

На правах рукописи

НУРАЛИН Бекет Нургалиевич

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАНЕНИЯ
И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА**

05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Оренбург – 2011

Работа выполнена на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» и в Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете.

Научный консультант	доктор технических наук, профессор Константинов Михаил Маерович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Путрин Александр Сергеевич; доктор технических наук, профессор Капов Султан Нануович; доктор технических наук, профессор Гайфуллин Гаяз Закирович
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится «___» _____ 2011 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.220.051.02 в ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, 4, корпус технического факультета, ауд. № 500.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», с авторефератом – на сайте Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Минобрнауки России: www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Шахов В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Правительство Республики Казахстан (РК) обозначило основные направления развития аграрного сектора, отраженные в приоритетных национальных проектах, предусматривающие повышение эффективности производства зерна. В засушливой степной зоне Западного Казахстана с 90-х гг. объем производства зерновых упал ниже потенциально возможного уровня в 2,5...4 раза. Для удовлетворения потребностей государства в зерне необходимо довести его урожайность до 15...20 и более центнеров с гектара.

Распространенная в регионе система обработки почвы обычными плугами, плоскорезами и малопроизводительными агрегатами привела к нарушению структуры пахотного горизонта и снижению плодородия почвы. За последние 14 лет использование существующих средств механизации обработки почвы обусловило снижение содержания гумуса в Западном Казахстане с 3,18 до 1,66%. В регионе 88% территорий нуждаются в повышении плодородия почвы. Обоснование технического обеспечения дифференцированной обработки почвы, обеспечивающей сохранение и восстановление ее плодородия при реализации зональных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, является актуальной проблемой.

Проблемная ситуация. Урожайность зерновых культур определяется плодородием почвы, которое в свою очередь обеспечивается техническими средствами механизации, содержанием гумуса, органического вещества и почвенной влаги.

Анализ научных исследований показал, что уровень урожайности и основная доля затрат ресурсного потенциала при возделывании зерновых (до 40–50%) приходится на технологический процесс обработки почвы. В результате раскрытия причинно-следственных связей управляемых факторов и выходных показателей технологических процессов по возделыванию зерновых культур сформулирована гипотеза.

Рабочая гипотеза: сохранение и восстановление плодородия почвы возможно на основе оптимизации параметров технического обеспечения процессов ее обработки с учетом зональных особенностей.

Цель исследования. Установление закономерностей технологического воздействия почвообрабатывающих рабочих органов и орудий на почву, базирующихся на разработке и оптимизации технических средств по сохранению и восстановлению плодородия почвы.

Связь с научными программами. Исследования выполнялись по Федеральной целевой программе «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2012 гг.», планам развития Западно-Казахстанской области «Региональная программа развития зернового производства и рационального использования земель на 2005–2007 гг.», целевой комплексной программе научно-исследовательских работ ОГАУ на 2001–2010 гг.

Предмет исследования. Закономерности взаимодействия рабочих органов технических средств с почвой для обеспечения ее сохранности и восстановления плодородия.

Объект исследования. Процессы функционирования технических систем обеспечения сохранности и восстановления плодородия почвы.

Методы исследований: системный подход, теория системного анализа и синтеза; математическое моделирование сложных технологических систем; теория поискового проектирования новых технологий и технических средств, методы математической статистики; натурный и полевой эксперименты.

Научная новизна исследований заключается в разработке методологически обоснованной структуры решения проблемы сохранения и восстановления плодородия почвы путем совершенствования технических средств технологического воздействия почвообрабатывающих рабочих органов и орудий на почву:

- обоснована структура и математическая модель оптимизации технических средств для сохранения и восстановления плодородия при возделывании сельскохозяйственных культур в Западном Казахстане;

- разработаны новые физические принципы действия (ФПД) и оптимальные структуры адаптивных рабочих органов для создания требуемого агрегатного состояния почвы при сохранении и восстановлении ее плодородия;

- обоснованы методы параметрической оптимизации технического обеспечения технологического процесса обработки почвы, проведена энергетическая оценка и разработаны зависимости для расчета кинематических, технологических и энергетических параметров рыхлителей для различных почв;

- разработаны новые компоновочные схемы почвообрабатывающих машин, обеспечивающие соблюдение агротехнических требований и повышение плодородия. Новизна разработок подтверждается наличием патентов на изобретения и экспериментальными данными.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработаны эффективные компоновочные схемы почвообрабатывающих машин и рекомендации по обработке различных типов почв в условиях засушливого земледелия Западного Казахстана, позволяющие сохранить и восстановить плодородие почвы. Разработанные рыхлители для гладкой вспашки с комбинированными рабочими органами способствуют увеличению производительности агрегата на 20...23%, повышению степени крошения почвы на 21...26%, снижению энергоемкости обработки почвы и сохранению плодородия почвы в условиях дефицита гумуса и влаги. Изготовлены и проверены в производственных условиях машины: дисковый плуг, рыхлитель для основной обработки почвы, воздушный коллектор-распределитель семян, рабочий орган для безотвальной обработки почвы.

Реализация результатов исследования. Теоретические и практические разработки, полученные в результате исследований, используются Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан, управлениями сельского хозяйства западных регионов Казахстана, АО «Уральскагрореммаш», в научно-конструкторских проектах НПО «Казсельхозмеханизация», НПО «Целинсельхозмеханизация», в агрохолдинговых организациях Западного Казахстана по производству зерна. Рекомендации по повышению эффективности ресурсосберегающих технологических систем при обработке почвы и посеве, уборке хлебов внедрены в ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция», ТОО «Уральская сельскохозяйственная опытная станция» при АО «Казагроинновация» МСХ РК и других хозяйствах Западного Казахстана, Актюбинской, Костанайской, Оренбургской областях.

Методические разработки по результатам исследований внедрены в учебном процессе 4 сельскохозяйственных вузов РФ (г. Оренбург, Самара, Саратов,

Челябинск) и 7 сельскохозяйственных вузов Республики Казахстан (г. Актобе, Алматы, Астана, Костанай, Уральск).

Изданы учебные пособия «Курсовое проектирования по СХМ», рекомендованное МСХ РФ для студентов сельскохозяйственных вузов (Оренбург, 2007 г.) и «Средства механизации для ресурсосберегающей технологии возделывания зерновых культур в Западном Казахстане» (рекомендованное республиканским учебно-методическим объединением по инженерным специальностям при КазНАУ (Алматы, 2005 г.), опубликована монография «Повышение эффективности ресурсосберегающих технологических систем при возделывании зерновых культур (степные регионы Западного Казахстана)» (М.: Колос, 2010 г.).

Апробация. Основные положения диссертационной работы обсуждены и одобрены: на международных научно-практических конференциях в Западно-Казахстанском государственном университете (Уральск, 2001, 2004); в Оренбургском государственном аграрном университете (Оренбург, 2003, 2004, 2010); на выездном заседании Бюро отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии (Оренбург, ОГАУ, 2003); в Казахском национальном аграрном университете (Алматы, 2003, 2005); в Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете им. Жангир хана (Орал, 2005); в Казахском агротехническом университете им. С. Сейфуллина (Астана, 2010); в Саратовском государственном аграрном университете (Саратов, 2010); на научно-практических конференциях Костанайского государственного университета (Костанай, 2007); ДГП ЦелинНИИМЭСХ (Костанай, 2008); Челябинской государственной агроинженерной академии (Челябинск, 2009); Красноярском государственном аграрном университете (Красноярск, 2008); Санкт-Петербургском государственном аграрном университете (Санкт-Петербург, 2009); ежегодных научно-практических конференциях Оренбургского государственного аграрного университета (Оренбург, 2003–2011 гг.); на ежегодных научно-практических конференциях Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана (Уральск, 1996–2011 гг.).

Научные положения, выносимые на защиту:

– научные основы технического обеспечения сохранения и восстановления плодородия почвы, позволяющие обеспечить создание ее оптимальной структуры, рациональное использование влаги и незерновой части урожая;

– концепция сохранения и восстановления плодородия почвы техническими средствами на основе методологии поискового проектирования и параметрической оптимизации;

– предлагаемые механизированные технологические процессы и технические средства, разработанные на основе синтеза рациональных физических принципов обработки почвы;

– теоретические основы оптимизации параметров и режимов работы технических средств почвообработки, накопления влаги и заделки незерновой части урожая в плодородный слой.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; положительными результатами полевых опытов и производственных испытаний разработанных технологических решений и техни-

ческих средств; эффективным использованием результатов научных исследований на предприятиях агропромышленного комплекса.

Личный вклад автора. Автором сформулирована цель работы, разработана концепция совершенствования технических средств для обработки почвы в степной зоне Западного Казахстана с целью сохранения и восстановления плодородия, проанализированы результаты исследований и сделаны выводы. Разработан комплекс почвообрабатывающих машин для сохранения плодородия почвы в засушливой степной зоне, обоснованы математические модели взаимодействия рабочих органов с почвой и решения задач оптимизации их параметров на основе физических принципов действия с комплексом физических эффектов, составляющих основные положения, вынесенные на защиту.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 62 печатные работы общим объемом 57,4 п.л., в том числе 16 статей в научных журналах, рекомендованных в Перечне ВАК РФ, 1 монография, 5 учебных пособий и 4 патента на изобретения РФ и РК, программа расчета параметров и режимов работы почвообрабатывающих машин на ЭВМ.

Объем работы и структура. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы – 310 источников, из них 25 источников на иностранных языках, изложена на 348 страницах основного текста, в т.ч. содержит 89 рисунков и 26 таблиц, приложения. Работа удостоена медали ВВЦ РФ, диплома лауреата премии губернатора Оренбургской области в сфере науки и техники за 2010 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, показаны научная новизна и практическая значимость, отражены вопросы реализации и апробации полученных научных и практических результатов, основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава **«Состояние проблемы и задачи исследования»** посвящена анализу развития производства зерна в Казахстане и в степной зоне Западного Казахстана, существующих технологий, машин, рабочих органов и условий возделывания зерновых культур. Приведены результаты анализа влияния почвенно-климатических условий на плодородие почвы, на урожайность и качество продукции. Определены направления совершенствования технологических процессов и технических средств для возделывания зерновых культур. Сформулированы проблема, научная гипотеза, цели и задачи исследования.

Значительный вклад в развитие индустриальной технологии возделывания зерновых на основе почвозащитной системы земледелия и на дальнейшее совершенствование эффективного использования средств механизации на основе влаго-, энергосбережения, сохранения плодородия почвы внесли исследования А.И. Бараева, Э.Ф. Госсена, С.З. Есенжанова, В.И. Кирюшина, М.М. Константинова, Н.В. Костюченкова, Н.В. Краснощекова, Н.К. Мазитова, Т.С. Мальцева, М.И. Рубинштейна, М.К. Сулейменова и др.

Основы решения проблем механизации обработки почвы заложены П.М. Василенко, В.П. Горячкиным, В.В. Докучаевым, В.А. Желиговским, А.А. Измаильским, а значительный вклад в исследования процессов взаимо-

действия рабочих органов с почвой внесли В.В. Бледных, В.И. Виноградов, Х.С. Гайнанов, Г.З. Гайфуллин, А.П. Грибановский, Л.В. Гячев, Б.Д. Докин, С.Н. Капов, А.Д. Кормщиков, А.С. Кушнарев, А.И. Любимов, В.А. Милюткин, А.Ж. Мурзагалиев, С.В. Олейников, И.М. Панов, М.Д. Подскребко, А.С. Путрин, Р.С. Рахимов, Г.Н. Синеоков, В.К. Шаршак, И.Я. Штейнерт, Г.С. Юнусов.

В решении проблемы бездефицитного баланса гумуса и влаги в засушливом степном регионе решающее значение имеет создание оптимальной структуры почвы, сохранение корневых и пожнивных растительных остатков и оставление на поле соломы зерновых культур, которые оцениваются как источник азота и зольных элементов для питания растений, энергетический материал для микроорганизмов, исходный материал для образования гумуса и способ сокращения испарения влаги. Комплекс работ, направленный на решение поставленных задач, предусматривает применение интегрированной системы управления, а не отдельными ее разрозненными элементами, и открывает новые возможности, особенно в плане обеспечения условий для получения запрограммированного объема продуктов растениеводства высокого качества. Однако для реализации на практике этой концепции требуются теоретические исследования технологических процессов обработки почвы и разработка на их основе влаго-, энергосберегающих почвообрабатывающих машин, обеспечивающих почвозащиту.

Техническое обеспечение дифференцированной обработки почвы, обеспечивающее сохранение и восстановление ее плодородия в зональных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, требует дальнейшего развития теоретических аспектов земледельческой механики, разработки новых методов оптимального проектирования рабочих органов и машин, принятия технических решений, удовлетворяющих условиям степной зоны Западного Казахстана.

Для реализации цели предусматривается решение следующих задач:

- 1) обосновать общие принципы построения системы технического обеспечения для сохранения и восстановления плодородия почвы;
- 2) разработать технические средства обработки почвы для создания условий восстановления плодородия почвы, накопления почвенной влаги с использованием незерновой части урожая (НЧУ);
- 3) обосновать основные параметры и режимы работы новых рабочих органов для сохранения плодородия почвы в степной зоне Западного Казахстана;
- 4) разработать структурную схему и математическую модель оптимизации параметров и режимов работы технических средств для восстановления плодородия почвы;
- 5) выполнить экономическую и энергетическую оценку эффективности разработанных технических средств по восстановлению плодородия почвы.

Вторая глава «**Теоретические и методологические основы проектирования рабочих органов и машин**» посвящена методологическим основам моделирования процессов взаимодействия рабочих органов с почвой, которые позволяют разрабатывать основы проектирования и создания рабочих органов и орудий, моделировать технологический процесс обработки почвы и решать практические задачи по оптимизации элементов почвенного плодородия на основе системного подхода, сочетающие как тактические и стратегические целевые задачи для получения высоких урожаев, так и целенаправленное снижение интенсивности минерализации гумуса и испарения почвенной влаги, сохранение и восстановление плодородия почвы (рис. 1).

