

На правах рукописи

Сюмак Анатолий Васильевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СИСТЕМЕ
БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
(в условиях Дальневосточного региона)**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2014

Диссертационная работа выполнена в Государственном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» Россельхозакадемии и Государственном научном учреждении «Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Россельхозакадемии.

Научный консультант: **Доценко Сергей Михайлович**,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный изобретатель РФ

Официальные оппоненты: **Горбачёв Иван Васильевич**,
член-корреспондент РАСХН, академик-секретарь
Отделения механизации, электрификации и
автоматизации Россельхозакадемии, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор
Фирсов Максим Максимович, доктор технических
наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
заслуженный машиностроитель РФ
Макаров Валентин Алексеевич,
доктор технических наук, профессор, государственное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт механизации агрохимиче-
ского обслуживания сельского хозяйства Россельхоза-
кадемии», главный научный сотрудник

Ведущая организация: **Московский государственный агроинженерный
университет им. В. П. Горячкина**

Защита состоится «___» _____ 2014 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 006.020.01 при Государственном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» Россельхозакадемии (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии) по адресу: 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВИМ Россельхозакадемии и на сайте www.vim.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

И. А. Пехальский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В настоящее время сельскохозяйственные производители России, в том числе и Дальневосточного региона, находятся в сложном положении из-за складывающегося диспаритета цен между стоимостью сельскохозяйственной продукции и стоимостью энергоносителей, средств химизации, машин и оборудования. Выходом из данной ситуации может быть резкое снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции за счет роста производительности труда с привлечением достижений науки и передового опыта.

Существующие интенсивные технологии возделывания любых сельскохозяйственных культур базируются в основном на многооперационных проходах машинно-тракторных агрегатов, использовании химических средств интенсификации и защиты растений, вызывающих трансформацию физических свойств почв, а также развитие процессов ее деградации.

Многолетние данные об урожайности сои и зерновых культур показывают, что несмотря на применяемые средства интенсификации, их урожайность в среднем по Амурской области остается невысокой, практически на одном уровне: соя – 0,96 т/га, зерновые культуры – 1,22 т/га.

Это связано с тем, что базовые технологии возделывания сои и зерновых культур основаны на глубокой (20...22 см) обработке почвы, включающей многократные проходы почвообрабатывающих, посевных и других сельскохозяйственных машин в агрегате с тяжелыми колесными тракторами массой 12 и более тонн. Все это приводит к переуплотнению пахотного горизонта и поверхностному застою влаги, значительно снижая активность почвенной микрофлоры. Кроме того, тяжелые машинно-тракторные агрегаты весной при обработке почвы создают две зоны переуплотнения: одну на глубине 80...100 см под весом агрегата, другую на глубине обработки по дну борозды, где формируется плотная «плужная подошва».

Эти два уплотненных слоя перекрывают движение влаги в обоих направлениях, и усиливают засуху в первый период вегетации.

Уплотненная почва, в свою очередь, приводит к нарушению водно-воздушно-температурного режимов, а также ухудшению роста и развития растений.

Исследования по изучению соответствия серийного комплекса машин современным ресурсосберегающим технологиям возделывания сои и зерновых культур показали, что имеющаяся почвообрабатывающая и посевная техника не отвечает предъявляемым требованиям по качеству обработки почвы, расходу горюче-смазочных материалов, неравномерности глубины заделки семян при посеве, а также по степени механических повреждений и уничтожения растений при бороновании посевов до всходов и по всходам.

Несоответствие средств механизации и технологий предъявляемым требованиям не позволяет реализовать потенциальные возможности районированных сортов, что приводит к дополнительным затратам труда и энергии, а также является одной из главных причин низкого уровня эффективности производства сои и зерновых культур в Дальневосточном регионе.

В этой связи повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур путем разработки нового способа обработки почвы и создания комплекса машин нового поколения для системы биологического земледелия является актуальным и требует комплексного решения.

Научная гипотеза сформулирована так: повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур возможно и целесообразно в трехпольном звене севооборота (соя – зерновые культуры – сидеральный пар) путем установления закономерностей и зависимостей для создания оптимальных условий жизнедеятельности микрофлоры на измельченном почвенно-травяном субстрате и специальных ресурсосберегающих технических средств, обеспечивающих качественное выполнение процессов приготовления этого субстрата и поддержания оптимального водно-воздушно-температурного режима в среде обитания культурных растений.

Цель исследований – разработка технологии и новых средств механизации возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия (без применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений), обеспечивающих повышение урожайности путём интенсификации процессов приготовления почвенно-травяного субстрата из естественного травостоя и поддержания оптимального водно-воздушно-температурного режима зоны обитания культурных растений.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи исследований**:

1. Разработать общую экономико-математическую модель биотехнологической системы «почвенно-травяной субстрат → растение → машина» для возделывания сои и зерновых культур.

2. Теоретически обосновать механизированный процесс получения почвенно-травяного субстрата из естественного травостоя заданных состава и свойств.

3. Обосновать конструкционные параметры и режимы работы новых технических средств по критериям эффективности и ресурсосбережения, включая:

- роторное почвообрабатывающее орудие с активными рабочими органами;
- машины многофункциональной универсальной со сменными комбинированными рабочими органами для предпосевной обработки почвы, посева зерновых культур, сои и ухода за посевами;

- бороны с пружинно-пальцевыми зубьями.

4. Провести производственную проверку основных результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку и разработать рекомендации производству.

Научную новизну исследований представляют:

- общая экономико-математическая модель биотехнологической системы «почвенно-травяной субстрат → растение → машина» возделывания сои и зерновых культур;

- математические модели для формирования механизированного процесса получения почвенно-травяного субстрата из естественного травостоя заданных состава и свойств;

- конструктивно-технологические схемы новых машин: почвообрабатывающего орудия с активным приводом рабочих органов для основной обработки сидеральных паров и залежных земель с одновременной заделкой зеленой или сухой массы в верхний слой почвы; машины многофункциональной универсальной для предпосевной обработки почвы, посева сои и зерновых культур, бороны пружинно-пальцевой с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и углу атаки для боронования посевов;

Новизна способа воспроизводства плодородия почвы и технических решений для его реализации защищена одним авторским свидетельством, 13-ю патентами РФ на изобретения и 2-мя патентами РФ на полезную модель.

Теоретическую значимость работы составляют:

- теория механизированного процесса получения почвенно-травяного субстрата из естественного травостоя заданных состава и свойств, включающая обоснование параметров процесса разрушения биологической массы исходного стебельного сырья в системе «почва→стебель и корень растения→машина»;

- математический аппарат для расчета совокупности параметров операционной технологии возделывания сои и зерновых культур с использованием для ее реализации новых технических средств;

- теория и методы расчета новых машин: почвообрабатывающего орудия с активными рабочими органами машины многофункциональной универсальной для предпосевной обработки почвы, посева сои и зерновых культур, бороны пружинно-пальцевой для боронования посевов.

Практическую ценность работы представляют новый способ воспроизводства плодородия почвы и новые технические средства для его реализации при возделывании сои и зерновых культур.

Методология и методы исследования. Общей методологической основой исследований являлось использование системного подхода, обеспечивающего рассмотрение процессов возделывания сои и зерновых культур в трехпольном звене севооборота с учетом взаимосвязей технологических и конструктивных параметров технических средств. В аналитических исследованиях использованы

методы и положения теоретической механики, сопротивления материалов и теории вероятностей.

Экспериментальные исследования проводились на пилотных установках с использованием методов планирования многофакторных экспериментов и математического моделирования. Анализ и обработка полученного экспериментального материала осуществлялись с помощью методов математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

– технологические и методологические подходы к обоснованию полученной экономико-математической модели оценки эффективности технологий и технических средств, используемых в системе биологического земледелия;

– аналитические и эмпирические зависимости и модели, позволяющие обосновать параметры и режимы процессов получения почвенно-травяного субстрата, посева, боронования и культивации при возделывании сои и зерновых культур в системе биологического земледелия;

– новый комплекс технологических и технических решений, направленный на повышение плодородия почвы в трехпольном звене севооборота.

Степень достоверности и апробация результатов исследований

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждена сходимостью результатов теоретических исследований и экспериментальных данных, а также положительными результатами приемочных испытаний новых машин.

Выпущены малыми сериями три типа новых машин и орудий для обработки почвы, агрегируемых с тракторами классов 1,4 и 2,0.

Основные положения диссертации опубликованы в 91 печатной работе общим объемом 139,44 печ. л., включая 16 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

По результатам исследований разработаны рекомендации по высокоэффективному использованию техники нового поколения в соево-зерновом севообороте, нашедшие отражение в научных работах, опубликованных в «Системе техно-

логий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011–2015 гг.». Издана в открытой печати научная монография «Повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия».

Основные положения диссертации доложены и получили положительные оценки на научных конференциях профессорско-преподавательского состава ДальГАУ (Дальневосточный государственный аграрный университет) (2003–2010 гг.), региональных научно-практических конференциях по результатам годовых НИР в области механизации сельского хозяйства (1987–2011 гг.), краевых и областных совещаниях и семинарах специалистов сельского хозяйства, а также на Всероссийских и Международных научно-практических конференциях (2003–2012 гг.).

Разработанные образцы машин и сменных рабочих органов неоднократно экспонировали на Амурской ВДНХ, где были отмечены серебряной медалью и дипломами.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 412 наименований (14 источников на иностранных языках) и приложений. Работа изложена на 412 страницах компьютерного текста, содержит 140 рисунков и 43 таблицы.

Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту, зав. лабораторией технологии переработки сельхозпродукции ВНИИ сои, д-ру технических наук С.М. Доценко, д-ру тех. наук, профессору, члену-корреспонденту РАСХН А.А. Артюшину, директору ВНИИ сои, академику РАСХН В.А. Тильбе, д-ру сельскохозяйственных наук В.В. Русакову, зав. лабораторией севооборотов и технологии возделывания сои ВНИИ сои, канд. с.-х. наук А.Н. Гайдученко, также руководителям крестьянско-фермерских хозяйств Ю.П. Кириленко (КФХ «Деметра» Благовещенского р-на) и А.Т. Жуковину (КФХ «Жуковина») за оказанную всестороннюю помощь и поддержку при выполнении данной диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности диссертационной работы, её научную новизну и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние проблемы возделывания сои и зерновых культур в условиях Дальневосточного региона» дана оценка состоянию производства сои в Амурской области, которая занимает ведущее место в Дальневосточном регионе.

