг		Сплошная культивация	Дисковый плуг
	500*120	250*80	200*125	315,5*112			
Площадь, м						337*89	
$V_p$ , км/ч	8	8	8	6		7	6
$B_p$ , см	210			90		225	90
$B_y$ , м	120	80	125	112		89	89
$n_{\text{прох}}$ , ш	57	38	60	125		40	99
$T_{\text{ХПР}}$ , час	0,79	0,53	0,93	2,22		0,53	1,93
$T_{\text{Тех.от}}$ , час	0,20	0,07	0,03	0,17	0,25	0,10	0,15
$T_{\text{ОТД}}$ , час	0,22	0,10	0,05	0,26	0,33	0,23	0,42
$T_{\text{ЧЕЛ-Ф}}$ , час	0,25	0,05	0,03	0,16	0,27	0,12	0,28
$T_{\text{КОН}}$ , час	0,12	0,07	0,05	0,10	0,15	0,08	0,18
$T_{\text{заб-р}}$ , час	0,23	0,06	0,04	0,12	0,20	0,15	0,23
$T_o$ , час	3,11	0,62	0,94	3,27	4,47	1,78	3,98
$T_{\text{СМ}}$ , час	10,5			11,22		4,17	8,25
$k_{\text{СМ}}$	0,44			0,49		0,43	0,48
$W_o$ , га/ч	1,68			0,54		1,57	0,54
$W_{\text{СМ}}$ , га/ч	0,74			0,27		0,67	0,26
$\theta$ , л/га	6,5			15		8	18

Из таблицы 3 отметим, что производительность дискового плуга колебалась в пределах 0,26...0,27 га/ч при норме расхода топлива 15...18 л/га, а значение коэффициента использования времени смены колебалось в пределах

0,48...0,49. Что касается сплошной обработки почвы, то производительность колебалась в пределах 0,67...0,74 га/ч при норме расхода топлива 6,5...8 л/га, а значение коэффициента использования рабочего времени колебалось в пределах 0,43...0,44. Причину снижения  $k_{см}$  по сравнению с Россией можно объяснить малыми пространствами, которые приводят к увеличению потерь в рабочем ходе по сравнению с Россией.

Наиболее распространенные площади полей были определены для 20 образцов после анализа 150 образцов на основе программы Google Earth и выборки географической съемки, определенных Центральным бюро статистики Сирии, которые колебались в пределах 0,1...6 га и процентного содержания каждого. Также была определена длина гона, рассчитаны оптимальные теоретические и практические скорости и энеггонасыщенность наиболее распространенных на Ближнем Востоке тракторов, и ресурсосберегающие потребные мощности и оптимальные тяговые усилия.

Рассчитаны эксплуатационные показатели в разных условиях и на разных скоростях, применяемых в Сирии и Ираке для наиболее распространенных плугов, а результаты расчетов сопоставлены с применяемыми оптимальными скоростями, рекомендованными в России, включая оптимальную ширину захвата и количество корпусов, а также расчет всех технологических процессов от посадки картофеля до уборки урожая. Определена оптимальная ширина для каждого из них и предложены комплексы машин для каждой операции по российскому правилу, которые можно завезти в Сирию с подбором соответствующего типа трактора, чтобы добиться оптимальной эксплуатации трактора за счет оптимального использования мощности с учетом снижения расхода топлива. На основании результатов эксплуатационных показателей был предложен машинный комплекс для посадки и уборки картофеля (таблица 4), совместимый с тяговой мощностью тракторов, имеющих на Ближнем Востоке, и обоснован машинный комплекс для посадки и уборки картофеля в Сирии.