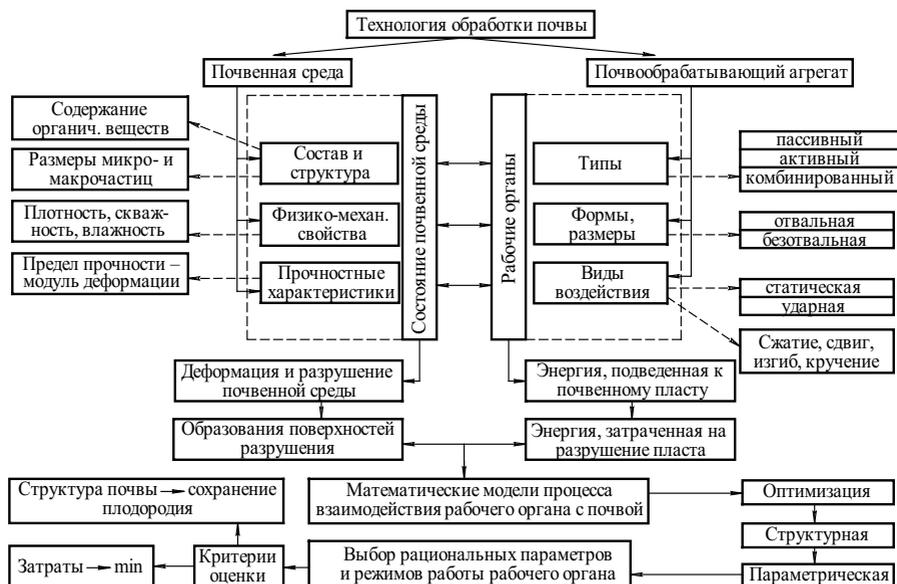


Рисунок 1 – Структурная схема модели обработки почвы для сохранения и восстановления плодородия

Техническое обеспечение сохранения и восстановления плодородия почвы является сложным процессом и требует системного анализа и синтеза для принятия технических решений по заданному агротехнологическому заданию. Вопросы применимости методов синтеза оптимальных структур, поисковых решений технических систем к синтезу структур сложных биолого-физико-механических систем, таких, как «почвенная среда – почвенная влага – почвообрабатывающие рабочие органы», базировались на методах аналитического и физического моделирования с применением статистической динамики, механико-технологических основах с использованием методов нелинейного программирования.

В процессе оптимизации параметров средств механизации, обеспечивающих сохранение плодородия почв в условиях острого дефицита влаги, неотъемлемым вариантом решения проблемы является методология поиска значений на безусловные и условные экстремумы. Преобладающее большинство исследуемых функциональных многопараметрических зависимостей имеют геометрическую интерпретацию в виде сложных криволинейных поверхностей в многомерном пространстве. При решении задачи оптимизации нелинейного программирования использовались градиентные методы с применением условий Липшица для поиска безусловного экстремума и условного экстремума с применением условий регулярности Слейтора. Для перехода от условной параметрической оптимизации к задачам безусловной оптимизации, и наоборот, применялись функции Лагранжа

$$F(x, \lambda) = \varphi(x) + \sum_{j=1}^m \lambda_j f_j(x), \text{ где } \lambda_j - \text{множители Лагранжа. Параметрическая опти-}$$

мизация производилась с помощью частной теоремы Куна–Таккера и численных методов.

Техническое обеспечение сохранения и восстановления плодородия почвы требует выявления закономерностей изменения агротехнических и энергетических показателей обработки почвы от структуры почвы, параметров и режимов работы рабочего органа и агрегата. Теоретическими исследованиями получены математические модели технологического процесса обработки почвы.

Дифференциальные уравнения движения элемента почвенного пласта

Качественные и энергетические показатели работы почвообрабатывающей машины являются, в первую очередь, результатом механического взаимодействия его рабочих органов с почвой. Большое количество исследований как отечественных, так и зарубежных ученых посвящены изучению и описанию механики движения пласта по лемешно-отвальным поверхностям, что дает возможность использовать полученные результаты для совершенствования этих рабочих органов. Почвенный пласт представляет собой сложную механическую систему, на свойства которой оказывает влияние целый ряд случайных факторов, и это не позволяет однозначно построить его модель. Основное условие работы почвообрабатывающего рабочего органа – скольжение почвы по его поверхности – возможно только в том случае, когда сила сопротивления пласта сжатию будет достаточна для преодоления сил трения. Следовательно, пренебрегая деформацией сжатия пласта за счет сил трения и массы в процессе его движения по рабочей поверхности, можно принять за основу недеформируемую в процессе движения модель пласта, где в качестве элемента принят бесконечно малый объем перемещаемой почвы (рис. 2).

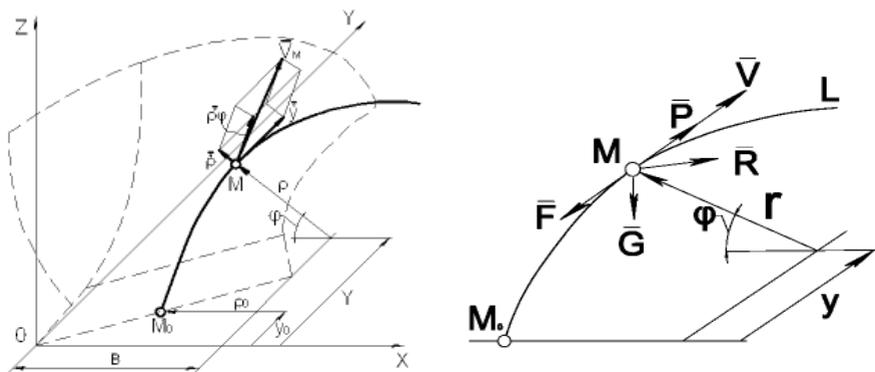


Рисунок 2 – Схема движения элемента пласта по поверхности рабочего органа и силы, действующие в процессе его перемещения

Это дает основание применить для изучения движения пласта как механической системы с голономными связями уравнения Лагранжа 2-го рода и получить дифференциальные уравнения движения элемента пласта исключительно из технологических требований, в отрыве от конкретной формы поверхности:

$$\begin{aligned}
 m\ddot{y} &= A(P - F) + R_y; \\
 m(2\rho\dot{\rho}\dot{\varphi} + \rho^2\ddot{\varphi}) &= \rho[B(P - F) - G\cos\varphi + R_\varphi]; \\
 m(\ddot{\rho} - \rho\dot{\varphi}^2) &= C(P - F) - G\sin\varphi + R_\rho,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $A = \cos(\arctg 2\pi\rho/S) \cdot \cos(\arctg \rho\cos\varphi/y)$;

$$\begin{aligned}
 B &= \sin(\arctg 2\pi\rho/S) \sin \left(\varphi + \arctg \frac{\rho\cos\varphi + \frac{\partial\rho}{\partial\varphi}\sin\varphi}{\rho\sin\varphi - \frac{\partial\rho}{\partial\varphi}\cos\varphi} \right); \\
 C &= \sin(\arctg 2\pi\rho/S) \cos \left(\varphi + \arctg \frac{\rho\cos\varphi + \frac{\partial\rho}{\partial\varphi}\sin\varphi}{\rho\sin\varphi - \frac{\partial\rho}{\partial\varphi}\cos\varphi} \right),
 \end{aligned}$$

где P – сила, определяемая взаимодействием пласта с остальными частями, Н;

F – сила трения почвы о рабочую поверхность, Н;

G – сила тяжести элемента пласта, Н;

R – реакция отвальной поверхности, Н;

y – линейная координата, совпадающая с направлением движения пласта, м;

φ – угловая координата, определяющая поворот пласта, град.;

ρ – линейная координата, соединяющая полюс вращения с пластом, м;

S – шаг винта, м.

Полученные уравнения связывают силовые, кинематические и технологические параметры, определяющие движение элемента пласта по заданной траектории, позволяют определить силы, действующие на пласт в процессе его движения и решить вопрос об аналитическом проектировании поверхностей рабочего органа и вычислить его тяговое сопротивление.

Следует отметить, что в общем виде этот метод позволяет использовать его для обоснования параметров рабочих органов различных рыхлителей.

Влияние геометрических и физических параметров отрезаемого пласта на тяговое сопротивление корпуса

Основными критериями целесообразности использования тех или иных рабочих органов являются их качество обработки и тяговое сопротивление. Проведенные исследования показали, что изменение формы и размеров отрезаемого пласта оказывает определенное влияние на траекторию его движения в плоскости ZOX (рис. 3). Исходя из динамики взаимодействия почвенного пласта с рабочим органом, тяговое сопротивление корпуса можно определить:

$$R_T = \left(P_{пов}^{тр} + P_{ст}^{тр} + P_{дн}^{тр} \right) + \left(P_{рез}^л + P_{рез}^{по} \right) + P_{кр}, \tag{2}$$

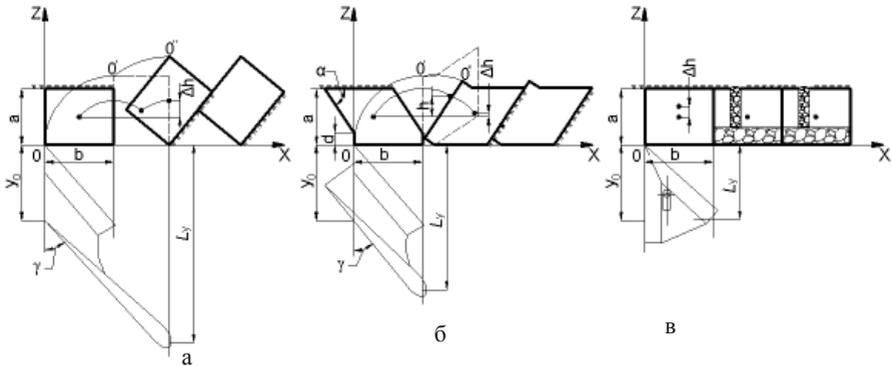


Рисунок 3 – Схемы оборотов пласта различными плужными корпусами:
а – классический; б – ромбовидный; в – безотвальный

где $P_{\text{пов}}^{\text{тр}}$ – сила трения пласта о поверхность рабочего органа, Н;

$P_{\text{ст}}^{\text{тр}}$ и $P_{\text{дн}}^{\text{тр}}$ – силы трения корпуса о стенку и дно борозды соответственно, Н;

$P_{\text{рез}}^{\text{л}}$ и $P_{\text{рез}}^{\text{по}}$ – усилия лемеха на отрезание пласта в горизонтальной и полевом обрезе в вертикальной плоскостях, Н;

$P_{\text{кр}}$ – усилие, расходуемое на крошение пласта, Н.

Для составления уравнения Лагранжа 2-го рода к рассматриваемой системе «рабочий орган – почва» в качестве обобщенной координаты выбираем перемещение корпуса q_i в направлении Y . Тогда обобщенная скорость равна $\dot{q}_i = \dot{y} = v_{\text{пл}}$.

Кинетическая энергия пласта в конце оборота будет равна:

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{2} \left[m v_{\text{пл}}^2 (n_y^2 + n_z^2) + I_{d^1} \omega^2 \right]. \quad (3)$$

Потенциальная энергия системы определится из выражения:

$$\Pi = m g \Delta h. \quad (4)$$

Кинетический потенциал Лагранжа равен:

$$L = T_{\Sigma} - \Pi = k_M y(t) \left(v_{\text{пл}}^2(t) k_T - 2g \Delta h \right), \quad (5)$$

где $k_M = \frac{\gamma_n \cdot a \cdot b \cdot \cos \theta \cdot \cos \gamma}{2g}$;

$$k_T = n_z^2 + n_y^2 \left(1 + I_{d^1} / r_{\text{вп}}^2 \right);$$

$$y(t) = \int_0^t v_{\text{пл}}(t) dt.$$

Находим частную производную от L по обобщенной скорости $\frac{\partial L}{\partial v_{\text{пл}}}$ и вычисляем производную по времени:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_{\text{пл}}} \right) = 2k_M k_T [v_{\text{пл}}^2(t) + y(t)W(t)], \quad (6)$$

где $W(t) = \frac{dv_{\text{пл}}(t)}{dt}$ – ускорение.

Производная от кинетического потенциала Лагранжа по обобщенной координате равна:

$$\frac{\partial L}{\partial y} = k_M [v_{\text{пл}}^2(t)k_T - 2g \Delta h]. \quad (7)$$

Тогда уравнение Лагранжа 2-го рода для данной системы имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_{\text{пл}}} \right) - \frac{\partial L}{\partial y} = Q. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (6) и (7), получим дифференциальное уравнение 2-го порядка для тягового сопротивления:

$$R_T = Ay^2 + By + Cy + D, \quad (9)$$

где $A = k_T \cdot k_M$;

$B = k_{\text{кр}}n_y + k_{\text{рез}}(b + a)$;

$D = G_{\text{к}}f + \gamma_{\text{п}}ab \cos\theta \cdot \cos\gamma \cdot \Delta h$;

$C = \gamma_{\text{п}}abf [1 + \cos\varepsilon \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma(1 + \cos\theta \cdot \cos\gamma)]$;

θ – угол наклона касательной к поверхности в плоскости ZOY , град.;

γ – угол постановки образующей к стенке борозды, град.;

ε – угол постановки лемеха к дну борозды, град.;

a, b – высота и ширина пласта, м;

f – коэффициент трения;

Δh – высота подъема центра масс пласта, м;

$G_{\text{к}}$ – вес корпуса с учетом части веса всего орудия, Н;

n_y – соотношение между поперечными L_x и продольными L_y перемещениями пласта;

$\gamma_{\text{п}}$ – плотность почвы, Н/м³;

k_T – коэффициент, учитывающий геометрические параметры пласта, м²;

$k_{\text{рез}}$ – коэффициент удельного сопротивления резанию, Н·с/м²;

$k_{\text{кр}}$ – коэффициент удельного сопротивления крошению, Н·с/м.

Полученное уравнение позволяет оптимизировать сопротивление рабочего органа в зависимости от его конструктивных и технологических параметров, режимов работы, с учетом физико-механических свойств почвы и агротехнических требований на обработку почвы.