Проблема повышения урожайности сои и зерновых может быть решена успешно лишь на основе системы мероприятий, основное место среди которых принадлежит активному внедрению высокоэффективных, ресурсосберегающих технологий на базе высокопроизводительной и качественной техники нового поколения.

Научно-исследовательскими институтами (ВНИИ сои, ДальНИИСХ, ПримНИИСХ, ДальНИИМЭСХ и другими) проведены многолетние исследования по вопросам создания машин и сменных рабочих органов для возделывания сои и зерновых культур. Вопросам повышения эффективности механизации производства сои и зерновых культур – исследования А.Т. Волкова, Б. И. Кашпуры, Ю.В. Терентьева, Н.Д. Сысорова, Б.Х. Федченко, М.Г. Гершевича, В.И. Свешникова, А.М. Емельянова, И.В.Бумбара, А.Ф. Кислова, Г.И. Орехова, В.А. Мунгалова и ряда других. Их основные положения базируются на фундаментальных исследованиях В.П. Горячкина, Н.М. Летошнева, В.А. Кубышева, Н.В. Краснощекова, Г.Е. Листопада, А.Н. Семенова, А.Б. Лурье и других выдающихся ученых.

Проведенные исследования имеют большую научную и практическую значимость, однако они носят в основном экспериментальный характер и не выходят, как правило, за рамки экспериментальных образцов. Кроме этого, отсутствие исходных требований на современные машины для возделывания сои и зерновых культур создает значительные трудности при их разработке конструкторскими организациями.

Проведенный анализ существующих технологий и технических средств возделывания сои и зерновых культур показал, что в них не упоминается о

системах биологического улучшения плодородия почвы, а также технических средствах нового поколения. Анализ комбинированных почвообрабатывающих широкозахватных агрегатов показывает, что агрегируются они тяжелыми колесными тракторами класса 5 и более, и в силу многократных технологических проходов обладают техногенными воздействиями на почву. Она уплотняется, уменьшается ее пористость и тем самым инактивируется жизнедеятельность аэробных микроорганизмов. Необходимо отметить, что на агрегирование этих орудий затрачивается от 30 до 60% мощности энергосредства и требуется большой расход топлива. Для значительного снижения этих показателей требуется ускоренная разработка и освоение почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин с активным приводом рабочих органов – за ними будущее.

Разработка ресурсосберегающей технолого-технической системы должна предусматривать применение современных методов контроля выполняемых работ, поддержание высокой надежности выполнения технологического процесса работы машин при изменении условий.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить противоречие между желанием повысить плодородие почвы, урожайность сои и зерновых культур и возможностями, связанными с отсутствием базы данных для проектирования технических средств, позволяющих в 3-польных короткоротационных севооборотах осуществлять качественное выполнение процессов.

Анализ и обобщение состояния проблемы и результатов ранее проведенных исследований послужили основой для формулирования научной гипотезы и задач исследований, приведенных выше.

Во второй главе «Экономико-математическое моделирование технологий возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия и теоретическое обоснование параметров технических средств нового поколения для их реализации» указывается, что при разработке биотехнологической системы, связанной с производством сои и зерновых культур, нами приня-

та за основу биотехнологическая система, включающая короткоротационный трёхпольный севооборот

1. Пар с сидератом на основе естественного травостоя;
2. Зерновые культуры (пшеница, ячмень);
3. Соя.

Формализованная модель получения продукции в 3-польном звене севооборота представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Формализованная модель получения продукции в 3-польном звене севооборота

Функционирование биотехнологической системы в 3-польном короткоротационном звене севооборота пар → зерновые → соя → пар с сидератом из естественного травостоя, включает два этапа, выполняемые в определённые агротехнические сроки.

Первый этап характеризуется получением необходимого и максимально возможного количества биологической массы – M_B естественного травостоя, при

определенном воздействии совокупности факторов внешней среды – климат – $\Phi_1(t)$, ландшафт – $\Phi_2(t)$, рельеф поля – $\Phi_3(t)$ и т.д.

Второй этап характеризуется воздействием совокупности биологических – $B(t)$, технологических – $T(t)$ и конструктивно-режимных – $KP(t)$ факторов на подсистему почвенно-травяной субстрат → растение → машина.

Функционирование данной системы направлено на получение максимально возможного количества питательных веществ в почве, путем обеспечения оптимальных условий для биотрансформации органического вещества – $q(t_{TP})$.

Формализованная схема биотехнологической системы (БТС), с учетом перехода её состояний в 3-польном звене севооборота (для одного поля) представлена на рисунке 2, где $\lambda_i(t)$ – степень дезинтеграции органических веществ.

Согласно данной схеме, в начальный период происходит накопление питательных веществ в травостое с параметрами M_B , ℓ_{CT} , σ_B , F_{CT} . Получение субстрата с размером частиц субстрата $\ell_{\text{ч}}$, обусловленного степенью измельчения стеблестоя $\lambda_i(t_{TP})$ в процессе его механической обработки, с одновременным рыхлением почвы и заделкой.

Управление качеством функционирования БТС сводится к раскрытию следующего целевого функционала:

$$q(t_{TP}) = f(M_B; W_{II}; t^o; \lambda) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $q(t_{TP})$ – количество питательных веществ (ПВ) – гумуса, накапливаемых в процессе биотрансформации биомассы, %; M_B – биомасса травостоя (урожайность, ц/га); W_{II} – влажность почвы и травостоя; t^o – температура внешней среды, почвы; λ – степень измельчения биомассы травостоя и стерни.

Количество ПВ, в зависимости от параметра M_B , характеризуется получением субстрата определенного качества, обусловленного прежде всего степенью измельчения $\lambda(t)$ травостоя с урожайностью M_B .

Степень измельчения, в зависимости от факторов в общем её виде, можно представить как

$$\lambda^M(t) \cdot \lambda^F(t) = f(\ell_{cm}; W_{cm}; F_{cm}; \sigma_{разр}; \ell_{\text{ч}}; \rho_{cm}; \rho_n) \rightarrow \max, \quad (2)$$

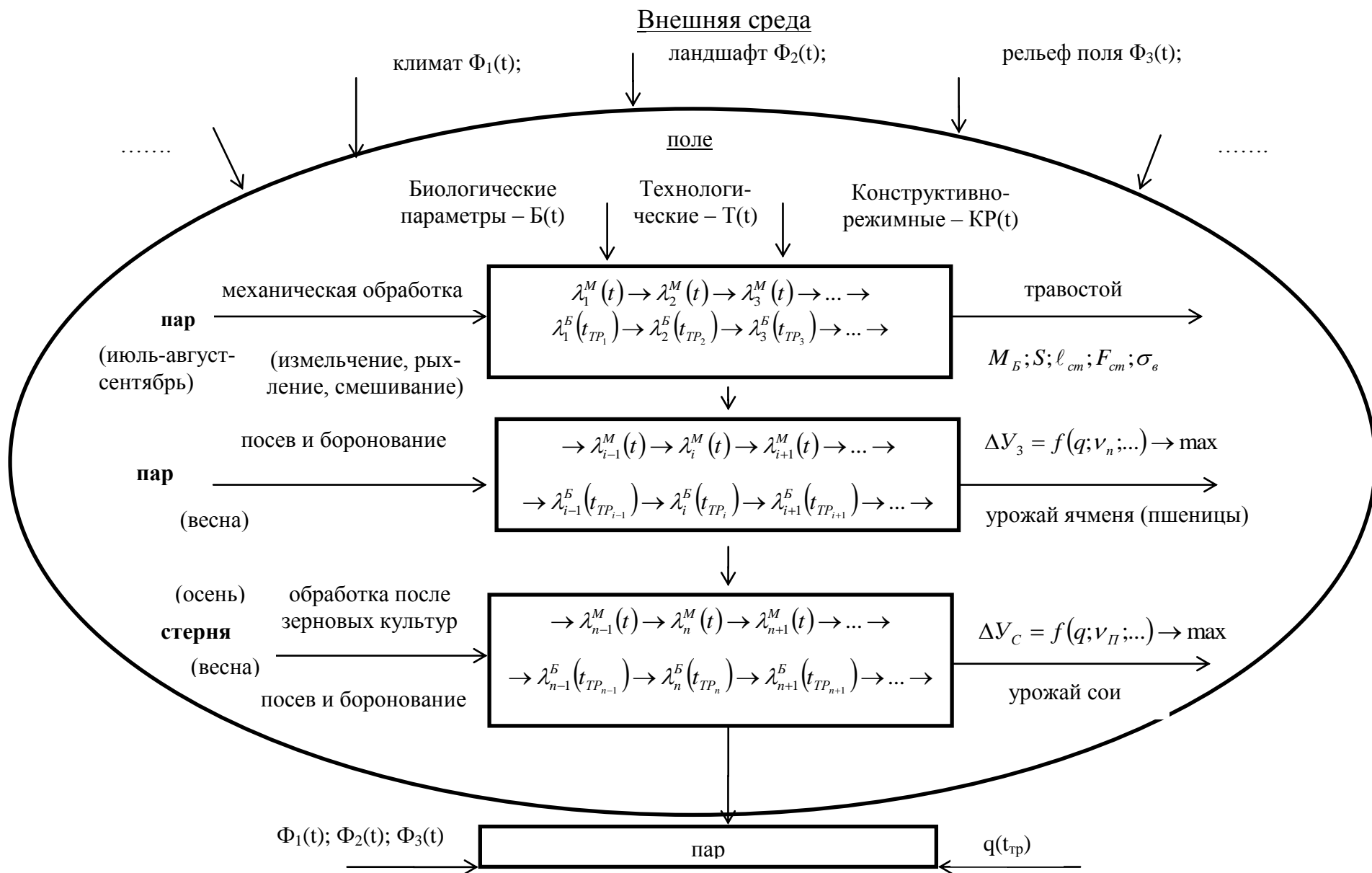


Рисунок 2 – Формализованная схема перехода состояний биотехнологической системы в 3-польном короткоротационном звене севооборота (для одного поля)

где $l_{ст}$, $l_ч$ – длина стеблей и частиц, м; $W_{ст}$ – влажность стеблей, %; $F_{ст}$ – площадь поперечного сечения стеблей травостоя, м²; $\sigma_{разр}$ – напряжение разрушения стеблей, Па; $\rho_{ст}$, $\rho_п$ – плотность стеблей, стерни и почвы, кг/м³.