Таблица 4 – Результаты обоснования машинного комплекса для посадки и уборки картофеля в Сирии

Вид операции	Трактор	$W$ , га/час	$\theta$ , кг/га	$F$ , га/сут	D(час)-10га
Вспашка легких почв	Фурат 470- 684-E New Holland TT75 Foton 704	0,348	27,42	2,784	3,5(28,7)
Вспашка средних почв	684-E	0,378	25,33	3,024	3,3(26,5)
Вспашка тяжелых почв		0,403	23,70	3,224	3,1(24,8)
Борона зубовая	Mahendra MDI BENYE 224 MF-240.s Universal 445	0,686	12,949	5,488	1,82(14,58)
Катки дисковые		1,573	7,386	12,584	0,79(6,36)
Сплошная культивация		1,48	7,78	11,84	0,85(6,76)
Посадки картофеля		0,20	25,81	1,6	6,25(50)
Культивация междурядная		0,971	9,725	7,768	1,29(10,3)
Уборка картофеля	Фурат 470- 684-E New Holland TT75 Foton 704	0,27	27,379	2,16	4,63(37)

С целью повышения производительности и снижения расхода топлива и потерь времени, рассчитали средний радиус поворота  $R$  и длину выезда агрегата  $e$ , а также рациональную ширину поворотной полосы агрегата  $E$  (Фурат 470 + лемешный, чизельный и дисковый плуг), количество проходов  $n$  лемешного плуга для всех способов движения всвал и вразвал, которые были определены в соответствии с шириной полей, разбросанных по Сирии где количество проходов  $n$  определено в соответствии со средним значением оптимальной ширины загона по минимуму длины холостого хода  $C_{SOP}$ , которое составило в среднем 11,13.

В таблице 5 приведены эксплуатационные показатели, рассчитанные по российской методике (РФ) для процесса вспашки почвы лемешным плугом, демонтированным культиватором и картофелесажалкой с чашками, которая широко распространена в большинстве арабских стран в дополнение к картофелекопалке, а также оптимальные показатели, рассчитанные в (ASABE Standard).

Таблица 5 – Расчетные данные по данным РФ и по данным (ASABE)

Показатель	Лемешный плуг		Рыхлитель, культиватор-пропольщик		Картофелесажалка с чашками		Картофелекопалка	
	РФ	ASABE	РФ	ASABE	РФ	ASABE	РФ	ASABE
$D_I$ , кН	14,68	14,03	4,62	4,10	7,42	8,83	15,40	16,24
$V_p$ , м/с	2,22	2,08	2,5	2,22	1,4	1,53	1,40	1,25
$B_p$ , м	1,05	1,09	3,31	3,73	2,06	1,73	1,26	1,21
$V_{co}$ , л/га	19,7	20,69	8,12	6,76	12,9	13,25	29,73	31,35
Е.Ф.С, га/час	0,61	0,54	1,46	1,45	0,4	0,5	0,27	0,23
$P$ , кВт	46,57	46,90	40,43	39,20	15,24	16,65	47,31	49,89
$OAEC$ , кДж/м <sup>2</sup>	23,31	20,55	7,70	7,47	9,07	9,91	24,14	25,46

Заметим из таблицы 5, что значения сопротивления машины  $D_I$ , для лемешного плуга при РФ были на 4,6 % выше, чем сопротивления машины при ASABE, и это показывает коэффициент эксплуатации  $COI$ , достигший значения 104,6 %. Величина потерь  $L$  также достигла увеличения на 0,65 Кн по РФ по сравнению с ASABE.

Из недостатков американского метода показано, что сопротивление, рабочая ширина и расход топлива определяются в зависимости от сельскохозяйственной техники, т.е. конкретных привязок к параметрам трактора не наблюдается, в то время как в российском методе расчет представлен исходя из составу агрегата.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Аналитические исследования показали, что в Сирийской Арабской Республике земли сельскохозяйственного назначения составляют около десяти групп почв. Наиболее благоприятные для возделывания картофеля – серо-коричневые и коричневые. Наиболее важной характеристикой сирийской почвы



является то, что она считается бедной питательными веществами, особенно азотом, фосфором и гумусом. По агроклиматическим условиям выделены пять зон стабильности. Картофель возделывается преимущественно во второй и третьей зоне стабильности. Они характерны устойчивым климатом, умеренным количеством осадков 250...350 мм.