Оптимизация эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов

Существующий машинно-тракторный агрегат должен иметь конкретные оптимальные параметры (ширину захвата B и скорость движения v), тесно связанные

с мощностью двигателя, что приводит к необходимости применения метода математического программирования для оптимизации параметров МТА. Постановка задачи: максимизировать производительность агрегата для обработки почвы при наличии ограничения мощности двигателя N_e и буксования трактора типа К-744.

Общая задача математического программирования заключается в максимизации целевой функции:

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max, \quad (10)$$

при наличии ограничений, имеющих вид балансовых неравенств :

$$g = (x_1, x_2, \dots, x_n) < C_r \quad (r = 1, 2, 3, \dots, m), \quad (11)$$

а также граничных условий, обычно записываемых в виде:

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (12)$$

Такого рода задачи математического программирования часто решаются методом множителей Лагранжа. Функция Лагранжа имеет следующий вид:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \\ = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{r=1}^m \lambda_r [\Phi_r(x_1, x_2, \dots, x_n) - C_r]. \quad (13)$$

Учитывая, что при эксплуатации данного МТА возможно изменять ограниченное количество параметров B и v , при решении поставленной задачи необходимо определить область допустимых значений этих параметров и в этой области определить такие B и v , при которых будет максимальная производительность почвообрабатывающего агрегата W_{\max} .

На параметры B и v накладываются следующие ограничения:

$$v > 0; B > 0; v \leq v_{\max}; B \leq B_{\max},$$

где v_{\max} – максимальная скорость, допускаемая агрегаторами;

B_{\max} – предельная ширина захвата по соображениям кинематики агрегата и изменений агротехнических показателей гребнистости и неравномерности глубины от копирования рельефа.

Функция Лагранжа есть функция управляемых параметров B и v и множителя λ . При такой записи вместо условного экстремума функции

$$W = f(B, v) \quad (14)$$

отыскивается безусловный экстремум функции

$$F = W + \lambda N_e, \quad (15)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Необходимым условием существования экстремального значения функции Лагранжа является равенство нулю ее частных производных по управляемым параметрам. Решая систему уравнений, определим оптимальные значения B и v , при которых производительность агрегата W_{\max} максимальна.

Оптимальная скорость пахотного агрегата:

$$v_{\text{опт}} = \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{B \cdot (K + G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}} \cdot d)}{(K \cdot B + G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}})(1 - d \cdot B)} \right], \quad (16)$$

$$\text{где } A = \frac{0,5 \cdot B}{v_x \cdot L} + \frac{R}{v_x \cdot L} + \frac{8 \cdot R^2}{v_x \cdot L \cdot C} + \frac{2 \cdot e}{v_x \cdot L};$$

K – удельное тяговое сопротивление агрегата на метр ширины захвата, Н/м;

B – ширина захвата пахотного агрегата, м;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления перекачиванию трактора;

$G_{\text{тр}}$ – вес трактора, Н.

Оптимальная ширина захвата пахотного агрегата:

$$B_{\text{опт}} = \frac{(G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}} + D) \cdot d + \sqrt{[(G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}} + D) \cdot d]^2 + (G_{\text{тр}} \cdot f_{\text{тр}} + D)(K - D \cdot d) \cdot d}}{(K - D \cdot d) \cdot d}, \quad (17)$$

$$\text{где } D = N_e \cdot \eta_M \cdot A;$$

η_M – коэффициент полезного действия трансмиссии;

$d = K \cdot \delta / P_{\text{кр}}$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий зависимость величины буксования трактора от тягового сопротивления агрегата.

Формула для оптимальной ширины захвата агрегата, независимо от скорости движения, позволяет избежать применения метода последовательных приближений, а отношение – правильно комплектовать агрегат и определить оптимальные эксплуатационные режимы работы. Загрузка двигателя в пределах номинальной мощности осуществляется за счет увеличения оптимальной скорости движения и производительность несколько возрастает.

В третьей главе «**Научные методы технического обеспечения обработки почвы в засушливых регионах**» решались вопросы разработки структурной модели развития методических основ решения проблемы обработки почвы путем синтеза оптимальной структуры и допустимых технических решений; разработки средств механизации для накопления и сохранения почвенной влаги, использования растительных остатков и незерновой части урожая с целью повышения плодородия почвы и снижения затрат.

Работа технологической и технической системы «почвенная среда – почвообрабатывающий агрегат – плодородие» основывается на одном или нескольких взаимосвязанных физических и биофизических эффектах. Физический эффект можно описать тремя компонентами: физическое воздействие; физический объект, на который направлено воздействие; результат физического воздействия. Тогда физическим принципом действия является структура совместимых и объединенных физических эффектов, обеспечивающих преобразование заданного входного воздействия в заданный конечный результат. Подобный методологический подход к исследованию системы «почвенная среда – почвообрабатывающий агрегат – плодородие» позволяет проведение синтеза допустимых технических решений по предъявленному техническому заданию. Техническое задание будет включать группы требований к взаимодействию с компонентами соответственно. Моделью оценки технических решений является описание взаимосвязи между элементами и их признаками, соответствующими им требованиям. Степень соответствия между требованиями и признаками можно определить с помощью метода экспертных оценок. Технические задания по выделению области допустимых значений, соответствующих требованиям показателей и оценивающих технические решения, описываются системой ограничений.

Для разработки технических средств обработки почвы по сохранению и восстановлению ее плодородия рассмотрена подсистема «почва» (рис. 4). Обработка почвы сопровождается потерями почвенной влаги на испарение и просачивание, гумуса, уничтожением микроорганизмов, ветровой и водной эрозиями.

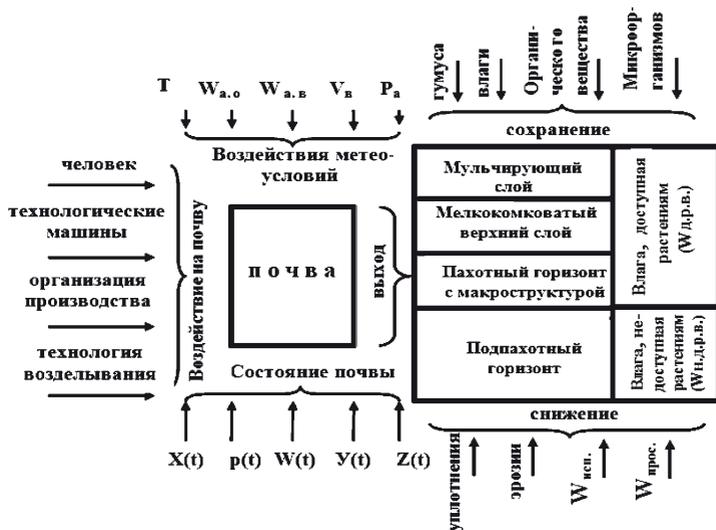


Рисунок 4 – Структурная схема подсистемы «почва»

Вспашка нарушает пути инфлюкции, созданные отмершими корнями и дождевыми червями, по которым проникают в почву влага и воздух. Уплотнения почвы ходовыми частями МТА вызывает заметное ухудшение развития корневой системы культур.

В условиях дефицита почвенной влаги и периодически повторяющейся засухи повышение эффективности использования атмосферных осадков и почвенной влаги имеет для степной зоны Западного Казахстана первостепенную технологическую и экономическую значимость.

Коэффициент использования атмосферных осадков определяется по выражению:

$$\eta_{\text{нао}} = \frac{\sum W_{\text{а.о.}}^{ni} + W_{\text{д.з.в.}}^{\text{ло}} - W_{\text{пр.св.}} - W_{\text{сток}}^{3.i} - W_{\text{исп}}^{3.i} - W_{\text{прос}}^{\text{в.и}} - W_{\text{сток}}^{\text{в.и}} - W_{\text{исп}}^{\text{в.и}} - W_{\text{исп}}^{\text{л.и}}}{\sum W_{\text{а.о.}}^{ni}}, \quad (18)$$

где $\sum W_{\text{а.о.}}^{ni}$ – суммарное количество осадков по периодам года;

$W_{\text{д.з.в.}}^{\text{ло}}$ – исходный действительный запас влаги после уборки культур;

$W_{\text{пр.св.}}$ – прочносвязанная влага;

$W_{\text{д.з.в.}}^{0.i}, W_{\text{д.з.в.}}^{3.i}, W_{\text{д.з.в.}}^{\text{в.и}}, W_{\text{д.з.в.}}^{\text{л.и}}$ – действительные запасы влаги, соответственно в осенний, зимний, весенний и летний периоды.

Предложенный коэффициент позволяет оценивать эффективность мероприятий и технического обеспечения по накоплению атмосферных осадков. Для аридных зон богарного земледелия водный режим по слоям почвы может быть регулируемым путем воздействия соответствующих средств механизации обработки почвы. С использованием функционального анализа и синтеза новых физических принципов действия и допустимых технических решений предложены следующие направления совершенствования технических средств и технологических приемов системы обработки почвы в Западном Казахстане по использованию почвенной влаги и восстановлению плодородия, которые прошли производственную проверку в условиях зоны:

- сокращение количества проходов агрегатов по полю путем совершенствования конструкции машин, совмещения или сокращения технологических операций, применяя комбинированные почвообрабатывающие машины;

- сохранение плодородного слоя путем совмещения мелкого рыхления почвы с поздней осенней щелеванием, применяя культиваторы-щелеватели;

- использование рабочих органов для влагонакопительной, влагорегулирующей системы с сетью вертикальных и горизонтальных каналов-связей по слоям, увеличивающей впитывание поверхностной влаги в почву и подпочву, снижающей поверхностный сток;

- применение рабочих органов для сохранения растительных остатков и распределения незерновой части урожая по объему пахотного слоя, мульчирования поверхности поля и вертикальных щелей соломенной сечкой при осенней обработке почвы с целью снижения промерзания почвы и щелей как зимой, так и весной, увеличивая впитывающую способность почвы;

- обеспечение постоянно рыхлой, мелкокомковатой, мульчированной на глубину 8–10 см технологической структуры поверхностного слоя для разрыва капиллярных связей и снижения испарения почвенной влаги;

- создание внутрпочвенной уплотненной прослойки для конденсации паровой влаги;

- использование рабочих органов расклинивающего типа с регулируемым количеством динамических воздействий для повышения степени крошения и снижения энергозатрат при обработке как сухих, так и переувлажненных почв.

Научные методы разработки почвообрабатывающих машин должны основываться на оптимизации процесса крошения пласта. Процесс обработки должен быть регулируемым по величине воздействия рабочих органов на почву, чего можно достичь лишь при сочетании пассивных и активных рабочих органов. Для расчета параметров почвообрабатывающего орудия разработан программный комплекс (рис. 5).

Построенный алгоритм поиска оптимального варианта конструкции на основе выбора параметров орудия позволяет автоматизировать поиск оптимальных компоновочных решений. Блок-схема включает блоки арифметических (прямоугольные) и логических (ромбовидные) операций и состоит из семи основных частей, отражающих этапы проектирования элементов конструкции орудия, а также блоков ввода исходных данных и блоков графических построений и вывода полученных значений. На основе введенных пользователем исходных данных (блок 1) подбираются предварительные параметры конструкции и варианты исполнения,

которые выводятся в виде чертежа общего вида и текстовых документов (блоки 3, 4), и проводится проектировочный расчет орудия (блок 5).

Характеристики, используемые в качестве исходных данных (тип почвы, влажность, технологические операции и т.д.), могут учитываться прямой подстановкой в расчетные формулы либо в качестве критериев выбора оптимального значения. Для расчетов разработаны базы данных (БД) по влажности, твердости, липкости, связности, пластичности, коэффициентам трения имеющихся в зоне почв (блок 7); реализован алгоритм базовой методики проектирования орудия для проверочного расчета элементов конструкции (блок 6). БД позволяют пользователю просматривать, дополнять и изменять необходимую информацию и использовать содержащиеся сведения при расчетах элементов конструкции. Модули проверки задаваемых значений (блок 2) контролируют корректность ввода данных пользователем, обеспечивают доступ к БД, поиск и проверку информации. Комплект документации на изделие формируется на основе проектировочных и проверочных расчетов в среде графического редактора (блок 8).

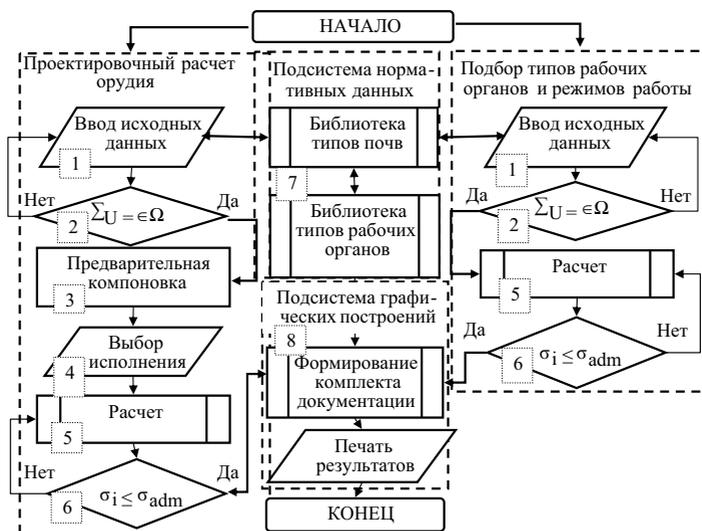


Рисунок 5 – Блок-схема программного комплекса по выбору параметров почвообрабатывающего орудия

В четвертой главе «**Разработка технических средств для обработки почвы**» обоснованы конструктивные параметры и режимы работы почвообрабатывающих машин для сохранения плодородия почвы.

Для основной обработки почвы в степных регионах Западного Казахстана разработаны конструкции рыхлителей: безотвальный плуг для гладкой вспашки, комбинированное орудие для послойной обработки и плуг с комбинированными рабочими органами для обработки твердых почв.

Рыхлитель плужного типа, предназначенный для глубокого рыхления почвы без оборота пласта, сочетающий в себе преимущества плужного типа орудия и безотвальной технологии. Рабочий орган с поворотным корпусом обеспечивает челночный способ движения агрегата, гладкую вспашку, незащемленное резание пласта и снижение тягового сопротивления орудия. Универсальная рама рыхлителя обеспечивает размещение различных рабочих органов (Патент на полезную модель RU79005U1.20.12.2008 г., Патент на изобретение KZ В 22323. 15.02.2010 г.). Месторасположение точки крепления стойки и башмака определяется на основе силового анализа рабочего органа (рис. 6).