В свою очередь, значения показателя $\lambda(t)$ характеризуются зависимостью от параметров обрабатывающей машины, в качестве которой нами принят роторный плуг с активными рабочими органами – дисками – $\lambda = f[kp(t)] \rightarrow \max$.

При этом для запуска биологической подсистемы в рассматриваемой системе в «работу» необходимо обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов

$$q(t_{TP}) = f(\lambda; t_{TP}; v_c; W_b; W_{II}; t^o; O_2; N) \rightarrow opt, \quad (3)$$

где v_c – неравномерность однородности почвенно-травяного субстрата;

W ; t ; O_2 ; N – параметры среды (водно-воздушный и температурный режимы в почве).

Процесс биотрансформации для получения биомассы, при её превращении в гумус, можно представить как

$$q_i = q_n \cdot e^{-ct_{TP}}, \quad (4)$$

где q_i , q_n – текущее и начальное значения содержания биомассы; t_{TP} – продолжительность биотрансформации органических веществ в почве; e – эмпирический коэффициент, учитывающий интенсивность биотрансформации.

Для начального значения биомассы, можно записать

$$q_n = \frac{\lambda \cdot V_ч \cdot \rho_{cm}}{S_{TP} \cdot R_{cm}}, \quad (5)$$

где $V_ч$ – объем частицы биомассы, м³; $R_{ст}$ – коэффициент, учитывающий плотность стеблестоя, шт/м²; $\rho_{ст}$ – плотность стебля, кг/м³; S_{TP} – площадь травостоя, м².

Для конечного значения биомассы

$$q_k = R_{TP} \cdot \left[\frac{\left(\frac{l_{cm}}{l_ч} \right) \cdot V_ч \cdot \rho_{cm}}{S_{TP} \cdot R_{cm}} \right], \quad (6)$$

где R_{TP} – коэффициент биотрансформации.

Преобразование выражения (4) относительно параметра t_{TP} дает

$$t_{TP} = \frac{2,3}{\psi} \ln \left[\frac{\lambda \cdot V_q \cdot \rho_q}{S_{TP}} \middle/ R_{TP} \cdot \left(\frac{V_q \cdot \rho_q}{S_q} \right) \right], \quad (7)$$

где ψ – эмпирический коэффициент, учитывающий условия биотехнологического процесса трансформации; S_{TP} , S_q – площадь, занятая травостоем и частицами.

По физической сути продолжительность процесса биотехнологической трансформации является функцией степени разрушения в общем её смысле,

$$t_{TP} = \psi_o \ln(\lambda^M \cdot \lambda^B), \quad (8)$$

где $\psi_o = \frac{2,3}{\psi}$; λ^M – степень механического разрушения исходной биомассы;

λ^B – степень биологического разрушения измельченной биомассы.

Биотехнологический подход к созданию оптимальных условий в почвенной локальной среде обосновали на основе физического закона росообразования и разработанной для данных условий модели.

Данная модель учитывает степень неравномерности смешивания измельченной биомассы с почвой для создания оптимальных условий развития и жизнедеятельности микроорганизмов, а также семени сельскохозяйственной культуры.

Зависимость неоднородности почвенно-травяного субстрата, от влияющих на неё факторов, в общем виде можно представить как

$$v_c = f(\rho_o; \rho_i; \ell_q; W_{\Pi}; v_a; h) \rightarrow 0, \quad (9)$$

где ρ_o , ρ_i – соответственно начальная и последующая плотность почвы, $г/см^3$; v_a – скорость движения агрегата, $м/с$; h – глубина рыхления, $м$.

Проведенный анализ внешних и внутренних связей параметров биотехнологической системы в их совокупности, позволяет представить экономико-математическую модель оценки её функционирования в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \PiЗ &= \sum_{i=1}^u (I_i + EK_i) \rightarrow \min \\ \Delta C &= \sum_{j=1}^2 \Delta Y_j \cdot S_j \cdot Ц_{\rho j} \rightarrow \max \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где ПЗ – приведенные затраты по процессам возделывания сои и зерновых культур в 3-польном короткоротационном звене севооборота, руб.; I_i – эксплуатационные затраты по процессам возделывания, руб.; K_i – капитальные вложения по процессам возделывания, руб.; ΔC – стоимость дополнительной продукции – сои и зерновых культур, полученной в результате реализации принятой технологии и разработанных технических решений, руб.; ΔY_j – приращение урожайности сои и зерновых культур в результате реализации новой технологии и технических средств, ц/га; S_j – площадь, на которой возделываются соя и зерновые, га; Π_{pj} – реализационная цена сои и зерновых культур, руб.

Такая составляющая модели (10) как ΔY , на основании проведенного анализа, может быть представлена следующим образом:

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^2 (a_i + b_i q) \rightarrow \max, \quad (11)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты.

В свою очередь, ранее установлено, что $q_k = f(t_{TP})$.

При этом, параметр t_{TP} зависит от таких показателей как $\lambda(L_T)$, $v_c(L_T)$ и $v_\varepsilon(L_T)$, где v_c , v_ε – показатели качества, а L_T – длина гона, м.

Таким образом, в дальнейшем необходимо определить методологические и технологические подходы к выявлению зависимостей, характеризующих данные показатели биотехнологического процесса производства сои и зерновых культур в 3-польном звене короткоротационного севооборота при условии, что $\text{ПЗ} \rightarrow \min$, а $\Delta C \rightarrow \max$.

Процесс получения почвенно-травяного субстрата характеризуется необходимостью его получения на основе биомассы стеблей естественного травостоя или частиц стерни в измельченной форме с их размещением в разрыхленном почвенном слое на глубине от 8 до 10 см. Выполнение данного процесса возможно и целесообразно с помощью роторного плуга с активными дисковыми органами.

Формализованная схема подсистемы поле → роторный плуг представлена на рисунке 3.

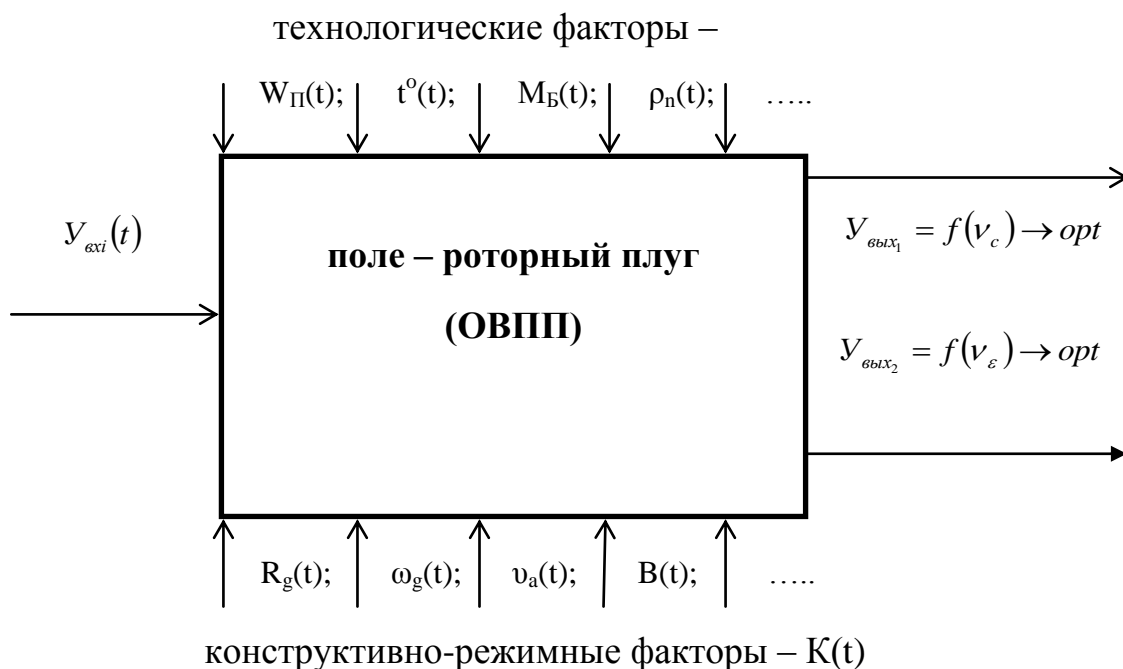


Рисунок 3 – Формализованная схема подсистемы «поле – роторный плуг»

Данная подсистема характеризуется совокупностью входных – Y_{vxi} , технологических – $T(t)$ и конструктивно-режимных параметров $K(t)$, которые оказывают влияние на выходные параметры

$$\left. \begin{aligned} Y_{vbiX_1} &= f(v_c) \rightarrow opt; \\ Y_{vbiX_2} &= f(v_\varepsilon) \rightarrow opt \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

Обоснованы параметры процесса разрушения биологической массы исходного стебельного сырья в подсистеме почва→стебель и корень растения→машина. Получена энергетическая модель данного процесса, учитывающая как исходные характеристики сырья, так и их изменение в процессе биотехнологической трансформации.

Энергия, необходимая на разрушение стебля, с учетом процесса биотрансформации, определится как

$$\Pi = \frac{W_{изг} \cdot \sigma_{\text{вн}} \cdot e^{-c\psi_0 \ln(\lambda^M \cdot \lambda^B)}}{E \cdot I_x} \int_0^{\ell} \left[\begin{array}{l} \frac{\sin^2 k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot z}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cos k \cdot \ell} \cdot \cos k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z - \\ - \cos k \cdot z \cdot sh \cdot k \cdot z - \sin k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z + \\ + \frac{\cos^2 k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot z}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cos k \cdot \ell} \cdot \sin k \cdot z \cdot sh \cdot k \cdot z \end{array} \right]^2 dz \quad (13)$$

где ℓ – длина стебля, м; $W_{изг}$ – момент сопротивления изгибу поперечного сечения стебля, Н.м; λ^M – степень разрушения материала; σ – предел прочности стебля при растяжении, Па; c – коэффициент, учитывающий влияние управляемых и неуправляемых факторов на процесс разрушения стеблей, кДж/кг; $E I_x$ – жесткость стебля при изгибе.