2. Машинообеспеченность машинно-тракторного парка в республике составляет на 1000 га пашни соответственно для тракторов 18,1 ед. и зерноуборочных комбайнов – 1 ед. Вооруженность труда сельского населения на 1000 чел составляет: для тракторов 22,5 шт., (в развитых странах более 130 тракторов) и комбайнов – 1,2 шт. Анализ технологических процессов выращивания и уборки картофеля на Ближнем Востоке имеет свои особенности. Для основной и предпосадочной обработки используются лемешные, дисковые и чизельные плуги и культиваторы для сплошной обработки. Операции по уборке картофеля частично механизированы. На полях малой площади все операции выполняются вручную. Для развития механизированного картофелеводства целесообразно использовать современный российский опыт в том числе и по финансовой поддержке сельского хозяйства.

3. Проверка дифференциальной модели буксования осуществлялась в обобщенных координатах при выполнении механизированных работ на почвах разных уровней влажности. Дисперсия адекватности для дифференциальной модели не превышала 0,117 при влажности 12 %, 0,637 при 15 % и 0,827 при 19 %. Формализация зависимости в виде дифференциального уравнения позволяет определить искомую зависимость по ограниченному объему данных. Сравнение дисперсий адекватности для испытаний чизельного агрегата в сравнении с данными для тяговых испытаний по критерию Фишера. Критическое значение критерия Фишера  $F_{KP} = 4,844$  при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы  $K_2 = 11$  и  $K_1 = 1$ .

4. Обоснованы оптимальные параметры: рабочие скорости, ширина захвата, расход топлива и производительность для машинно-тракторных агрегатов на базе тракторов Фурат 470 для различных условий. Предложены рекомендации по использованию новейших машин-аналогов для подготовки почвы, посадки, уходу и уборки картофеля, которые соответствуют оптимальной мощности тракторов, широко используемые в странах Ближнего Востока. Обоснованы способы движения и нормы расхода топлива на основные операции в зависимости от длины гона. Расчетные значения согласуются с данными хронометражных наблюдений.

5. Определены теоретическая и практическая производительность, коэффициент использования рабочего времени и расход топлива на небольших участках, расположенных в Сирии. Производительность дискового плуга колебалась в пределах 0,26...0,27 га/ч при норме расхода топлива 15...18 л/га, а значение коэффициента использования времени смены колебалось в пределах 0,48...0,49, что касается сплошной обработки почвы, то производительность колебалась в пределах 0,67...0,74 га/ч при норме расхода топлива 6,5...8 л/га, а

значение коэффициента использования рабочего времени колебалось в пределах 0,43...0,44. Причину снижения  $k_{см}$  по сравнению с Россией можно объяснить малыми пространствами, которые приводят к увеличению потерь в рабочем ходе по сравнению с Россией.

6. Для оценки достоверности рекомендаций по оптимальной эксплуатации трактора Фураг 470, который составляет около 76 % от общего числа тракторов Сирии, провели сравнение российской методики расчета состава машинно-тракторных агрегатов с методикой, рекомендуемой ассоциацией аграрных инженеров и биотехнологий (ASABE). Анализ результатов показал сходимость результатов. Из недостатков американского метода показано, что сопротивление, рабочая ширина и расход топлива определяются в зависимости от сельскохозяйственной техники, т.е. конкретных привязок к параметрам трактора не наблюдается, в то время как в российской методике расчет представлен исходя из состава агрегата.

7. При проведении расчетов отмечено, что скорости, используемые в Сирии, низкие и обуславливают низкую производительность. Исследованием было отмечено, что при увеличении скорости лемешного плуга с 0,64 м/с, применяемых в Сирии, до 2,2 м/с, оптимальная ширина захвата увеличится до 1,05 м и производительность возрастет на 0,43 га/час.