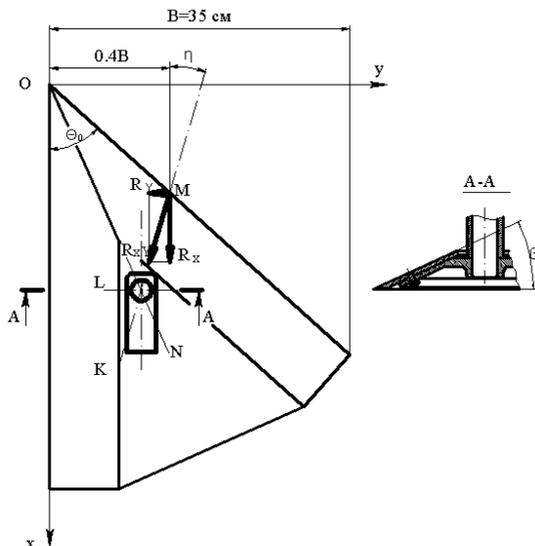


Рисунок 6 – Рабочий орган рыхлительного типа с двумя лемехами

Геометрические координаты точки L :

$$x_L = 0.4 \cdot B \cdot \left[\frac{1 - \frac{\operatorname{tg}(180 - \eta)}{\operatorname{tg}\theta}}{\operatorname{tg}\frac{\theta}{2} - \operatorname{tg}(180 - \eta)} \right] \quad (19);$$

$$y_L = 0.4 \cdot B \cdot \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} \left[\frac{1 - \frac{\operatorname{tg}(180 - \eta)}{\operatorname{tg}\theta}}{\operatorname{tg}\frac{\theta}{2} - \operatorname{tg}(180 - \eta)} \right] \quad (20)$$

где B – ширина захвата рабочего органа, м;
 θ_0 – угол между лезвиями рабочего органа, град.;
 η – угол между направлением движения и результирующей силы на плоскости XOY , град.;
 M – суммарный изгибающий момент, Н·м.
 Оптимальные размеры поперечного сечения стойки:
 ширина

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M \cdot \cos^2 \eta}{[\sigma] \cdot \sin \eta}}, \quad (21)$$

толщина

$$b = \operatorname{tg} \eta \cdot h. \quad (22)$$

Разработанный рыхлитель сочетает глубокое рыхление пахотного слоя с нарезанием щелей в дне борозды и одновременном внесении в щель соломистой сечки (рис. 7).

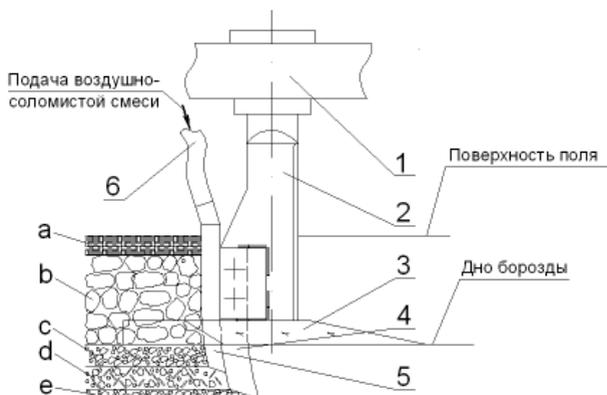


Рисунок 7 – Комбинированный рабочий орган:

1 – рабочий брус орудия; 2 – стойка органа; 3 – лемех рабочего органа; 4 – нож-щелерез; 5 – канал подвода воздушно-соломистой массы в щель; 6 – гибкий рукав

Данная операция позволяет улучшить скважность почвы на глубине 30...35 см, что способствует большему накоплению влаги в осенне-весенний период и повышению плодородия почвы. После прохода рабочего органа почва по глубине имеет различную степень крошения и состояния. Горизонт a – верхний слой с пожнивными остатками – практически остается ненарушенным, за исключением следа прохода стойки. Горизонт b – основной пахотный слой крошится за счет деформации лемехом.

Комбинированный рыхлитель для послойной обработки почвы обеспечивает сохранение каждого почвенного слоя на местах без перемешивания и исключает выталкивание неплодородных слоев из пахотного горизонта на поверхность поля, просыпание гумуса вниз (рис. 8).

v_{Π} – поступательная скорость, м/с;
 μ_B – коэффициент Пуассона для солонцов;
 k – коэффициент, учитывающий угол заточки ножа-рыхлителя;
 β_1 – половина угла заточки ножа-рыхлителя, град;
 α – угол установки ножей-рыхлителей к дну борозды, град.

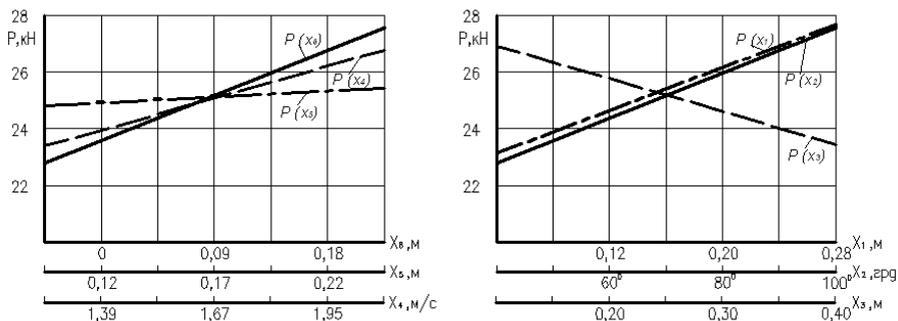


Рисунок 9 – Влияние на тяговое сопротивление рыхлительной лапы:

X_1 – высоты ножей-рыхлителей; X_2 – угла установки ножей ко дну борозды; X_3 – расстояния между ножами; X_4 – скорости движения; X_5 – расстояния от носка подпятника до стойки; X_6 – расстояния от нерабочей части лемеха до ножей

Качество обработки пахотного слоя можно оценивать степенью крошения и скважностью почвы после ее обработки. Скважность почвы C после обработки определяется связью между скважностью почвы до ее обработки C_0 и вспушенностью после обработки B_{Π} . Тогда взаимосвязь между параметрами и режимами работы рыхлительной лапы и скважностью C пахотного слоя можно определять зависимостью:

$$C = \left(\frac{C_0 + B_{\Pi}}{100 + B_{\Pi}} \right) \cdot 100. \quad (25)$$

Плотность верхнего слоя почвы после деформации:

$$\gamma_A^1 = \frac{\gamma_A}{\left(1 + \frac{m \cdot R_x^{\text{н.р.}} \cdot (1 - 2\mu_A)}{E_A \cdot h_A \cdot B_{\Pi}} \right)}, \quad (26)$$

где γ_A – плотность почвы до деформации, Н/м³;
 μ_A – коэффициент Пуассона для верхнего слоя;
 m – количество ножей-рыхлителей, шт.;
 B_{Π} – ширина пласта, м;
 h_A – мощность верхнего слоя, м;
 E_A – модуль упругости для верхнего слоя, Н/м².

Удельные энергозатраты на фрезерование верхнего слоя:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{уд}} = & \frac{\bar{\alpha}_a \cdot v_a(\alpha_{\text{ксп}}) \cdot \cos \frac{\bar{\alpha}_a}{2}}{6 \cdot h \cdot n} \left\{ \frac{q^1 \delta_a^2}{2} \left(\frac{\text{tgi}}{L_n} + \frac{\text{tg}(i + \varepsilon_{\text{сп}}) \cdot Z \cdot n}{60 v_n \cdot \cos \frac{\bar{\alpha}_a}{2}} \right) + \right. \\ & + \frac{v_a^2(\alpha_{\text{ксп}}) \cdot \gamma_0 \cdot (\Phi_4 + \Phi_2 \Phi_1 \cdot \sin \gamma)}{g} + \frac{3 B_n \cdot v_a(\alpha_{\text{ксп}}) \cdot \gamma_0 \cdot n \cdot k_{\text{от}}^2}{g \cdot \bar{\alpha}_a} + \\ & \left. + \Phi_2 (\gamma_0 \cdot B_n + 0,5 \sqrt{\frac{\sigma_B}{3} \left[\frac{2}{3} \sigma_B + \frac{60 v_n \cdot \cos \frac{\bar{\alpha}_a}{2} \cdot \gamma_0}{Z \cdot n} \left(\frac{v_a^2(\alpha_{\text{ксп}}) \cdot \Phi_1}{g \cdot B_n} + 1 \right) \right]} \right) \right\}, \quad (27) \end{aligned}$$

где $\Phi_1 = k_{\text{от}} \sqrt{(1-f)^2 \cdot \cos^2 \rho_{\text{сп}}^n + k_y^2 \cdot \sin^2 \rho_{\text{сп}}^n}$;

$\Phi_2 = \text{tg}(\rho_{\text{сп}}^n + \varphi) + \text{tg} \varphi$;

$\Phi_3 = 1 - \sqrt{(1-f)^2 \cdot \cos^2 \rho_{\text{сп}}^c + k_y^2 \cdot \sin^2 \rho_{\text{сп}}^c} \cdot \cos \xi^1$;

$\Phi_4 = \frac{[\Phi_3 \cdot \sin \rho_{\text{сп}}^c + \Phi_1 \cdot \sin(\rho_{\text{сп}}^c + \gamma^1)] [\sin(\rho_{\text{сп}}^c + \varphi) + \cos(\rho_{\text{сп}}^c + \varphi) \cdot \text{tg} \varphi]}{\cos \varphi}$;

$\varepsilon_{\text{сп}}$ – среднее значение заднего угла резания, град.;

i – угол заточки ножа, град.;

q^1 – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³;

L_n – длина лезвия полки ножа, м;

δ_a – путь смятия почвы лезвием, м;

B – ширина захвата одной секции, м;

γ_0 – плотность почвы, Н/м³;

B_n – ширина полки ножа, м;

Z – количество односторонних ножей в диске, шт.;

σ_B – предел прочности верхнего слоя, Н/м²;

k_y – коэффициент восстановления почвенной частицы;

f – коэффициент трения почвы о сталь;

φ – угол трения;

n – частота вращения, мин⁻¹.

Полученное выражение показывает степень влияния на удельную энергоемкость процесса фрезерования физико-механических свойств почвы, параметров фрезерного барабана и режимов работы (рис. 10).

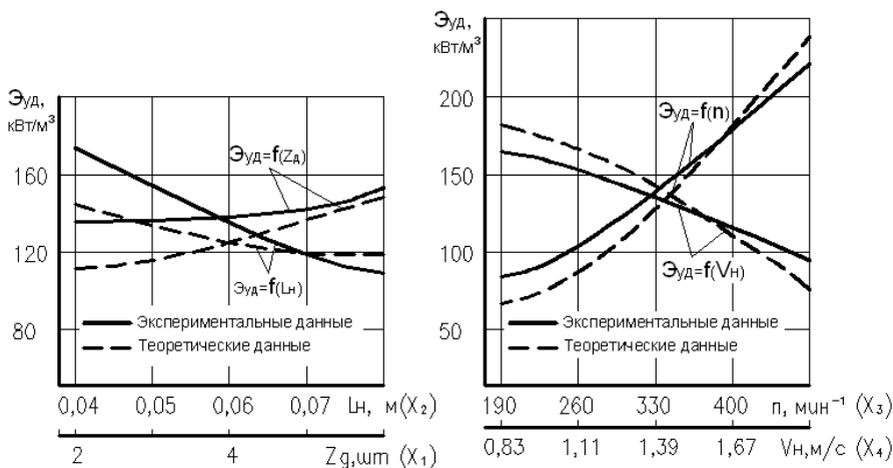


Рисунок 10 – Изменение удельных энергозатрат на фрезерование $\mathcal{E}_{уд}$ в зависимости от частоты вращения фрезерного барабана n , количества ножей секции z_d , длины полки ножа L_n и скорости движения агрегата v_n

Одновременная обработка всех горизонтов за один проход агрегата позволяет сократить расходы топлива и энергии, уменьшить чрезмерное уплотнение почвы ходовыми частями мобильной техники и распыленность поверхности поля, повысить производительность работы. Послойное рыхление обеспечивает наибольшее накопление и рациональное расходование почвенной влаги, сохранение плодородия почвы.

Рыхлитель с комбинированными рабочими органами для обработки старопахотных тяжелых почв состоит из укороченного корпуса и ротора с горизонтальными пальцами квадратного сечения. Из условия обеспечения эффекта крошения и перемешивания почвы по агротехническим требованиям, оптимального взаимодействия пласта с зубьями без заваливания почвы обратно в борозду следует подобрать место расположения оси вращения ротора. В комбинированном рабочем органе ротор располагается с правой стороны пассивного корпуса на некотором расстоянии от него (рис. 11 а).

Крошение и перемешивание почвы определяется скоростью соударения ее с рабочими элементами ротора (рис. 11 б):

$$v_{уд.N} = (\omega \cdot R + v_x \cdot \sin \alpha - v_y \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \chi, \quad (28)$$

где χ – половина угла при вершине зуба;

R – радиус ротора, м;

ω – угловая скорость ротора, c^{-1} ;

α – угол встречи зуба ротора с почвенной частицей, град;

v_x, v_y – составляющие относительной скорости v_r схода частицы с отвала.

Скорости почвенной частицы после удара определяются способом поворота координатных осей, т.е. проектированием составляющих скорости v_x, v_y, v_z и окружной скорости $\omega \cdot R$ сперва на оси N, B, T , а затем их на оси X, Y, Z (рис. 11б).