На основании полученной модели обоснована скорость агрегатирования таких технических средств как роторный плуг с активными рабочими органами, селялка-культиватор со сменными комбинированными сошниками, а также пальцево-пружинная борона, учитывающая их энергетические и конструктивно-режимные параметры:

$$v_a = \frac{\Pi \cdot K_{cm} \cdot S}{c \cdot \lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B \cdot t} + \frac{Q \cdot S}{\lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B}, \quad (14)$$

где $K_{ст}$ – количество разрушаемых стеблей, шт.; S – площадь, обрабатываемая агрегатом, га; B – ширина захвата агрегата, м; $M_{ст}$ – масса стеблестоя, ц/га; v_a – скорость движения агрегата, м/с; t – время работы агрегата, ч; Q – производительность агрегата по разрушению стеблей, га/ч.

По данным С.В. Мельникова, коэффициент C принимается равным для разнотравья – $C=0,7-0,9$ кДж/кг; для стерни: ячмень – $C=0,91-1,17$ кДж/кг; пшеница – $C=0,84-1,08$ кДж/кг; соя – $C=1,2-1,3$ кДж/кг. Процесс биотехнологического улучшения плодородия почвы характеризуется, прежде всего, активацией водного, воздушного и температурного режимов (ВВТ), поддерживающих жизнедеятельность живых организмов – аэробных микроорганизмов и растения на которые они, в конечном итоге, «работают».

На рисунке 4 приведена формализованная модель получения продукции в биотехнологической подсистеме «почвенно-травяной субстрат → зерно → растение → продукция → машина».

При разработке каждой из технических подсистем (рисунок 4) должны учитываться факторы, оказывающие влияние на интенсивность ВВТ режима. Такими факторами являются технологические – $T(t)$, к которым необходимо отнести влажность и температуру почвы, её плотность, а также конструктивно-режимные параметры применяемых технических средств – $K(t)$. При этом, на процесс формирования ВВТ оказывает влияние и множество случайных, неуправляемых факторов, учесть действие которых невозможно.

В этой связи, определенный интерес представляет возможность оценки формирования ВВТ режима, с использованием методов теории вероятностей.

Изменение параметров процесса формирования ВВТ режима для жизнедеятельности микроорганизмов и растений, можно рассматривать как стационарный случайный процесс, обладающий свойством эргодичности по отношению к математическому ожиданию и корреляционной функции.

Рассмотрение процесса биотехнологического улучшения плодородия почвы при возделывании сои и зерновых культур с учетом необходимости активации ВВТ режимов в определенные агротехнические сроки, позволило обосновать подходы к оценке показателей качества процессов измельчения стеблей и рыхления почвы с одновременной их заделкой на паровом поле:

$$\pm v_c = \frac{2}{M_m} \left(\frac{2D_M \cdot \Delta l_0 + D_M \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta l_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta l_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_c]; \quad (15)$$

– для оценки процесса боронования и культивации (рыхления субстрата):

$$\pm v_\varepsilon = \frac{2}{\varepsilon} \left(\frac{2D_\varepsilon \cdot \Delta l_0 + D_\varepsilon \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta l_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta l_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_\varepsilon] \quad (16)$$

– для оценки процесса посева сои и зерновых культур:

$$\pm v_h = \frac{2}{h} \left(\frac{2D_h \cdot \Delta l_0 + D_h \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta l_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta l_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_h], \quad (17)$$

где $[v_c]$; $[v_\varepsilon]$; $[v_h]$ – допустимые значения неравномерности по соответствующим процессам, %;

α , β – параметры корреляционной функции, учитывающие соответственно характер ее убывания и колебания; D_M , D_ϵ , D_{Π} – дисперсия случайных величин соответствующих процессов.

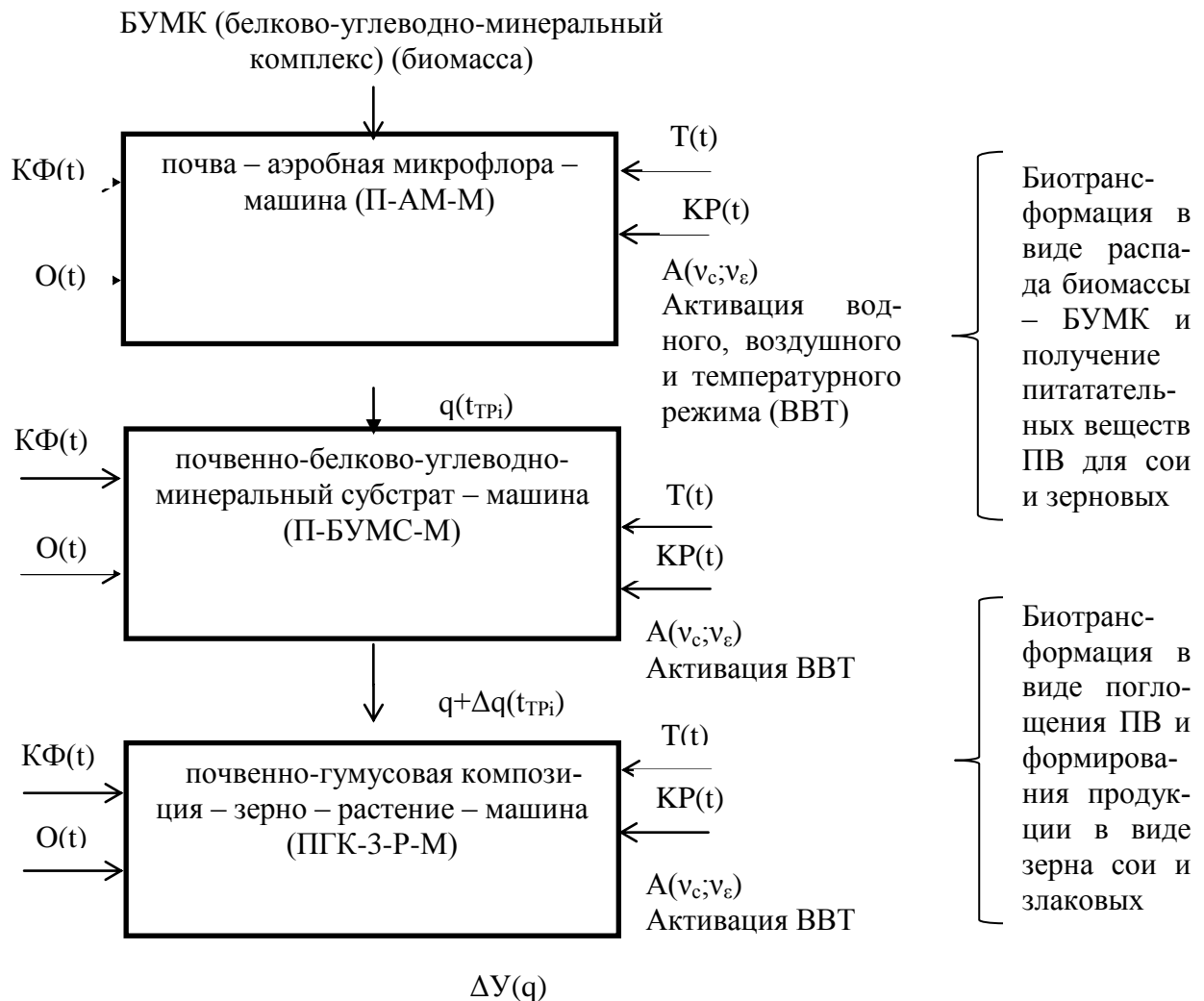


Рисунок 4 – Формализованная модель получения продукции в биотехнологической подсистеме «почвенно-травяной субстрат → зерно → растение → продукция → машина»

Полученные зависимости (15–17) характеризуют качество выполнения технологических процессов, предложенными техническими средствами нового поколения, на обработке сидеральных паров с заделкой сидерата в верхний слой почвы активными рабочими органами не создающими плужной подошвы, посева сои и зерновых сошником в виде стрелчатой лапы, а также рыхление почвы и уничтожение сорняков во время боронования посевов пружинно-пальцевой бороной с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и углу атаки, обеспечивающих активную работу почвен-

ной биоты, повышающей эффективность возделывания сои и зерновых в системе биологического улучшения и плодородия почвы.

Теоретическое обоснование процесса получения почвенно-травяного субстрата заданного состава и свойств

С целью обоснования путей повышения эффективности обработки парового поля с сидератом из травостоя, а также при работе по стерне, разработана формализованная модель взаимодействия элементов подсистемы «почва→естественный травостой (стерня)→агрегат с роторным плугом» (рисунок 5).

Выходным показателем для данной подсистемы является так называемая неоднородность почвенно-травяного субстрата. Под термином «травяной» понимается стеблестой и стерня с корневой системой.

Конструктивно-технологическая схема роторного орудия с активными рабочими органами представлена на рисунке 6.

Для рассматриваемой подсистемы «почва → роторный плуг», уравнение баланса биологической массы сидерата на одном гектаре поля пара при n-обработках и получении исходного и последующего размера частиц субстрата, имеет вид

$$\frac{\sum V_{cm} \cdot \rho_{cm}}{S_{травостоя}} = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_n) \cdot \frac{\sum V_u \cdot \rho_u}{S_{травостоя}}, \quad (18)$$

где
$$\lambda_i = \frac{\ell_{cm}}{\ell_u} \rightarrow opt \quad (19)$$

Для процесса рыхления по формуле
$$\rho_1 = E \cdot \rho_0 \rightarrow opt, \quad (20)$$
 где E – степень рыхления почвы – $E = \frac{\rho_0}{\rho_1}$.

Оптимальную степень рыхления можно достичь при соблюдении условия, что будет обеспечена однородность структурных характеристик (состава) в системе биологическая масса частиц растений – почва, которую можно оценить неравномерностью распределения биологической массы и почвы – v_ε (однородности субстрата) по длине гона – L, кг/м.

Зависимость данного критерия оптимизации, от влияющих на него факторов, в общем виде, можно представить как

$$v_{\varepsilon} = f(L; R; \lambda_i; v_a; \Delta B; R_g; \Delta \alpha; Z_K; t_{\Pi}) \rightarrow 0, \quad (21)$$

где v_a – скорость движения агрегата, м/с; ΔB – отклонение от заданной ширины захвата агрегата, м; $\Delta \alpha$ – отклонение от заданного угла атаки, град.; R_g – радиус диска плуга, м; ω_g – угловая скорость вращения диска плуга, C^{-1} ; Z_g – число дисков на роторе плуга, шт.; t_{Π} – шаг установки дисков, м.