8. Плотность почвы в Сирии для горизонта 0...30 см составляет 1,20...1,37 г/см<sup>3</sup>, в Ираке – 1,27...1,50 г/см<sup>3</sup>, а в России (полевая станция РГАУ, фон – рапс) находится в пределах 1,35...1,76 г/см<sup>3</sup>. Для замера твердости использовали пенетрометры: DICKEY-john (Сирия), диаметр конуса 1,905 см, Eijkelkamp (Ирак), диаметр конуса 1,596 см и Spot On (Россия), диаметр – 1,28 см. Для горизонта 0...5 см получены значения твердости: Сирия – 798 кН/см<sup>2</sup>; Ирак – 780 кН/см<sup>2</sup> и Россия – 100 кН/см<sup>2</sup>. Твердость по Шкале Шарова Н. М. в среднем 179,23 кН/см<sup>2</sup>. Для приведения твердости почвы к нормированной шкале твердости данные пенетрометрических измерений умножаем на масштабный поправочный коэффициент  $H = 1,792 \cdot P$ .

9. Оптимизация параметров пахотного агрегата позволит повысить производительность с 0,18 га/ч до 0,61 га/ч и снизить расход топлива до 16,65 кг/га. Энергетические возможности трактора Фураг 470 позволяет работать с 4-х рядной сажалкой. Внедрение нового 4-х рядного комплекса позволит увеличить производительность на посадке и междурядной обработке культиватором-окучником в 2 раза. Применение 4-х рядных сажалок вместо 2-х рядного повысит производительность до 0,418 га/ч и снизить расход топлива до 12,35 кг/га. Применение 4-х рядного окучника вместо 2-х рядного повысит производительность до 1,526 га/ч и снизит расход топлива до 6,188 кг/га. Применение 2-х рядного копателя вместо 1 рядного повысит производительность до 0,27 га/ч и снизит расход топлива до 13,69 кг/га. Внедрение оптимального комплекса позволит снизить энергоёмкость продукции до 7 кг/т.

#### НАПРАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поощрение фермеров владеть всем комплексом машин для посадки и уборки картофеля, поскольку государство должно предоставлять кредиты и

средства для поддержки сельского хозяйства, которое считается основным источником дохода в Сирии, а также обучать фермеров и трактористов и обучать их основам оптимального использования трактора. Рассмотреть вопрос коллективного использования технического потенциала. Необходимость такого решения диктуется сроками выполнения производственных процессов.

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

*Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки*

*РФ:*

1. Левшин, А. Г. Методика экспресс-анализа буксования на эксплуатационных режимах работы трактора / А. Г. Левшин, И. Н. Гаспарян, А. Алсанкари // *Агроинженерия*. – 2022. – Т. 24. – №. 4. – С. 32-36.

2. Левшин, А. Г. Сравнительный анализ методики ASABE для обоснования комплекса машин при возделывании картофеля / А. Г. Левшин, И. Н. Гаспарян, А. Алсанкари // *Международный технический журнал*. – 2024. – № 2 (89). С. 7-14.

*Публикации в других изданиях:*

3. Левшин А. Г. Проверка методики экспресс-анализа буксования / А. Г. Левшин, А. Алсанкари // *Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов*. – 2021. – С. 164-168.

4. Левшин А. Г. Анализ почвенных условий при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Сирии / А. Г. Левшин, А. Алсанкари // *Доклады ТСХА*. – 2021. – С. 217-219.

5. Alsankari Ahmad. An analytical study of the reality of planting and harvesting potatoes in the Syrian Arab Republic / A. Alsankari // *Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию В.А. Михельсона: сборник статей*. – 2020. – Т. 1. – С. 401-404.

6. Левшин, А. Г. Анализ использования машинно-тракторного парка в Республике Сирия / А. Г. Левшин, А. Алсанкари // *Чтения академика В. Н. Болтинского*. – 2020. – С. 253-258.

7. Левшин, А. Г. / Анализ и сравнение деформационных свойств почвы Ближнего Востока и России / А. Г. Левшин, А. Алсанкари // *Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича*. – 2024.