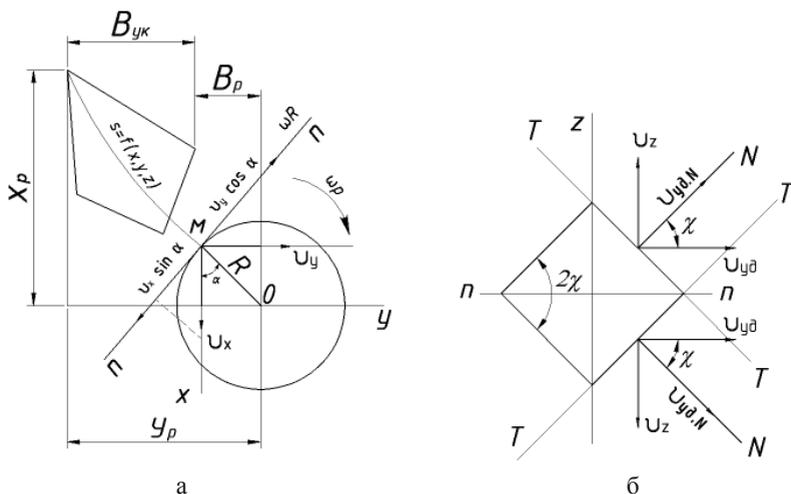


Рисунок 11 – Схема к определению скорости соударения частицы почвы с зубом ротора в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

Активное перемешивание почвы с целью получения однородного пахотного слоя предполагает создание встречного потока за счет скорости вертикального перемещения частиц почвы, которые для разных почвенных горизонтов практически одинаковы (рис. 12).

Высота ротора H_p может быть найдена из условия отсутствия частиц, перелетающих зубья:

$$H_p = b - b_0 + a + \dot{z}_0^2/g, \quad (29)$$

где b – общая ширина захвата стандартного корпуса, м;

b_0 – ширина захвата укороченного корпуса, м;

a – глубина обработки, м;

\dot{z}_0 – вертикальная составляющая скорости в момент схода с отвала, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Из вышеуказанного следует, что взаимное расположение пассивного корпуса и ротора оказывает существенное влияние на качество технологического процесса вспашки. Окончательное определение конструктивных и кинематических параметров комбинированного рабочего органа связано с выбором режимов его работы с учетом энергетических и качественных показателей вспашки.

В пятой главе «**Экспериментальная оценка эффективности работы предлагаемых технических средств**» рассмотрены вопросы синтеза оптимальной структуры почвозащитных, влагосберегающих технологических приемов и техни-

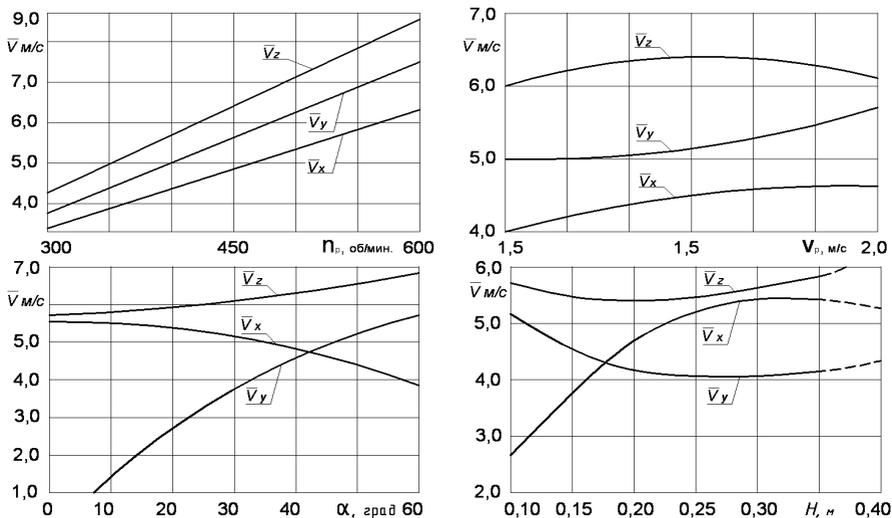


Рисунок 12 – Зависимости составляющих скорости движения частиц от частоты вращения n_r ротора, поступательной скорости v_p , угла встречи частиц почвы с зубьями ротора (α) и высоты схода частиц с поверхности пассивного корпуса (H)

ческих средств обработки почвы для обеспечения технологической и энергетической устойчивости.

А Создание горизонтальной прослойки толщиной 3–5 см из соломенной сечки размером $L = 2–3$ мм на глубине 20 см увеличивает величину продуктивной влаги в метровом слое на 20 мм и снижает потери почвенной влаги испарением. Длина соломенной частицы взята соразмерной диаметру стебля 2–3 мм, что обеспечивает наибольшую поверхность смачивания, большее накопление влаги и наименьшие потери влаги испарением.

Б Экспериментальная оценка создания влагосберегающего мульчирующего слоя показывает:

- поверхностное рыхление на глубину 8–10 см снижает потери почвенной влаги физическим испарением за счет разрыва капиллярных связей между почвенными частицами, особенно на начальных стадиях процесса. Глубокая основная обработка «спелой» почвы безотвальным рыхлителем с достаточным крошением поверхностного рыхлого слоя сохраняет в среднем $\Delta W_3 = 22$ мм почвенной влаги;

- мульчирование соломой эффективно на более длительном отрезке времени, так как снижает в большей степени температуру почвы. Ранневесеннее закрытие почвенной влаги с рыхлым почвенным слоем 8–10 см, мульчирование соломенной сечкой дает снижение испарения и сохраняет почвенную влагу в среднем $\Delta W_2 = 20$ мм.

В Разработанные на основе теоретических и экспериментальных исследований технологические приемы обработки почвы позволили предложить компоновку почвообрабатывающих агрегатов:

- рыхлитель для основной обработки почвы со сменными рабочими органами (для гладкой вспашки);
- комбинированный рыхлитель для послойной обработки почвы;
- плуг с комбинированными рабочими органами для тяжелых почв.

В.1 Изучение влияния видов обработок на водный режим почвы и урожайность показало, что поверхностная обработка практически не изменила водопроницаемость в сравнении с естественным состоянием. Глубокая отвальная и безотвальная обработки почвы резко увеличили водопроницаемость в течение первых двух часов, особенно отмечено на варианте с отвальной вспашкой – в 14...15 раз. Дальнейшие наблюдения показали, что отвальная вспашка способствует более быстрому просыханию пахотного слоя почвы, безотвальное рыхление обеспечивает накопление влаги почвы в пахотном горизонте 0–30 см на 7...8% больше, чем остальные варианты обработки, а урожайность сельскохозяйственных культур выше соответственно на 7,6...13,7 ц/га. Щелевание одновременно с обработкой почвы увеличивает впитывание, аккумуляцию влаги в почве, уменьшает поверхностный сток талых вод и ливневых осадков, что дает увеличение величины коэффициента впитывания $K_{вп}^{но}$ на необработанных участках $\Delta K_{вп}^{но} = 0,17$; на участках с отвальной обработкой $\Delta K_{вп}^o = 0,115$; на участках с безотвальной обработкой $\Delta K_{вп}^{60} = 0,25$. Основная обработка почвы безотвальным орудием с достаточным крошением и щелеванием подпахотного слоя увеличивает запас почвенной влаги на $\Delta W_1 = 41,4$ мм. Разработанный рыхлитель плужного типа для гладкой вспашки обеспечивает повышение производительности агрегата до 30%, снижение расхода топлива до 20% за счет сокращения длины холостых ходов и уменьшения тягового сопротивления.

В.2 Для изучения влияния рыхлительной лапы на показатели работы комбинированного рыхлителя был проведен шестифакторный эксперимент по плану Хартли 2^{k+1} . Входные контролируемые факторы: X_1 – высота ножа-рыхлителя; X_2 – угол установки ножа-рыхлителя ко дну борозды; X_3 – расстояние между ножами-рыхлителями; X_4 – скорость движения; X_5 – положение стойки на подпятнике лапы; X_6 – положение ножа-рыхлителя на лемехе.

После проведения эксперимента получены уравнения регрессии (рис. 13): степень крошения пахотного слоя, %:

$$K_{п} = 58,22 + 2,66X_1 - 2,5X_2 - 1,79X_3 + 4,83X_4 - 2,17X_6 - 3,92X_1X_2 + 3,25X_2X_6 - 1,71X_2X_5 - 2,43X_4X_6 - 4,63X_5X_6, \quad (30)$$

вспушенность почвы, %:

$$B_{п} = 29,84 + 2,49X_1 - 3,01X_3 + 2,01X_4 - 2,21X_1X_3 - 1,67X_4^2 + 1,26X_5^2 + 0,82X_6^2, \quad (38)$$

общее тяговое сопротивление рабочего органа, кН:

$$P = 25,14 + 1,33X_1 + 1,16X_2 - 1,3X_3 + 1,07X_4 - 1,57X_6 + 1,95X_1X_2 - 1,39X_1X_3 - 0,82X_2X_4 - 0,99X_5X_6. \quad (31)$$

Из анализа видно:

1) при увеличении высоты ножей-рыхлителей X_1 и скорости движения X_4 степень крошения пахотного слоя увеличивается, а при увеличении угла установки ножей-рыхлителей ко дну борозды X_2 расстояния между ножами-рыхлителями X_3 и удалении ножа-рыхлителя от лезвия лемеха X_6 – уменьшается;

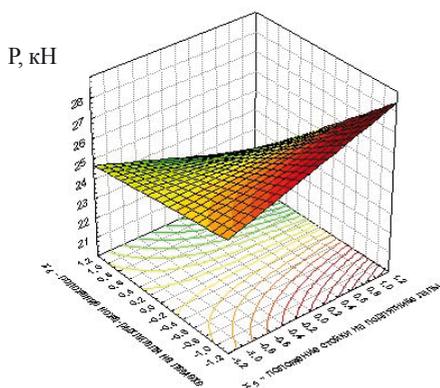
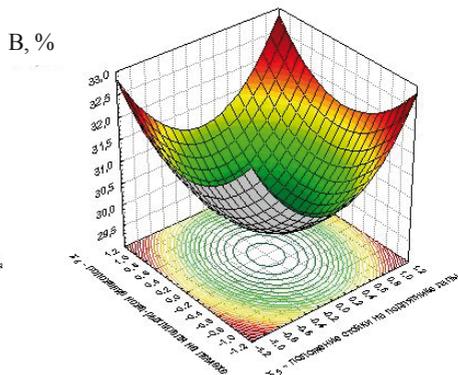
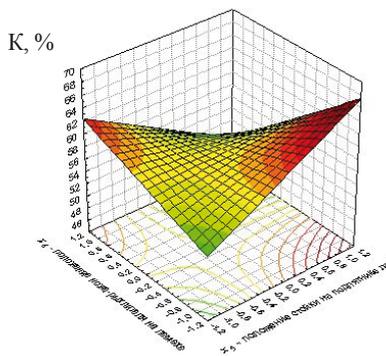


Рисунок 13 – Влияние X_5 – расстояния от носка подпятника до стойки и X_6 – расстояния от нерабочей части лемеха до ножей на степень крошения пахотного слоя K (%), вспушенность почвы V (%) и общее тяговое сопротивление рабочего органа P (кН) при $X_1 = 0$ (высота ножа-рыхлителя 0,16 м), $X_2 = 0$ (угол установки ножей ко дну борозды 70°), $X_3 = 0$ (расстояние между ножами рыхлителями 0,25 м), $X_4 = 0$ (скорости движения 1,67 м/с)

2) при увеличении высоты ножа-рыхлителя X_1 , угла установки их ко дну борозды X_2 и приближении ножа-рыхлителя к лемеху X_6 тяговое сопротивление увеличивается, а при увеличении расстояния между ножами-рыхлителями X_3 – уменьшается. Это объясняется тем, что увеличение: X_1 – увеличивает его зону контакта с почвой; X_2 – вызывает переход резания скольжения в резание без скольжения; X_3 – уменьшает относительную деформацию пласта почвы в поперечном направлении.

Исследование процесса обработки верхнего слоя активным рабочим органом осуществлялось путем реализации многофакторного эксперимента по плану Хартли на гиперкубе 2^{K-P} . Изменяющиеся входные контролируемые факторы: X_1 – количество ножей; X_2 – расстояние между ножами; X_3 – частота вращения активного рабочего органа; X_4 – поступательная скорость.

В результате реализации многофакторного эксперимента получены достоверные математические модели второго порядка (рис. 14):

для степени крошения верхнего слоя, %:

$$\begin{aligned}
 K = & 80,52 + 10,2X_1 - 0,82X_2 + 13,29X_3 - 14,19X_4 - 1,96X_1X_2 - \\
 & - 7,99X_1X_3 + 4,06X_1X_4 + 0,94X_2X_3 + 5,61X_2X_4 + 7,47X_3X_4 + \\
 & + 6,91X_1^2 - 3,07X_2^2 - 9,42X_3^2 - 4,55X_4^2,
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

для содержания эрозионно-опасных частиц, %:

$$P = 16,29 + 4,92X_1 - 0,62X_2 + 7,23X_3 + 1,81X_4 - 0,45X_1X_2 + \\ + 0,26X_1X_3 + 1,03X_1X_4 - 5,8X_2 - 3,61X_2X_4 + 2,43X_3X_4 + \\ + 0,93X_1^2 + 2,51X_2^2 - 0,19X_3^2 - 3,47X_4^2, \quad (41)$$

для удельных энергозатрат, кВт/м³:

$$\Theta_{уд} = 136,3 + 7,69X_1 - 36,75X_2 + 68,07X_3 - 29,99X_4 + 6,52X_1X_2 + \\ + 21,73X_1X_3 - 18,62X_1X_4 - 5,4X_2X_3 - 6,63X_2X_4 - 17,68X_3X_4 + \\ + 5,24X_1^2 + 3,11X_2^2 + 12,98X_3^2 - 5,55X_4^2. \quad (33)$$