Рисунок 5 – Формализованная модель взаимодействия элементов подсистемы «почва → естественный травостой (стерня) → агрегат с роторным плугом»

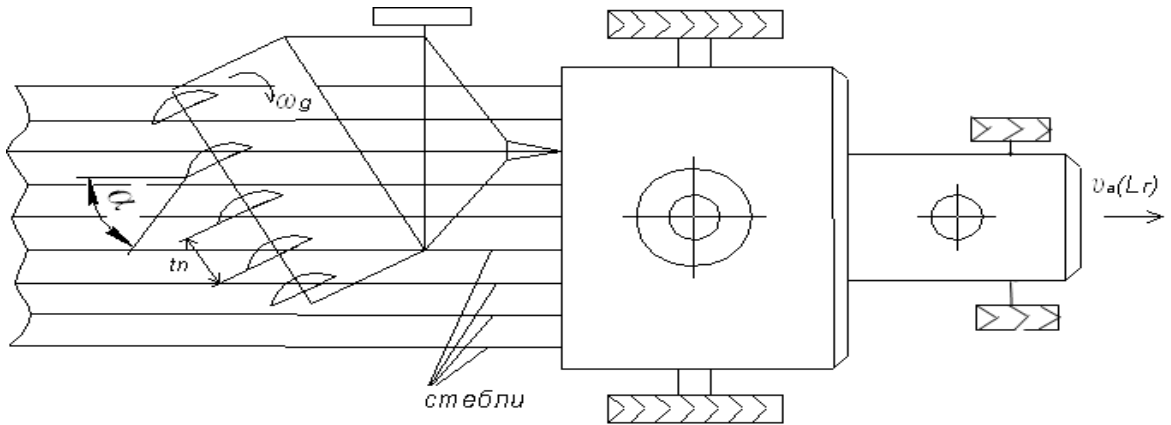


Рисунок 6 – Конструктивно-технологическая схема агрегата с роторным плугом

На основе выражения (18) можно записать

– для первой обработки:

$$\lambda_1 = \frac{V_{cm}^o \cdot \rho_{cm} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{c1} \cdot \rho_{c1} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (22)$$

– для второй обработки:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1 \cdot V_{v1} \cdot \rho_{v1} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{v2} \cdot \rho_{v2} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (23)$$

– для третьей обработки:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot V_{v2} \cdot \rho_{v2} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{v3} \cdot \rho_{v3} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (24)$$

– для n-й обработки сидерата:

$$\lambda_n = \frac{(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}) \cdot V_{vn-1} \cdot \rho_{vn-1} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{vn} \cdot \rho_{vn} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (25)$$

где T_a – время работы агрегата.

С учетом выражений (8) и (18) можно записать:

$$t_{TP1} = \psi_o \ln \left[\frac{1}{(R_{mp} \cdot \lambda_1)} \right]; \quad t_{TP2} = \psi_o \ln \left[\frac{1}{(R_{mp} \cdot \lambda_2)} \right].$$

С другой стороны, такие параметры плужного агрегата, как v_a и ω_g в совокупности с зубьями на рабочем органе (диске), определяют размер получаемых частиц травостоя. При этом угол атаки α характеризует процесс резания стеблей, как процесс резания со скольжением, при условии, что $\omega_g > v_a$, а $\omega_g/v_a > 1$. Однако данный процесс, как процесс чистого резания, рассматривать не следует. Наиболее близкой моделью для данного процесса, как установлено ранее, является модель, в соответствии с которой он рассмотрен как процесс разрушения балки на упругом основании.

При этом фактор ω_g/v_a , определяющей степень измельчения стеблей, является неоспоримым. Следовательно,

$$\lambda_K = \frac{L_g}{Z_3}, \quad (26)$$

где L_g – перемещение агрегата за один оборот диска плуга, м; Z_3 – число зубьев – ножей на одном диске, шт.

Выражение (26) можно представить как

$$\lambda_K = \frac{2\pi \cdot R_g \cdot v_a}{\omega_g \cdot R_g \cdot Z_3} = \frac{2\pi \cdot v_a}{\omega_g \cdot Z_3} \leq [\ell_{\text{ч}}], \quad (27)$$

где $[\ell_{\text{ч}}]$ – требуемая длина частиц, м.

Приравнявая в выражениях (22–25) и (27) правые части и решая полученное равенство относительно параметра v_a , имеем

$$v_a = \frac{1,8(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}) \cdot V_{\text{шн-1}} \cdot \rho_{\text{шн-1}} \cdot B \cdot \omega_g \cdot Z_3}{\pi \cdot V_{\text{шн}} \cdot \rho_{\text{шн}} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha} \leq [v_a]. \quad (28)$$

Анализ выражения (28) показывает, что в зависимости от порядкового номера обработки поля, в соответствующие агротехнические сроки, необходимо выбирать свою определенную скорость движения агрегата, с целью обеспечения им требуемых значений показателей качества – $\ell_{\text{ч}}(t)$ и $v_{\text{с}}(L_{\Gamma})$.

В результате теоретических исследований установлен характер зависимости сил сопротивления движению плуга от угла атаки и глубины обработки почвы, а также рассмотрено состояние его равновесия в условиях установившегося режима работы с учетом параметра v_a , определяемого по выражению (28).

Обоснование параметров рабочего процесса машины

многофункциональной универсальной с сошниками стрелчатого типа

В принятой нами для исследования системе процесс посева сои и зерновых культур, с помощью сошника стрелчатого типа в агрегате с ММУ, характеризуется двумя выходными параметрами $v_{\Pi}(L_{\Gamma})$ и $v_{\varepsilon}(L_{\Gamma})$. Их функциональная связь с входными факторами, в общем виде, может быть представлена в соответствии с рисунком 7, как:

$$\left. \begin{aligned} v_{\varepsilon} &= f(W_{\Pi}; \rho_i; \rho_{i-1}; B_c; v_a) \rightarrow \text{opt} \\ v_{\Pi} &= f(W_{\Pi}; \rho_i; \rho_{i-1}; B_c; v_a; \varepsilon_1; \varepsilon_2) \rightarrow 0 \end{aligned} \right\}, \quad (29)$$

где B_c – ширина стрелчатой лапы сошника.

Для данных процессов также справедливо следующее уравнение баланса

$$\frac{V_n \cdot \rho_n \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{S_{\Pi} \cdot T_a} = \frac{\varepsilon_{\Pi} \cdot V_{n+1} \cdot \rho_{n+1} \cdot v_a \cdot t_{\Lambda} \cdot Z_{\Lambda} \cdot Z_{P\Lambda}}{S_{\Pi}}. \quad (30)$$

Решение данного уравнения относительно скорости движения посевного агрегата дает следующее выражение

$$v_a = \frac{V_{i-1} \cdot \rho_{i-1} \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{\varepsilon_{\Pi} \cdot V_i \cdot \rho_i \cdot t_{\Lambda} \cdot Z_{\Lambda} \cdot Z_{P\Lambda}} \leq [v_a]. \quad (31)$$

Согласно принятой нами конструктивно-технологической схеме машины, лаповые сошники предназначены для посева зерновых культур и сои как по обра-

ботанной почве, так и по стерневым фонам (необработанной почве). В этой связи теоретические исследования по определению сопротивления проведены для наиболее напряженных условий работы, то есть для условий посева по необработанной почве.

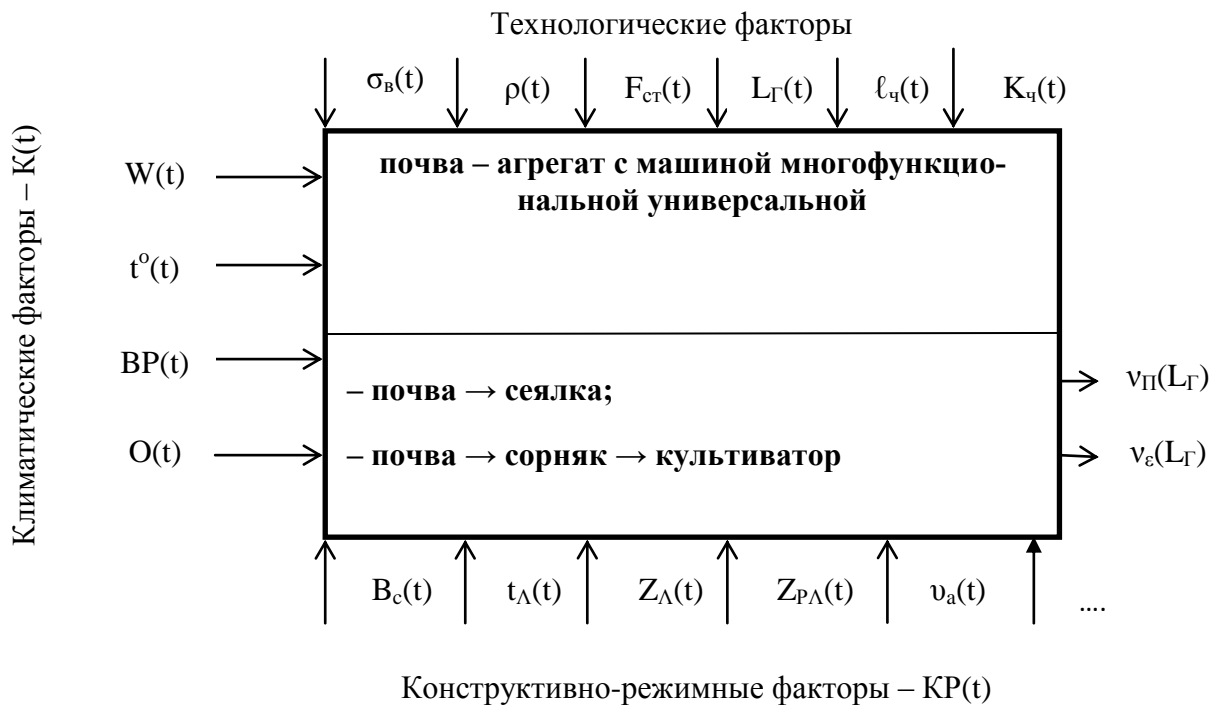


Рисунок 7 – Формализованная модель взаимодействия элементов подсистемы «почва → агрегат с машиной многофункциональной универсальной»

На основе проведенного теоретического анализа обосновали конструктивные параметры разработанных сошников с учетом параметра v_a , определяемого по выражению (31).

***Обоснование параметров рабочего процесса боронования
с использованием пружинно-пальцевой борона***

При обосновании параметров борона с пружинно-пальцевыми зубьями в принятой нами для исследования подсистеме установлено, что процесс боронования характеризуется, прежде всего, как процесс рыхления субстрата, с целью активации ВВТ режимов с одновременным разрушением уже имеющих там частиц БУМК (белково-углеводно-минеральный комплекс) и находящихся там корней сорняков (рисунок 8).

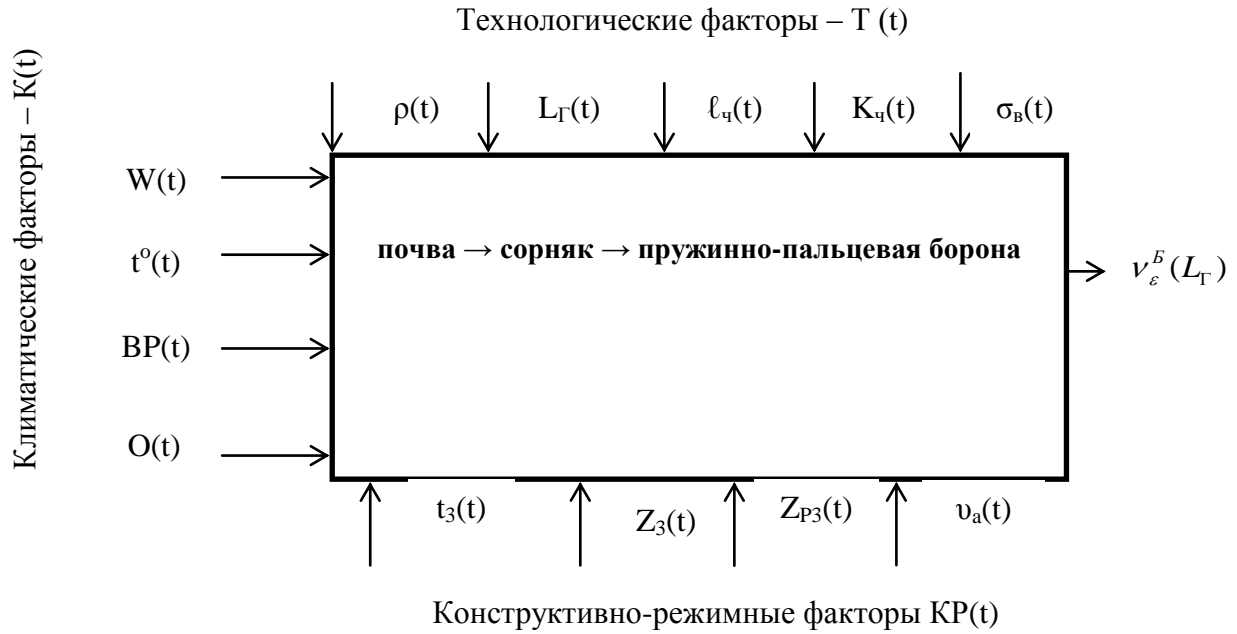


Рисунок 8 – Формализованная модель взаимодействия элементов системы почва → сорняк → пружинно-пальцевая борона

Таким образом, в общем виде, функциональную связь между выходным параметром v_{ε}^B и входными факторами, влияющими на качество выполнения процесса можно представить как

$$v_{\varepsilon}^B = f(W_{\Pi}; \rho_{n+2}; \rho_{n+3}; d_3; v_a) \rightarrow opt, \quad (32)$$

где W_{Π} – влажность почвы; ρ_{n+2} ; ρ_{n+3} – плотность субстрата (почвы) до и после обработки; d_3 – диаметр пружинно-пальцевого зуба бороны; v_a – скорость агрегата.

Для данного процесса справедливо следующее уравнение баланса:

$$\frac{V_{n+2} \cdot \rho_{n+2} \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{S_{\delta} \cdot T_a} = \frac{\varepsilon_A \cdot \varepsilon_j \cdot V_{n+3} \cdot \rho_{n+3} \cdot v_a \cdot t_3 \cdot Z_3 \cdot Z_{P3}}{S_{\delta}}, \quad (33)$$

где V_{n+2} ; V_{n+3} – объемы разрыхляемой (разрушаемой) почвенно-травяной композиции, m^3 ; B – ширина агрегата, m ; L_{Γ} – длина гона, m ; S_{δ} – обрабатываемая площадь, m^2 ; T_a – время работы, $ч$; t_3 – шаг установки зубьев бороны, m ; Z_3 – число зубьев бороны, шт.; Z_{P3} – число рядов зубьев.

Решение данного уравнения относительно скорости движения агрегата дает следующее выражение

$$v_a = \frac{V_{n+2} \cdot \rho_{n+2} \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{\varepsilon_B \cdot V_{n+3} \cdot \rho_{n+3} \cdot t_3 \cdot Z_3 \cdot Z_{P3}} \leq [v_a], \quad (34)$$

где $[v_a]$ – допустимая скорость движения агрегата, m/c .

В результате теоретических исследований обоснованы конструктивные параметры пружинно-пальцевой бороны – шага зубьев, число зубьев, число рядов с учетом параметра v_a , определяемого по выражению (34).

Проведенные теоретические исследования позволили аналитическим путем установить взаимосвязь между факторами исследуемых процессов в их взаимной совокупности, оказывающими влияние на качественные и энергетические показатели рассмотренных процессов. Это позволило получить новые научно обоснованные данные, необходимые для проектирования новых технологий и технических средств для системы биологического земледелия.

В третьей главе «Программа и методы экспериментальных исследований» изложены программа, а также методология подхода к проведению исследований.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось проведение работ в 3 этапа.

На первом этапе проводились лабораторные исследования, на втором – лабораторно-полевые, а на третьем – производственная проверка предложенных технологических и технических решений.

Программа лабораторных исследований включала экспериментальное обоснование геометрических и кинематических параметров рабочих органов с учётом физико-механических свойств и характеристик материалов, с которыми они взаимодействуют. При этом определялись и учитывались коэффициенты для использования их в полученных аналитических выражениях и уравнениях.

Программой исследований в полевых условиях предусматривалось изучение взаимодействия разработанных конструкций рабочих органов с реальными объектами и с уточнением и корректировкой отдельных геометрических и конструктивно-режимных параметров в зависимости от скорости агрегата v_a и других факторов.

Программой производственной проверки результатов исследований предусматривалось комплексное проведение исследований и испытаний разработанных

технологических и технических решений в их совокупности, с определением качественных, энергетических, эксплуатационных и технико-экономических показателей.

В ходе исследований изучены следующие процессы:

– процесс получения качественного почвенно-травяного субстрата с помощью макетного образца почвообрабатывающего орудия с активными рабочими органами (ОВПП-2,5);

– процесс посева зерновых культур и сои с применением различных сошников и различными способами по различным фонам, с учётом качества распределения семян и рыхления почвы машиной многофункциональной универсальной (ММУ-3,6);

– процесс разрушения корневой системы сорняков и рыхления почвы путём боронования пружинной бороной с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы (БПРЗ-1,2).

Приведены методики многофакторного эксперимента по оптимизации параметров распределительного устройства лаповых сошников, пружинно-пальцевой бороны и построения их математических моделей эмпирическим путем. Определялись и принимались во внимание факторы, влияющие на качественные показатели изучаемых процессов при исследованиях в почвенном канале.

В основу общих и частных методик лабораторно-полевых исследований на обработке сидеральных паров орудием с активным приводом рабочих органов, посева и уходе за посевами были положены соответствующие ГОСТы и ОСТы для государственных испытаний сельскохозяйственной техники. Причём, некоторые моменты были дополнены в соответствии с особенностью исходных требований, предъявляемых к современным ресурсосберегающим технологиям биологического направления и новым техническим средствам.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования по обоснованию параметров технологии и технических средств возделывания сои и зерновых

культур в 3-польном звене короткоротационного севооборота» представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

В процессе экспериментальных исследований на основании априорного ранжирования в качестве основных факторов, влияющих на процесс получения почвенно-травяного субстрата, определены следующие:

ω_g , – угловая скорость вращения сферических дисков, c^{-1} (x_1); α – угол атаки дисковой батареи, град. (x_2); t_n – шаг установки дисков, м (x_3).

За критерий оценки была принята неоднородность получаемого субстрата – v_c , %. по травостой, по ячменной стерне и по соевой стерне.

Факторы и уровни их варьирования, а также результаты по 15 опытам представлены в диссертации.

После реализации данного 3-уровневого плана эксперимента и получения значений критериев оптимизации для соответствующих условий, проведена математическая обработка результатов, а также регрессионный анализ полученных результатов для $Y_{1-3}=f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min$.

Методом пошагового анализа установлены значения стандартного отклонения, коэффициентов корреляции, а также определены расчетное и табличное значения критерия Фишера – F_R и F_T .

Расчет дисперсий откликов Y_{1-3} , а также проверка их однородности показали, что дисперсии Y_1 , Y_2 и Y_3 однородны, а дисперсии параллельных опытов сравнимы между собой.