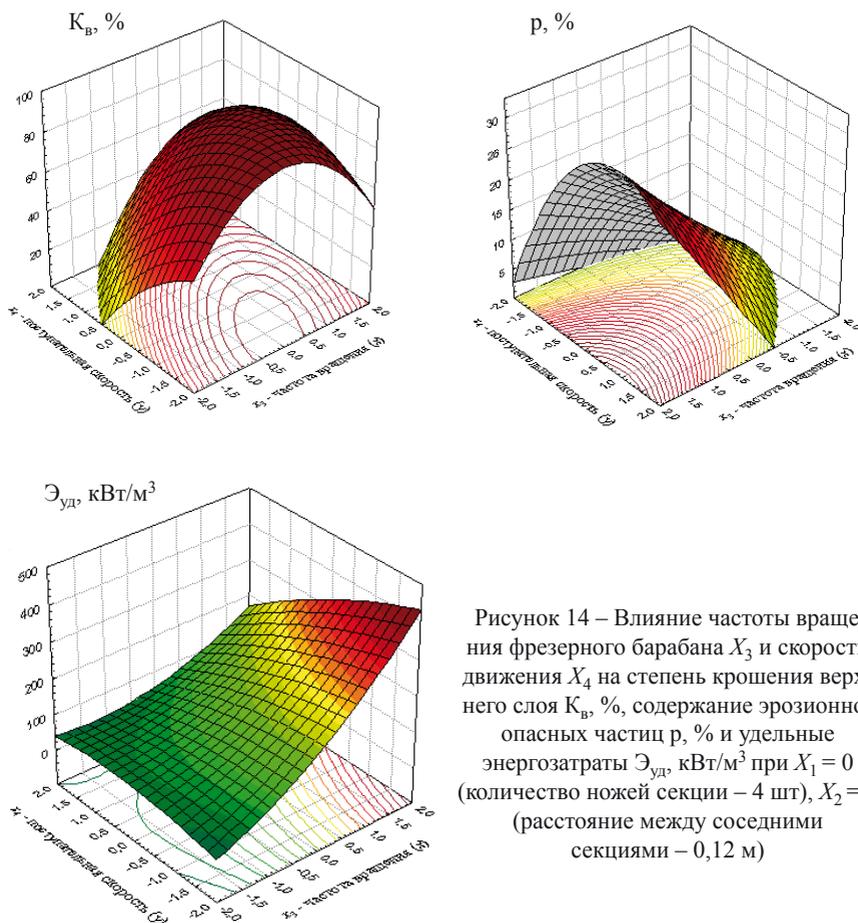


Рисунок 14 – Влияние частоты вращения фрезерного барабана X_3 и скорости движения X_4 на степень крошения верхнего слоя $K_v, \%$, содержание эрозионно-опасных частиц $p, \%$ и удельные энергозатраты $\Theta_{уд}, \text{кВт/м}^3$ при $X_1 = 0$ (количество ножей секции – 4 шт), $X_2 = 0$ (расстояние между соседними секциями – 0,12 м)

Анализ полученной математической модели показывает, что на величину удельных энергозатрат существенное влияние оказывают все 4 параметра, а на степень крошения и содержание эрозионно-опасных частиц – факторы X_1 – количество ножей, X_3 – частота вращения активного рабочего органа, X_4 – поступательная скорость.

Оптимальные параметры комбинированного рыхлителя:

высота ножей-рыхлителей – 0,23...0,28 м; угол заточки ножа-рыхлителя – 45...50°; угол установки ножа-рыхлителя ко дну борозды – 50°; расстояние между ножами-рыхлителями – 0,18...0,23 м; расстояние от лемеха до ножа-рыхлителя – 0,05 м; расстояние от носка подпятника до стойки – 0,17 м; внешний диаметр активного рабочего органа – 0,380...0,420 м; число ножей на диске – 4 шт; расстояние между ножами вдоль оси ротора – 0,13...0,15 м; частота вращения активного рабочего органа – 320...380 мин⁻¹.

Комбинированное орудие выполняет весь технологический процесс послышной обработки за один проход агрегата в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивает плотность почвы в слое 0...10 см 1,02...1,04 г/см³, общую скважность – 55,7...56,6%, а скважность аэрации – 28,8...30,1%, увеличивает крошение почвы на 9,6%, уменьшает вынос неплодородного слоя вверх на 5,4%, снижает энергоемкость обработки на 58,2% и погектарный расход топлива на 34,47% по сравнению с однооперационными машинами.

В.3 Для проверки теоретических положений экспериментальное исследование орудия с комбинированными рабочими органами было проведено на тяжелых почвах Западного Казахстана. Графики зависимостей агротехнических показателей работы комбинированного рабочего органа от конструктивных параметров и режимов ротора представлены на рис. 15–18.

Анализ приведенных зависимостей показывает (рис. 15), что ротор, снабженный зубьями квадратного сечения, имеет степень крошения почвы выше на 15...17%, чем с круглым сечением, и на 20...25% без зубьев. Это объясняется тем, что зуб с углом воздействия 90° на почвенный пласт вызывает большие напряжения в зоне контакта с почвой и приводит к резкому ее разрушению. Из рисунка 16 видно, что степень крошения и перемешивания горизонтов пахотного слоя в зависимости от длины и шага зубьев ротора изменяются по параболе. Наибольшие значения достигаются при длине зуба в пределах 150...200 мм, при шаге – 40...60 мм.

Полученные зависимости показывают (рис. 17), что с изменением углов установки нижних лопаток (α_1) и расположения зубьев (α_2) на роторе степень перемешивания горизонтов увеличивает-

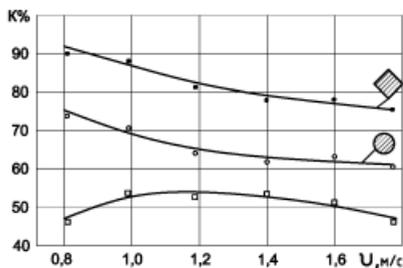


Рисунок 15 – График зависимости степени крошения почвы от поступательной скорости при различных сечениях зуба:

- – квадратное сечение; ○ – круглое сечение;
- – ротор без горизонтальных зубьев

ся до максимальных значений, а при достижении $\alpha_1 = 30^\circ$ и $\alpha_2 = 70^\circ$ степень перемешивания снижается до 20%.

Оптимальные значения углов установки нижних подъемных лопаток, дающих удовлетворительное перемешивание горизонтов Γ_1 и Γ_2 , находятся в пределах $20 \dots 30^\circ$, для углов установки горизонтальных зубьев на винтовой линии ротора – в пределах $40 \dots 70^\circ$.

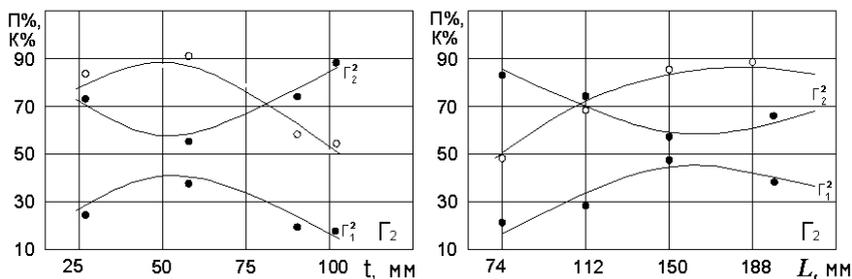


Рисунок 16 – Графики зависимостей агротехнических показателей работы комбинированного рабочего органа от шага и длины зубьев ротора:

○ – степень крошения пласта (К); ● – степень перемешивания горизонтов Γ_1 и Γ_2 (П)

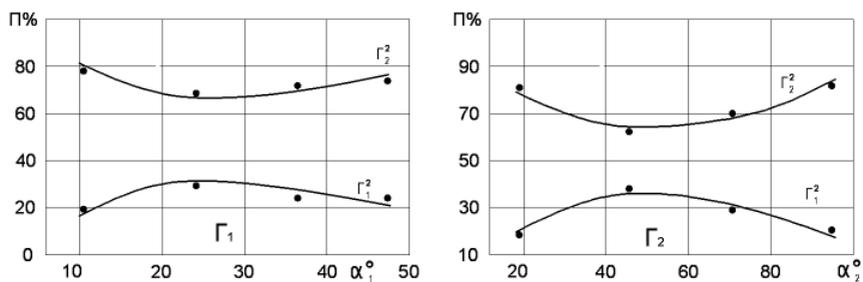


Рисунок 17 – Зависимости степени перемешивания почвенных горизонтов Γ_1 и Γ_2 от углов установки нижних лопаток (α_1) и расположения зубьев на нисходящей винтовой линии (α_2) ротора

Анализ агротехнических показателей работы орудия показывает (рис. 18), что с возрастанием поступательной скорости движения степень крошения снижается от 95 до 75%, интенсивно происходит в интервале скоростей $1,0 - 1,75$ м/с. Степень перемешивания горизонтов до скорости движения $1,2$ м/с остается постоянной, а дальнейшее увеличение скорости вызывает резкое снижение. Это объясняется снижением скорости соударения зубьев с пластом почвы и увеличением подачи на зуб при постоянной частоте вращения ротора. Содержание эрозионно-опасных частиц в слое $0 - 5$ см и пылевидных частиц в пахотном слое при изменении скорости дви-

жения от 1,0 до 2,0 м/с составляют 13,6...12,7% и 4,2...3,1% соответственно, что значительно ниже допустимых значений по агротехническим требованиям.

Степень крошения и перемешивания горизонтов почвы существенно зависит от частоты вращения ротора и изменяется по параболе (рис. 18). Увеличение частоты вращения до определенного предела вызывает повышение степени крошения, а дальнейший рост ее – снижение. Это объясняется тем, что с увеличением частоты вращения растет скорость взаимодействия рабочих элементов ротора с пластом почвы до критической. Дальнейшее повышение частоты вращения ротора вызывает уменьшение времени взаимодействия, т.е. ротор воздействует на незначительную часть пласта почвы. При увеличении частоты вращения ротора степень перемешивания остается постоянной и оптимальной. Крошение почвы, соответствующее агротребованиям, достигается при частоте вращения ротора в пределах 360–540 мин⁻¹.

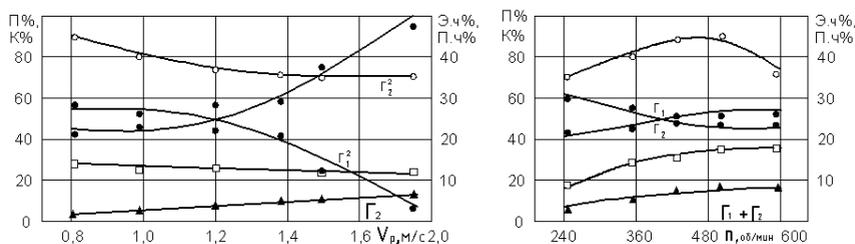


Рисунок 18 – Графики зависимостей агротехнических показателей работы комбинированного рабочего органа от скорости движения агрегата и частоты вращения ротора :

- \circ – степень крошения пласта (K); \bullet – степень перемешивания горизонтов Γ_1 и Γ_2 (P_i);
- \square – содержание эрозионно-опасных частиц в слое 0–5 см (E_{ch}); \blacktriangle – содержание пылевидных частиц в пахотном слое (P_{ch})

Рациональными параметрами и режимами работы орудия с комбинированными рабочими органами к энергонасыщенным тракторам класса 50–60 кН являются: координаты расположения оси ротора относительно носка лемеха укороченного корпуса по ходу движения 0,75 м, в сторону борозды 0,31 м; диаметр ротора – 0,36...0,40 м; высота ротора – 0,45...0,50 м; параметры зуба: шаг – 0,04...0,06 м, длина – 0,15...0,20 м, форма – квадратная; частота вращения ротора – 420...450 мин⁻¹; скорость движения агрегата – 1,5...1,75 м/с.

Результаты сравнительных исследований показали, что орудие с комбинированными рабочими органами на основной обработке распаханых тяжелых почв по сравнению с серийным плугом ПТН-40, переоборудованным для плантажной вспашки, имеет степень крошения выше на 23...24%, уменьшение глыбистости поверхности пашни – на 22,5%, гребнистости – 63,4...65,8%. Установлено, что плуг с активными рабочими органами потребляет мощность на выполнение технологического процесса в расчете на 1 м ширины захвата на 5...8% меньше, чем отвалный, обеспечивает степень крошения 75...85% и перемешивания – 77% при содержании

эрозионно-опасных и пылевидных частиц соответственно не более 17,2% и 7,4%, заделку растительных остатков – 95...98%.

Г Экспериментальное изучение агротехнических и энергетических показателей работы почвообрабатывающего агрегата позволили подтвердить теоретические выводы по оптимизации его эксплуатационных показателей и установить их зависимость от основных агротехнических показателей. Оценочные показатели представлены в рисунке 19. При увеличении скорости от 1,7–3,5 м/с и ширины захвата 8,5–12,2 м почвообрабатывающего агрегата гребнистость увеличивается и, по некоторым данным, превышает требования ГОСТ 24055-88. В результате повышения гребнистости происходит нарушение рельефа поля, что приводит к неравномерному поступлению влаги к корням растений, особенно весной и летом. Большая гребнистость способствует более интенсивному испарению влаги из почвы (рис. 19 а).

По всходам семян пшеницы были проведены замеры количества сорных растений на 1 м² и влияния скорости и ширины захвата почвообрабатывающего агрегата на подрезание сорняков. С увеличением скорости движения уменьшается количество сорных растений, что улучшает попадание влаги и солнечного света к растениям пшеницы, а в итоге приводит к повышению урожайности и уменьшению производственных затрат (рис. 19 б).

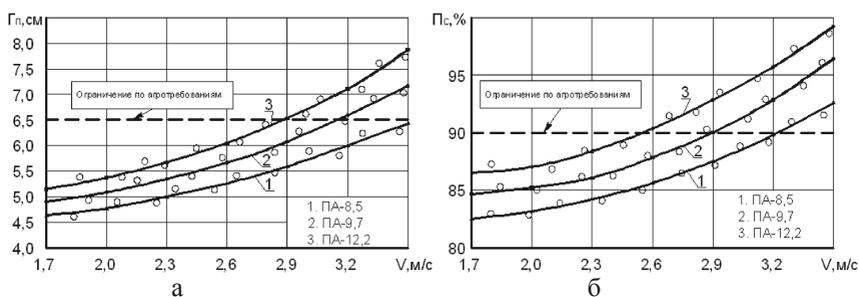


Рисунок 19 – Зависимость гребнистости почвы (а) и количества уничтоженных сорных растений на 1 м² по всходам пшеницы (б) от скорости движения почвообрабатывающего агрегата при различной ширине захвата

С изменением скорости с 1,7 до 3,8 м/с увеличиваются затраты мощности и крутящий момент двигателя, повышается КПД трактора (рис. 20 а). В результате повышения рабочей скорости движения крюковое усилие увеличивается на 8,0%, а буксование на 1,71%, снижается удельный расход топлива, происходит экономия топлива и уменьшается себестоимость продукции (рис. 20 б).

Таким образом, обработка почвы по стерне трактором К-744Р2 при удельном сопротивлении почвы $K_{\text{п}} = 3,2$ кН/м, длине гона $L = 850$ м и глубине $h = 0,12$ м, показателе тягово-цепных качества трактора $a' = (15...25)$ кН оптимальными параметрами агрегата являются: $B_{\text{опт}} = 9,75$ м; $v_{\text{опт}} = 2,4$ м/с; $W_{\text{опт}} = 8,26$ га/ч.

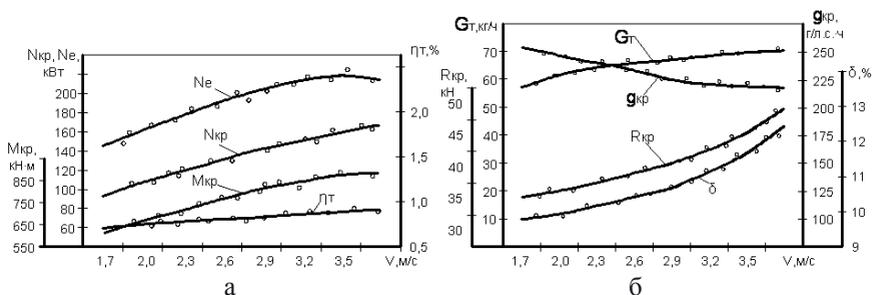


Рисунок 20 – Энергетические показатели работы почвообрабатывающего агрегата с трактором К-744Р2

В шестой главе «Оценка экономической эффективности технологических приемов и технических средств механизации обработки почвы» приведена оценка экономической эффективности разработок и рассмотрены варианты оценки экономической эффективности технологических приемов и технических средств при обработке почвы.

- Внедрение рыхлителя плужного типа для гладкой вспашки с одновременным щелеванием и мульчированием поверхности поля при обработке почвы на площади 1000 га позволили увеличить запас влаги в почве на 83,4 мм. Экономический эффект от увеличения запасов влаги в почве составляет 1743 тыс. рублей.

- Послойная обработка почвы с использованием комбинированного рыхлителя позволяет снизить прямые издержки на 56%, уменьшить приведенные затраты на 55% и уменьшить металлоемкость на 76%. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур составляет 4,8...6,1 ц/га. Проведенный экономический расчет показывает, что экономический эффект от использования комбинированного орудия за счет сокращения операций и повышения урожайности сельскохозяйственных культур составляет 2,6–3,0 тыс. рублей на гектар.

- Рыхлитель с комбинированными рабочими органами при обработке тяжелых почв обеспечивает уменьшение удельных затрат труда на 38%, металлоемкости – на 57%, затраты ГСМ – на 31%, тягового сопротивления – на 27%, приведенных затрат – на 44%, увеличение степени крошения пахотного слоя – на 27% и равномерности перемешивания – на 48%, часовой производительности – на 59%. Экономический эффект по приведенным затратам составляет 1,6 тыс. рублей на гектар.

Использование агрегата с оптимальными параметрами и режимами работы обеспечивает снижение приведенных затрат на 8%, что связано с повышением производительности агрегата и снижением расхода топлива. Годовой экономический эффект при работе пахотного агрегата К-744Р2+ПА-8,5/9,7/12,2 с оптимальными параметрами составляет 114,52 тыс. рублей на один агрегат.

Выполненные теоретические исследования и их экспериментальная проверка в реальных условиях производства степных регионов подтвердили справедливость выдвинутой в работе гипотезы и позволили решить важную народнохозяйственную проблему сохранения и восстановления плодородия почвы за счет использования предложенной системы средств механизации.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Разработанная методология технического обеспечения сохранения и восстановления плодородия почвы для природно-климатических условий степной зоны Западного Казахстана с использованием системного анализа, синтеза технических решений и предложенный комплекс машин обеспечивает:

- восстановление плодородия почвы путем создания оптимальной структуры почвы, сокращения потерь почвенной влаги, увеличения энергетического баланса почвы за счет использования пожнивных растительных остатков в процессе ее обработки;

- рациональное совмещение основной обработки почвы с нарезанием вертикальных щелей и заполнением их соломенной сечкой; послонную обработку всех горизонтов тяжелых почв без перемешивания за один проход агрегата; основную обработку старопашотных тяжелых почв с интенсивным перемешиванием всех ее слоев с целью сокращения материальных, трудовых и энергетических затрат, сохранения и повышения содержания гумуса и почвенной влаги, снижения пыленности верхнего слоя и чрезмерного уплотнения почвы ходовыми частями тракторов;

- повышение производительности труда с применением энергонасыщенных тракторов путем реализации определенной части мощности их двигателей через ВОМ.

2. Разработанные математические модели технологического процесса обработки почвы связывают силовые, кинематические и технологические параметры, определяющие движение элемента пласта по заданной траектории и силы, действующие на пласт в процессе его движения, позволяют решать вопрос об аналитическом проектировании поверхностей рабочего органа и вычислять его тяговое сопротивление.

3. Полученные математические модели определения параметров почвообрабатывающих агрегатов позволяют определять оптимальную ширину захвата $B_{\text{опт}}$, скорость машины $V_{\text{опт}}$, при которых реализуется максимум производительности W_{max} . Указанные модели проверены теоретически и экспериментально при обосновании оптимальных параметров орудия для поверхностной обработки почвы по стерне с трактором К-744Р2. При удельном сопротивлении почвы $K_{\text{п}} = 3,2$ кН/м, показателе тягово-сцепных качества трактора $a' = (15...25)$ кН, длине гона $L = 850$ м, буксовании трактора 8–14%, глубине обработки $h = 0,12$ м: $B_{\text{опт}} = 9,7$ м; $V_{\text{опт}} = 2,4$ м/с получена производительность $W_{\text{max}} = 8,2$ га/ч. Годовая экономия от использования агрегата с оптимальными эксплуатационными параметрами при нормативной годовой выработке $W_{\text{год}} = 2980$ га составит $\Theta_{\text{год}} = 114,5$ тыс. руб.

4. Обоснованы и разработаны почвообрабатывающие машины для энерго-, влаго-, почвосбережения, в основу которых положены принципы сохранения плодородия почвы, учет степени воздействия рабочих органов на почву и адаптированности применяемых орудий к конкретным почвенно-климатическим условиям. Установлено, что для условий степной зоны рациональным направлением снижения энергоемкости и получения высокого агротехнического эффекта является послонная обработка без оборота пласта рыхлительными лапами, комбинированными рабочими органами.

5. Определены конструктивные схемы и рациональные параметры средств механизации для обработки почвы в засушливой зоне Западного Казахстана.

• Разработанный рыхлитель для гладкой вспашки предусматривает варианты установки адаптивных рабочих органов (ромбовидных, дисковых, безотвальных) и обеспечивает повышение производительности агрегата до 30%, снижения расхода топлива до 20% за счет сокращения длины холостых ходов и уменьшения тягового сопротивления. Рыхление с экспериментальными безотвальными стойками обеспечивает накопление влаги в пахотном горизонте 0–30 см на 7...8% больше, чем отвальная вспашка, поверхностная и плоскорезная обработки, а урожайность сельскохозяйственных культур выше на 7,6...13,7 ц/га по сравнению с существующей технологией. Экономический эффект составил 13,3–14,7 тыс. рублей/га пашни.

• Обоснованная конструкция комбинированного рыхлителя обеспечивает совместную работу почвенной фрезы для обработки верхнего слоя и рыхлительной лапы с вертикальными ножами для нарезания вертикальных каналов связей. Комбинированное орудие выполняет технологический процесс послонной обработки за один проход агрегата, обеспечивает снижение энергоемкости на 58,2% и погектарного расхода топлива на 34,47% по сравнению с однооперационными машинами. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур составляет 4,8...6,1 ц/га, годовой экономический эффект с учетом сокращения операций и повышения урожайности сельскохозяйственных культур при выработке $W_{\text{год}} = 200$ га составляет 520–600 тыс. рублей.

• Орудие с комбинированными рабочими органами по сравнению с плантажным плугом при обработке тяжелых почв позволяет уменьшить затраты на ГСМ на 31%, тяговое сопротивление – на 27%, увеличить степень крошения пахотного слоя на 27% и равномерности перемешивания – на 48%. Годовой экономический эффект по приведенным затратам составляет 320,6 тыс. руб.

6. Установлены закономерности изменения коэффициента Пуассона μ , модулей деформации E и сдвига G тяжелых почв от влажности, которые использованы при обосновании конструкции машин. При оптимальной влажности 18...25% для солонцового горизонта почвы $\mu = 0,25...0,42$, $E = 14,0...2,6$ МПа, $G = 5,6...1,0$ МПа, а для подсолонцового горизонта $\mu = 0,26...0,39$, $E = 21,0...10,0$ МПа, $G = 7,5...3,0$ МПа. При относительной влажности 10...15% в почве проявляются в основном хрупкие свойства, так как $\mu \rightarrow \min$, E , $G \rightarrow \max$, а при влажности 30...35% – пластичные, $\mu \rightarrow \max$, E , $G \rightarrow \min$.

7. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено:

а) создание горизонтальной прослойки из соломенной сечки размером 2...3 мм, толщиной 3–5 см в корнеобитаемом слое при размерах агрегатов макро-, микро-структуры почвы 2–3 см обеспечивает конденсацию парообразной влаги, поступающей из глубоких слоев почвы, и увеличивает величину продуктивной влаги в метровом слое на 20 мм;

б) обеспечение предложенными орудиями разрыхленной мелкокомковатой поверхностной структуры на глубине до 8–10 см снижает испарения влаги за счет разрыва капиллярных связей между почвенными частицами и сохраняет почвенную влагу в среднем на 22 мм.

8. Разработанный комбинированный рабочий орган для безотвального рыхления позволяет эффективно использовать атмосферные осадки и снизить поверх-

ностные стоки. При осенней обработке почвы в условиях засушливого региона обеспечивает:

– создание системы каналов-связей по слоям, связывающим почву и подпочву с атмосферой: вертикальных – на глубине до 35 см и горизонтальных – на глубине 20 см;

– мульчирование поверхности поля и заполнение вертикальных щелей соломенной сечкой с размером 2...3 мм снижает испарение влаги, промерзание почвы, увеличивает впитывающую способность почвы и обеспечивает дополнительное влагонакопление в почве до 30–50 мм и повышение урожайности до 20%.

Экономический эффект от использования орудия составляет для сухих лет 1743 тыс. рублей на 1000 га.

9. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что систематическая разноглубинная обработка предложенными орудиями, без оборота пласта, с сохранением растительных остатков обеспечивает воспроизводство почвенной энергии до 12% ежегодно, сокращая до 10–13% суммарные технологические энергетические затраты.

10. Внедрение разработанных технических средств для обработки почвы восстанавливает плодородие, снижает энергозатраты в 1,4 раза, расход топлива на 27–32%, себестоимость зерна – в 1,2 раза, повышает производительность труда на 20–30%, обеспечивает гарантированный урожай в засушливые годы в пределах 15–20 центнеров с гектара.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Нуралин, Б.Н. Разработка технических средств механизации обработки почвы путем синтеза оптимальной структуры и допустимых технических решений [Текст] / Б.Н. Нуралин, М.М. Константинов, С.З. Есенжанов // Тракторы и сельхозмашины. – М. – 2009. – № 7. – С. 34–36.

2. Нуралин, Б.Н. Обоснование влагосберегающих технологий возделывания зерновых культур в степных регионах [Текст] / М.М. Константинов, С.З. Есенжанов, Б.Н. Нуралин // Международный сельскохозяйственный журнал. – М. – 2009. – № 2. – С. 53–55.

3. Нуралин, Б.Н. Экспериментальное изучение влияния системы обработки на водный режим почвы и продуктивность звеньев севооборота [Текст] / Б.Н. Нуралин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – СПб. – 2009. – № 13. – С. 129–132.

4. Нуралин, Б.Н. Физические закономерности процесса взаимодействия почвенной влаги с почвенными частицами для разработки влагосберегающих технологических приемов / Б.Н. Нуралин, С.З. Есенжанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – СПб. – 2009. – № 12. – С. 130–133.

5. Нуралин, Б.Н. Пути повышения эффективности использования технического потенциала в степных регионах СНГ [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин

// Вестник Красноярского государственного агроуниверситета. – Красноярск. – 2009. – № 3. – С. 139–142.

6. Нуралин, Б.Н. Методологические подходы моделирования технологических систем уборки зерновых культур [Текст] / М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, Б.Н. Нуралин и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск. – 2008. – № 4. – С. 207–210.

7. Нуралин, Б.Н. Технологические приемы обработки почвы на основе синтеза ее оптимальной структуры [Текст] / Б.Н. Нуралин, С.З. Есенжанов, М.М. Константинов // Техника в сельском хозяйстве. – М. – 2010. – № 3. – С. 16–19.

8. Нуралин, Б.Н. Рабочий орган рыхлителя плужного типа для «гладкой пахоты» [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников // Тракторы и сельхозмашины. – М. – 2010. – № 11. – С. 5–6.

9. Нуралин, Б.Н. Экспериментальное изучение показателей работы посевного агрегата для оптимизации эксплуатационных параметров [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин и А.Н. Федоров // Известия Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2010. – № 4. – С. 58–61.

10. Нуралин, Б.Н. Удельные энергозатраты на фрезерование верхнего слоя почвы [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2010. – № 4. – С. 65–70.

11. Нуралин, Б.Н. Самоорганизация и функционирование технологических систем уборки зерновых [Текст] / М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, Б.Н. Нуралин и др. // Тракторы и сельхозмашины. – М. – 2011. – № 2. – С. 50–53.

12. Нуралин, Б.Н. Совершенствование почвообрабатывающей техники для ресурсосберегающего земледелия [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников // Техника в сельском хозяйстве. – М. – 2011. – № 2. – С. 7–9.

13. Нуралин, Б.Н. Обоснование формы рабочего органа и конструкции фрезерного барабана комбинированного рыхлителя [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2011. – № 2. – С. 66–69.