В результате проведенных исследований получены следующие математические модели оценки процесса приготовления почвенно-травяного субстрата:

$$v_c^T = 164,08 - 1,306\omega_g - 0,894\alpha - 146,88t_n + 0,003\omega_g \cdot \alpha - 2,500\alpha \cdot t_n + 0,0029\omega_g^2 + 0,021\alpha^2 + 479,7t_n^2 \rightarrow \min; \quad (35)$$

$$v_c^A = 225,77 - 1,984\omega_g - 0,350\alpha - 165,51t_n - 2,50\alpha \cdot t_n + 0,0048\omega_g^2 + 0,025\alpha^2 + 510,78t_n^2 \rightarrow \min; \quad (36)$$

$$v_c^C = 192,06 - 1,733\omega_g - 0,412\alpha - 84,803t_n - 0,375\omega_g \cdot t_n - 2,187\alpha \cdot t_n + 0,004 \cdot \omega_g^2 + 0,022\alpha^2 + 510,83t_n^2 \rightarrow \min. \quad (37)$$

Результаты регрессионного анализа данных уравнений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты регрессионного анализа зависимости $Y_i = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности	
											F _R	F _T
Y ₁	5,549	-1,024	-	-	0,500	-	-1,000	1,199	1,369	1,199	10.327	5,96
Y ₂	3,651	-0,603	-0,294	-0,310	-	-	-1,000	1,954	1,446	1,277	13.606	4,15
Y ₃	4,275	-0,476	-0,294	0,258	-	-0,375	-0,875	1,785	1,446	1,277	32.467	4,15

Анализ данных результатов показывает, что полученные модели адекватны, так как

- для $Y_1 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$ $F_R > F_T = 10,327 > 5,96$ при $R_1 = 0,948$ и $P_1 = 0,95$

- для $Y_2 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$ $F_R > F_T = 13,606 > 4,15$ при $R_2 = 0,969$ и $P_2 = 0,95$

- для $Y_3 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$ $F_R > F_T = 32,467 > 4,15$ при $R_3 = 0,989$ и $P_3 = 0,95$

Для полученных зависимостей $Y_{1-3} = f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min$ определены области экстремальных значений параметров, которые представлены в диссертации (таблица 4.7). По данным значениям построены графические зависимости $Y_{1-3} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$, которые позволяют наглядно оценить влияние исследуемых факторов на критерии оптимизации и определить их оптимальные значения.

Анализ полученных математических моделей, а также графическая интерпретация результатов в 3-мерной системе координат с использованием метода сечений позволяют заключить, что оптимальные параметры роторного плуга находятся в следующих пределах:

$$\omega_g = 20,24 - 20,88 \text{ с}^{-1}; \alpha = 17,20 - 19,28 \text{ град.}; t_{\pi} = 0,197 - 0,209 \text{ м.}$$

На почвообрабатывающее орудие, с указанными оптимальными параметрами, получен патент на изобретение № 2453086.

При данных значениях параметров неоднородность почвенно-травяного субстрата находится в пределах $v = 3,55 - 5,32\%$.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны и изготовлены опытные образцы лаповых сошников для посева зерновых культур по соевой стерне (патент РФ № 2219696) и для посева сои широкополосным способом (патент РФ № 2369070), а также секции сеялки-культиватора (па-

тенты РФ №2222881 и №2268561) для установки сошников, с параллелограммным механизмом крепления к раме машины, обеспечивающие равномерность заделки семян по глубине и по площади образуемой полосы без перемешивания семян с почвой во время посева. Для этого на стрельчатую лапу сверху установлен защитный козырек. Его длина в процессе исследований экспериментально проверена и принята равной $\ell_k=0,12$ м.

Производственная проверка и энергетическая оценка машины в агрегате с трактором МТЗ-82 показали, что при скоростях движения 2,8...3,3 м/с (10,0...11,8 км/ч) происходит качественное выполнение технологических операций по предпосевной подготовке почвы (рыхление почвенного субстрата на глубину заделки семян с подрезанием сорняков) и посева, и обеспечивается рациональная загрузка энергосредства. Буксование движителей не превышает допустимого и находится в пределах 4,6...4,9% при посеве зерновых культур по соевой стерне.

Показатели урожайности зерновых культур приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Урожайность зерновых культур при постановке полевых опытов

Агрофон	Урожайность, т/га			
	пшеницы		ячменя	
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Зяблевая вспашка	0,81	2,80	2,95	1,16
Безотвальная обработка	0,76	2,86	2,15	1,24
Стерня сои	1,11	2,41	2,60	1,39
НСР ₀₅	0,18	0,50	0,59	0,19

Из таблицы 2 видно, что урожайность зерновых культур резко отличается по годам. Так, в годы с повышенной влажностью почвы (2002, 2003) годы урожайность пшеницы и ячменя была в 1,7...3,7 раза выше, чем в типичные для региона годы (2001, 2004) относительно сухим климатом.

Полевые опыты подтверждают данные других ученых о преимуществе прямого посева зерновых культур, что отчетливо проявляется в годы относительно сухой весны.

Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления почвенного субстрата в процессе применения широкополосного способа посева сои лаповым сошником (патент РФ № 2369070) с углом наклона семяпровода вперед на $+15^\circ$ по ходу движения агрегата показали, что одним из основных

критериев, влияющих на качество рыхления почвы и посева является оптимальная скорость движения агрегата, равная 2,8...3,3 м/с.

После посева сои устанавливались учетные площадки и проводились операции по уходу за посевами. Урожайность сои, полученная при использовании различных способов посева за период 2008–2010 гг. представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Урожайность сои в производственных условиях 2008–2010 гг.

Способы посева сои	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	В среднем за 2008–2010 гг.
	Биологическая (фактическая) урожайность, т/га			
Рядовой, с междурядьем 0,15 м сеялкой СЗ-3,6	-	1,60 (1,44)	1,42 (1,27)	1,51 (1,36)
Ширококорядный, с междурядьем 0,45 м машиной ММУ-3,6 с двухдисковыми сошниками	1,68 (1,51)	2,31 (2,14)	2,35 (2,19)	2,11 (1,95)
Широкополосный, с междурядьем 0,45 м машиной ММУ-3,6 комбинированными лаповыми сошниками	2,44 (2,26)	2,83 (2,66)	3,26 (3,08)	2,84 (2,67)
НСР ₀₅	0,41	0,43	0,86	-

В производственных условиях на посевах сои машиной ММУ-3,6, с лаповыми сошниками в сравнении с посевами серийной сеялкой СЗ-3,6 получена урожайность сои соответственно 2,84 и 1,51 т/га, то есть на 1,33 т/га больше. Это говорит о том, что лаповый сошник создает наиболее благоприятные условия для роста и развития растений, и кроме того мы реализовали рекомендации И.Е. Овсинского сеять по типу «пусто–густо»: засеянная полоса шириной 20 см чередовалась со свободной полосой в 25 см, по сравнению с рядовым посевом двухдисковыми сошниками.

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров процесса боронования (по уничтожению сорняков в стадии «белых нитей») использовалась методика многофакторного эксперимента. Коэффициенты полинома определялись с использованием ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка. Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента, адекватность полученных уравнений оценена по критерию Фишера.

В процессе исследований установлено, что на качество процесса боронования наибольшее влияние оказывают следующие факторы: расстояние между пружинными зубьями борона (b , м), угол атаки зубьев (α , град.) и скорость движения бороновального агрегата (v_a , м/с). Параметрами, подлежащими изучению, являлись факторы, обеспечивающие стабильную работу борона, при этом процент выбороненных сорняков был наибольшим (Y_7).

Для удобства расчетов уравнение регрессии представлено в раскодированном виде:

$$Y_7 = -30 + 963b + 87,2\alpha_p + 8,42v_a - 18125b^2 - 32,2\alpha_p^2 - 1,22v_a^2 \quad (38)$$

Адекватность полученного уравнения подтверждается с вероятностью при 95%-м уровне значимости неравенством $F_R < F_T$. Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области. Результаты оптимальных параметров получены на основе расчетов по программе «SigmaPlot v.11.0».

В результате обработки экспериментальных данных определены оптимальные значения параметров борона: расстояние между зубьями борона $b = 0,03 \pm 0,005$ м; угол атаки зубьев $\alpha = 60 \dots 80^\circ$; рекомендуемая скорость движения агрегата $v_a = 1,9 \dots 3,3$ м/с.

Экспериментальные исследования опытного образца секционной пружинной борона в полевых условиях показали, что при влажности почвы 18% в горизонте $0 \dots 0,10$ м пружинные зубья интенсивно рыхлят почву на установленную глубину обработки равную $0,025$ м при $\sigma = \pm 0,0012$ м и $v = 4,9\%$, крупные комки почвы (более 5 см) отсутствовали. После прохода агрегата гребнистость поверхности поля была в пределах $0,025$ м.

Уничтожение сорных растений за один проход по полю в среднем составляло 65%, а повреждение культурных растений не превысило 2%.

Значения урожайности сои за период 2008–2010 годов в зависимости от количества боронований представлены в таблице 4.

Проведенные теоретические расчеты по определению тягового усилия предлагаемой бороны хорошо согласуются с нашими экспериментальными данными.

Таблица 4 – Урожайность сои в зависимости от количества боронований произведенных бороной пружинной с регулировкой зубьев на глубину 0,025 м.

Вариант	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	Среднее значение
	урожайность, т/га			
Без боронования	0,98	1,1	1,07	1,05
Одно слепое боронование	1,68	1,96	1,93	1,85
Два слепых боронования	1,70	1,97	1,95	1,87
Два слепых боронования + одно боронование по всходам	2,26	2,41	2,32	2,33
Полный уход за посевом без применения гербицидов	2,26	2,48	2,30	2,35

Так, в пределах скорости движения 1,9...3,2 м/с пружинно-пальцевая борона может работать в широкозахватном агрегате при помощи сцепки типа СГ-21 и агрегатироваться тракторами класса 1,4...2,0, качественно выполняя технологический процесс по рыхлению почвы (уничтожая почвенную корку), уничтожению сорняков, сохранению и накоплению влаги и выравниванию поверхности поля, создавая при этом условия для формирования планируемых урожаев.

В пятой главе «Производственная проверка результатов исследований и их экономическая эффективность» изложены результаты проверки, а также дана их технико-экономическая оценка.

Производственной проверке результатов исследований предшествовали разработка нового способа воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах (патент РФ №2363126), технической документации и изготовление опытных образцов машин нового поколения: орудия для воспроизводства плодородия почвы с активным приводом рабочих органов; многофункциональной машины со сменными рабочими органами для предпосевной обработки почвы, посева и ухода за посевами; секционной бороны с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами.

Предлагаемая технолого-техническая система позволила уйти от глубокой основной обработки почвы и за одну ротацию севооборота, основанного на вертикальном способе обработки почвы активными дисковыми рабочими органами на глубину до 15 см с одновременной заделкой биомассы в верхнем слое почвы, что изменяет процесс влагооборота поля в лучшую сторону и способствует сохранению, а также восстановлению плодородия почвы. При этом создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений в ранний период развития, что основано на физическом законе росообразования и согласуется с данными И.Е. Овсинского.