14. Нуралин, Б.Н. Совершенствование технических средств для глубокого рыхления почвы [Текст] / М.М. Константинов, К.С. Потешкин, Б.Н. Нуралин, А.Н. Хмура // Известия Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2011. – № 4. – С. 80–81.

15. Нуралин, Б.Н. Результаты исследования орудия для основной обработки тяжелых почв [Текст] / Б.Н. Нуралин, А.Ж. Мурзагалиев // Вестник Саратовского государственного аграрного университета. – Саратов. – 2011. – № 8. – С. 47–51.

16. Нуралин, Б.Н. Обоснование местоположения дополнительных приспособлений на рабочем органе плоскореза-глубокорыхлителя [Текст] / М.М. Константинов, А.Н. Хмура, К.С. Потешкин, Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2011. – № 2. – С. 78–80.

Монография

17. Нуралин, Б.Н. Повышение эффективности ресурсосберегающих технологических систем при возделывании зерновых культур [Текст] / Б.Н. Нуралин. – М.: Колос, 2010. – 215 с.

Рекомендации производству и учебные пособия

18. Нуралин, Б.Н. Рекомендации по регулировке и настройке машин для подготовки почвы и посева [Текст] / М.М. Константинов, В.А. Любич, Б.Н. Нуралин и др.; одобрены НТС департамента АПК администрации Оренбургской области. – Оренбург, 2004. – 32 с.

19. Нуралин, Б.Н. Рекомендации по настройке и использованию техники на уборке урожая зерновых культур [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.И. Митрофанов и др.; одобрены НТС департамента АПК администрации Оренбургской области. – Оренбург, ОГАУ, 2004. – 41 с.

20. Нуралин, Б.Н. Средства механизации для ресурсосберегающей технологии возделывания зерновых культур в Западном Казахстане [Текст] / Б.Н. Нуралин: учебное пособие, рекомендованное республиканским учебно-методическим объединением по инженерным специальностям при КазНАУ (г. Алматы). – Уральск: Дастан, 2005. – 75 с.

21. Нуралин, Б.Н. Курсовое проектирование по сельскохозяйственным машинам [Текст] / М.М. Константинов, Ю.И. Коровин, Б.Н. Нуралин и др.: учебное пособие, допущенное Министерством с/х РФ для студентов вузов по специальности «Механизация сельского хозяйства». – Оренбург, ОГАУ, 2007. – 178 с.

22. Нуралин, Б.Н. Рекомендации по уборке низкорослых и изреженных хлебов [Текст] / М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, Б.Н. Нуралин; одобрены НТС департамента АПК Актюбинской области. – Уральск, 2009. – 56 с.

23. Нуралин, Б.Н. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.Н. Федоров и др.; одобрены НТС ТОО «Уральская сельхозопытная станция», «Актюбинская сельхозопытная станция» при АО «Казагроинновация» МСХ Республики Казахстан. – Уральск, 2010. – 45 с.

Статьи в сборниках научных трудов и материалах научных конференций

24. Нуралин, Б.Н. Предпосылки к обоснованию схемы комбинированного орудия для обработки целинных солонцов [Текст] / М.Д. Подскребко, Б.Н. Нуралин // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов: тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1981. – Вып. 167. – С. 82–94.

25. Нуралин, Б.Н. Обоснование схемы комбинированного рыхлителя для мелиоративной обработки солонцов [Текст] / И.Я. Штейнерт, Б.Н. Нуралин, Д.В. Сакара // Уральские нивы. – 1985. – № 10. – С. 58.

26. Нуралин, Б.Н. Обоснование положения стойки на подпятнике рыхляще-подрезающей лапы [Текст] / Б.Н. Нуралин, Д.В. Сакара // Вопросы экономики, агрономии и зоотехнии, механизации, математики и педагогики: сб. науч. тр. Зап. Каз. СХИ. – Уральск, 1996. – С. 233–236.

27. Нуралин, Б.Н. Методика определения физических констант для солонцовых почв [Текст] / Б.Н. Нуралин, Д.В. Сакара // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2001. – № 10. – С. 48–52.

28. Нуралин, Б.Н. Результаты экспериментальных исследований по определению физических констант солонцов [Текст] / Б.Н. Нуралин, Д.В. Сакара // Научно-технический прогресс и производство: тр. ЗКГУ. – Уральск, 2001. Вып. 1. – С. 28–31.

29. Нуралин, Б.Н. Современная технологическая политика и ее роль в проблеме землепользования Западного Казахстана [Текст] / Б.Н. Нуралин, М.М. Константинов // Экономика-правовые и экологические проблемы землепользования в условиях рыночной экономики России и стран СНГ: материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. – Оренбург, 2003. – С. 215–219.

30. Нуралин, Б.Н. Современное состояние сельского хозяйства в Западном Казахстане и роль интеграции вузов по внедрению передовых технологий [Текст] / Б.Н. Нуралин // Интеграционная модель аграрного университета: академическая наука – образование – производство: материалы выездного заседания Бюро отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии. 9–11 июня 2003 г. – Оренбург, ОГАУ, 2003 г. – С. 43–46.

31. Нуралин, Б.Н. Роль трансформации солнечной энергии в эколого-энергетической устойчивости земледелия Западного Казахстана [Текст] / Х.Х. Кусайнов, Б.Н. Нуралин // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2003. – № 8. – С. 46–47.

32. Нуралин, Б.Н. Эколого-экономическая эффективность и воспроизводство почвенного энергетического потенциала в сельском хозяйстве Западного Казахстана [Текст] / Б.Н. Нуралин, Х.Х. Кусайнов, Г.М. Мурадимова // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2003. – № 8. – С. 47–50.

33. Нуралин, Б.Н. Основные факторы стабилизации почвенного плодородия [Текст] / Б.Н. Нуралин, Х.Х. Кусайнов, Г.М. Мурадимова // Проблемы комплексного освоения природных ресурсов Западного Казахстана и Южного Урала: материалы республиканской научной конференции. – Актобе, 2003. – С. 131–135.

34. Нуралин, Б.Н. Обоснование зональной технологии обработки почвы в Западном Казахстане [Текст] / Б.Н. Нуралин // Научный журнал «Поиск». Серия естественных и технических наук. – Алматы, 2003. – № 4. – С. 95–98.

35. Нуралин, Б.Н. Проблемы технической оснащенности АПК и пути повышения эффективности их использования в регионе Западного Казахстана [Текст] / Б.Н. Нуралин // Агроинженерная наука – повышение эффективности АПК: материалы международной научно-практической конференции. Книга 2. – Алматы, 2003. – С. 12–15

36. Нуралин, Б.Н. Роль интеграции Казахстана и России в восстановлении и развитии материально-технического потенциала АПК регионов [Текст] / Б.Н. Нуралин, Л.А. Садыкова, Г.М. Мурадимова // Интеграционный союз Казахстана и России и вызовы глобализации: материалы международной научно-практической конференции. – Уральск, 2003. – С. 158–161.

37. Нуралин, Б.Н. Состояние и перспективы формирования системы машин сельскохозяйственного производства на современном этапе [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин // Повышение устойчивости биоресурсов на адаптивно-ландшафтной основе: материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. – Оренбург, 2003. – С. 49–53.

38. Нуралин, Б.Н. Состояние и перспективы формирования системы машин сельскохозяйственного производства в условиях ограниченности технических ресурсов [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.И. Бежин // Развитие инновационных процессов в агропромышленном комплексе Оренбургской области:

тр. региональной научно-производственной конференции. – Оренбург, 2003. – С. 90–94.

39. Нуралин, Б.Н. Проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства Западно-Казахстанской области [Текст] / Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург. – 2004. – № 1. – С. 15–16.

40. Нуралин, Б.Н. Обоснование принципов формирования системы машин для степных регионов [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург. – 2004. – № 1. – С. 32–35.

41. Нуралин, Б.Н. Совершенствование организации использования системы машин в условиях дефицита технических средств аграрного сектора [Текст] / Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург. – 2004. – № 2. – С. 29–30.

42. Нуралин, Б.Н. Влияние уровня технической оснащенности на эффективность использования энергии в сельскохозяйственном производстве [Текст] / Б.Н. Нуралин, Х.Х. Кусаинов // Народное хозяйство Западного Казахстана: состояние и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции, посвященной Году России в Казахстане и 50-летию освоения целинных и залежных земель. – Уральск, 2004. – С. 340–342.

43. Нуралин, Б.Н. Совершенствование технической оснащенности сельскохозяйственного производства степных регионов [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, В.А. Семченко // Разработка и внедрение эффективных энергосберегающих технологий: материалы международной научно-технической конференции: тр. Оренбургского регионального отд. Российской инженерной академии. – Оренбург, 2004. – Вып. 4. – С. 89–96.

44. Нуралин, Б.Н. Инновационные направления совершенствования технического оснащения сельскохозяйственного производства [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.И. Бежин // Инновационные процессы в растениеводстве и роль службы сельскохозяйственного консультирования в их развитии: материалы региональной научно-практической конференции. – Оренбург, 2005. – С. 211–216.

45. Нуралин, Б.Н. Сохранение земельных ресурсов – главная эколого-экономическая задача [Текст] / Б.Н. Нуралин, В.С. Кухта, А. Хамсин // Сохранение окружающей среды – важнейшая проблема современности: материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. – Орал, 2005. – С. 202.

46. Нуралин, Б.Н. Оптимизация эксплуатационных параметров посевного агрегата [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.Н. Федоров и др. // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург. – 2005. – № 2(6). – С. 68–71.

47. Нуралин, Б.Н. Перспективные направления технического обеспечения сельскохозяйственного производства Западного Казахстана [Текст] / Б.Н. Нуралин // Известия Оренбургского госагроуниверситета. – Оренбург. – 2005. – № 2(6). – С. 79–83.

48. Нуралин, Б.Н. Основные направления кластерного развития зернового производства Западно-Казахстанской области [Текст] / Б.Н. Нуралин, С.Ч. Примбетова // Кластерно-индустриальное развитие аграрного производства: основные проблемы и перспективные направления: материалы международной научно-практической конференции. – Алматы: Агроуниверситет, 2005. – С. 119–122.

49. Нуралин, Б.Н. Современное состояние зернового производства Западно-Казахстанской области [Текст] / Б.Н. Нуралин, С.Ч. Примбетова // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы: Издательство «Бастау». – 2005. – № 12. – С. 5–6.

50. Нуралин, Б.Н. Экономическая целесообразность развития интеграции в рамках ШОС для Казахстана [Текст] / Б.Н. Нуралин, С.Ч. Примбетова // Шанхайская Организация Сотрудничества: проблемы и перспективы межгосударственных отношений в Евро-Азиатском регионе: материалы международной научно-экономической конференции. – Уральск, 2006. – С. 214–219.

51. Нуралин, Б.Н. Обоснование типа рабочих органов и их воздействия на почву для разработки энергосберегающих технологий [Текст] / Б.Н. Нуралин, С.З. Есенжанов // Вестник Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – Астана. – 2010. – № 1 (58). – С. 3–7.

52. Нуралин, Б.Н. Теоретические предпосылки к разработке средств механизации влагосберегающей почвообработки / Б.Н. Нуралин, С.З. Есенжанов // Вестник Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – Астана. – 2010. – № 1. – С. 106–111.

53. Нуралин, Б.Н. Дифференциальные уравнения движения элемента почвенного пласта [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников // Materiali VII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 07–15 czerwca 2011 roku «Aktualne problemy nowoczesnych nauk-2011». – Przemysł, Nauka i studia, 2011. – С. 19–24.

54. Нуралин, Б.Н. Прогноз развития технического оснащения степных регионов Южного Урала и Западного Казахстана [Текст] / М.М. Константинов, И.В. Попов, Д.В. Шишкин, Б.Н. Нуралин // Materiali VII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 07–15 sierpnia 2011 roku «Nauka: Teoria i Praktyka – 2011». – Przemysł, Nauka i studia, 2011. – С. 87–92.

55. Нуралин, Б.Н. Обоснование угла установки направляющих салазок снегопаха [Текст] / М.М. Константинов, Р.Э. Галлиев, Д.В. Шишкин, Б.Н. Нуралин // Materiali VII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 07–15 sierpnia 2011 roku «Nauka: Teoria i Praktyka -2011». – Przemysł, Nauka i studia, 2011. – С. 92–95.

56. Нуралин, Б.Н. Совершенствование конструкции пневматических сеялок с горизонтальным расположением коллектора-распределителя семян [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.Н. Федоров // Труды международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК». – Оренбург, 2010. – Ч. 1. – С. 515–518.

Патенты на изобретение

57. Патент на изобретение RU 2279780 С2. Воздушный коллектор-распределитель семян [Текст] / М.М. Константинов, А.Н. Федоров, Б.Н. Нуралин и др. (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации) // БИ. – № 20 от 20.07.2006 г.

58. Патент на полезную модель RU 79005 U1. Дисковый плуг [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников, А.Н. Федоров (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации) // БИ. – № 35 от 20.12.2008 г.

59. Патент на изобретение KZ В 22323. Рыхлитель для основной обработки почвы [Текст] / М.М.Константинов, С.З. Есенжанов, С.В. Олейников, Б.Н. Нуралин (Комитет по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан) // БИ. № 2 от 15.02.2010 г.

60. Патент на изобретение RU № 2010123249/13(033070) от 07.06.2010 г. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы [Текст] / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, А.Н. Хмура (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федераций) // Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 01.09.2011 г.

61. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011617543. Компьютерная программа для расчета энергетических затрат на фрезерование почвы / заявители М.М. Константинов, Р.Э. Галлиев, Б.Н. Нуралин, А.Н. Хмура, К.С. Потешкин // РОСПАТЕНТ. – Заявка № 2011615864. Заявлено 04.08.2011, опубликовано 28.09.2011.

НУРАЛИН Бекет Нургалиевич

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАНЕНИЯ
И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать 25.10.10.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,0. Печать трафаретная.

Бумага офсетная. Заказ № 4211. Тираж 100 экз.

Издательский центр ОГАУ

460795, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18

Тел.: (3532)77-61-43