Многолетняя производственная проверка почвообрабатывающего орудия с активным рабочим органом в агрегате с трактором МТЗ-82 на обработке сидеральных паров подтвердила то положение, что мелкая заделка растительной массы на глубину 0...10 см способствует не только быстрому её разложению, но и продуктивному прорастанию семян и росту корневой системы растений. Проведенная широкая хозяйственная проверка результатов исследований путем использования разработанных технологических и технических решений позволила установить следующие зависимости:

$$\text{-для прироста содержания гумуса в почве } q=3,0+0,133 t_{TP}; \quad (39)$$

$$\text{-для прироста урожайности ячменя } \Delta Y_{\text{я}} = 26,1 + 24\Delta q_{\text{я}}; \quad (40)$$

$$\text{-для прироста урожайности сои } \Delta Y_{\text{с}} = 14,2 + 46\Delta q_{\text{с}}, \quad (41)$$

где t_{TP} – продолжительность биотрансформации биомассы, равная 3 годам;

$\Delta q_{\text{я}}$, $\Delta q_{\text{с}}$ – прирост содержания гумуса в почве в принятом звене севооборота при возделывании ячменя и сои.

Результаты анализа основных показателей технико-экономической эффективности ресурсосберегающих технологий с комплексом машин нового поколения по сравнению с базовыми технологиями и серийными техническими средствами показывают существенное снижение всех видов затрат.

Так, при использовании новой технологии по сравнению с традиционной эксплуатационные затраты сокращаются при возделывании ячменя на 51,82 %; сои – на 56,05 %; капитальные вложения – соответственно на 52,63 и 51,94 %; за-

траты труда – на 53,85 и 22,58 %. Уменьшение количества технологических операций при возделывании ячменя и сои позволили снизить расход топлива соответственно в 1,3 и 1,5 раза, а общие энергозатраты – в 1,33 и 1,48 раза, по сравнению с базовыми технологиями. Экономия топлива на 1 га пашни составляет 20 кг при возделывании ячменя и 22 кг при возделывании сои, а урожайность – соответственно на 36 и 88% больше.

Таким образом, новая технология включающая технические средства нового поколения значительно эффективнее традиционной.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Данные анализа базовых технологий и технических средств возделывания сои и зерновых культур указывают на необходимость перехода на энерго- и ресурсосберегающие, экологически ориентированные технологии и технические средства взамен технологий с многооперационными проходами агрегатов, химическими средствами интенсификации и защиты растений, вызывающими изменения физических и биологических свойств почвы, обуславливающими её деградацию, чему соответствует трехпольное звено севооборота с сидератом из естественного травостоя→зерновые культуры→соя и комплексом новых технических средств.

2. Процессы возделывания сои и зерновых культур в составе биотехнологической системы, предусматривающей использование трехпольного звена короткоротационного севооборота: сидеральный пар→зерновые культуры→соя, должны основываться на разработанной общей ее экономико-математической модели, учитывающей в совокупности энергетические и материальные затраты, а также влияние механико-технологических и биотехнологических факторов на улучшение плодородия почвы и, в конечном итоге, на прирост урожайности сои и зерновых культур.

3. Механизированный процесс получения почвенно-травяного субстрата из естественного травостоя заданных состава и свойств должен основываться на следующих разработанных математических зависимостях:

- продолжительности биотехнологической трансформации исходного сырья травостоя сорняков и стерни с корнями от степени их механического разрушения;
- энергетических затрат на разрушение стеблей, от изменений разрушающих напряжений в процессе биотрансформации растительных частиц;
- скорости агрегата от степени механического разрушения стеблей и корневищ биологической массы и вида выполняемых операций в определённые агротехнические сроки;
- оценочных показателей процессов измельчения и заделки субстрата, посева, культивации и боронования от их вероятностно-статистических характеристик.

4. Оптимальные значения параметров технологических процессов и реализующих их технических средств для получения почвенно-травяного субстрата посредством роторного орудия, распределения семян сои и зерновых культур при их посеве с одновременным рыхлением почвы с помощью многооперационной универсальной машины с лаповыми сошниками, рыхления почвы и разрушения корневой системы сорняков пружинно-пальцевой бороной следует определять с помощью адекватных математических моделей в виде достоверных уравнений регрессии.

5. Оптимальными конструкционными параметрами и режимами работы новых технических средств, обеспечивающими выполнение процессов в соответствии с требуемыми показателями качества и минимальными материальными и энергетическими затратами, являются следующие значения:

для роторного орудия с активными сферическими дисками:

– угловая скорость вращения сферических дисков – $\omega_g=20,0 \text{ с}^{-1}$; шаг установки дисков – $t_{\text{п}}=0,2\text{м}$; угол атаки – $\alpha=18^\circ$ при диаметре дисков равном $\varnothing=0,65 \text{ м}$, числе зубьев на них $Z_3=8$ и скорости агрегатирования $v_a=10\dots 12 \text{ км/ч}$;

для машины многофункциональной универсальной:

– шаг установки лаповых сошников $t_{\Lambda}=0,225 \text{ м}$; зона перекрытия лап $\Lambda=0,045 \text{ м}$; ширина захвата лапы $B_{\Lambda}=0,27 \text{ м}$; скорость агрегата $v_a=9,1\dots 11 \text{ км/ч}$;

для пружинно-пальцевой бороны:

– шаг установки зубьев – $t_{\Pi}=0,03\text{м}$; угол атаки зубьев – $\alpha=60-80^\circ$; глубина обработки $h=0-2,5$ см и скорость движения агрегата $v_a=2,5...3,0$ м/с;

для культиватора при уходе за посевами сои:

1-я междурядная культивация односторонними бритвенными лапами на глубину 3...4 см;

2-я междурядная культивация на глубину 5...7 см;

3-я междурядная культивация с локальным разуплотнением междурядий на глубину 20...25 см рыхлительными рабочими органами с лапой шириной 70 мм при рабочих скоростях агрегата 7...9 км/ч.

6. Полученные теоретически и экспериментально параметры технологий и технических средств апробированы в ходе широкой производственной проверки.

На основе проведённых исследований разработана техническая документация и изготовлены в экспериментальном цехе Дальневосточного научно-исследовательского проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства (ДальНИПТИМЭСХа), а также во ВНИИ сои опытные образцы почвообрабатывающего орудия с активными рабочими органами ОВП-2,5; машины многофункциональной универсальной ММУ-3,6 со сменными комбинированными рабочими органами для предпосевной обработки почвы, посева и ухода за посевами; лёгкой пружинной бороны БПРЗ-1,2 с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и углу атаки.

Данные технические средства успешно прошли приёмочные испытания в Амурской МИС, в связи с чем и рекомендованы к выпуску опытными партиями и использованию в производстве.

7. В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности предложенных технологий и комплекса машин, включающего ОВП-2,5+МТЗ-82; ММУ-3,6+МТЗ-82; 18 х БПРЗ-1,2+МТЗ-82; при использовании их в трехпольном звене короткоротационного севооборота установлено, что за одну ротацию севооборота урожайность сои повысилась в 1,9 раза, ячменя – в 1,4 раза по сравнению с серийным комплексом машин; стоимость механизированных работ снизилась на 69,8%; трудоёмкость – на 39,7 %; снизились удельные затраты

энергии при возделывании ячменя – на 24,8%, сои – на 32,4 %, а также расход топлива при возделывании ячменя – в 1,3 раза, и при выращивании сои в 1,5 раза. При этом годовой экономический эффект по приведенным затратам составил на ячмене 1037769,66 руб., на сое 926934,62 руб.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Технология возделывания сои и зерновых культур с полем сидерального пара из естественного травостоя должна включать способ воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах (патент на изобретение № 2363126 от 24.04.2008 г.) и комплекс высокопроизводительных новых машин, состоящий из почвообрабатывающего орудия с активным приводом рабочих органов (патент на изобретение № 2453086 от 21.10.2010 г.); машины многофункциональной универсальной со сменными комбинированными рабочими органами для предпосевной обработки почвы, посева зерновых культур, сои и ухода за посевами; бороны секционной с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами (патент на полезную модель №72111 от 30.01.2007 г.) для боронования посевов до всходов и по всходам.

2. На машине многофункциональной универсальной могут быть установлены секции сеялки-культиватора для посева сои и междурядных культиваций (патенты на изобретения № 2222881 от 18.03.2002 г., № 2268561 от 11.11.2003 г.), а также комбинированные лаповые и дисковые сошники для посева сои и зерновых культур полосным и широкополосным способами (патенты на изобретения № 2369070 от 30.06.2008 г., № 2356211 от 09.01.2008 г., № 2381642 от 22.07.2008 г.).

3. Почвообрабатывающее орудие с активными сферическими дисками должно иметь следующие конструкционные параметры:

– угловая скорость вращения сферических дисков – $\omega_g=20,0 \text{ с}^{-1}$; шаг установки дисков – $t_{\text{П}}=0,2\text{м}$; угол атаки – $\alpha=18^\circ$ при диаметре дисков равном $\varnothing=0,65 \text{ м}$, числе зубьев на них $Z_3=8$ и скорости агрегатирования $v_a=2,7...3,3 \text{ м/с}$;

4. Машина многофункциональная универсальная со сменными рабочими органами должна иметь следующие параметры:

– шаг установки лаповых сошников $t_{\Lambda}=0,225$ м; зона перекрытия лап $\Lambda=0,045$ м; ширина захвата лапы $B_{\Lambda}=0,27$ м; скорость агрегата $v_a=9,1 \dots 11$ км/ч;

5. Секционная пружинно-пальцевая борона с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и углу атаки должна иметь следующие параметры:

– шаг установки зубьев – $t_{\Pi}=0,03$ м; угол атаки зубьев – $\alpha=60 \dots 80^\circ$; глубина обработки $h=0-2,5$ см и скорость движения агрегата $v_a=2,5 \dots 3,0$ м/с;

Список основных научных публикаций по теме диссертации

Монографии

1. Сюмак, А.В. Повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия / А.В. Сюмак, В.А. Тильба, С.М. Доценко // Научная монография. – Благовещенск ОАО «ПКИ «Зея». – 2012. – 260с.

Публикации в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ

2. Сюмак, А.В. Обоснование параметров комбинированного сошника для локально-ленточного внесения основной дозы минеральных удобрений под посев / А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев // Сибирский вестник с-х наук. – Новосибирск, 1985. – №6. – С.82–87.
3. Сюмак, А.В. Использование МКП-4 на предпосевной обработке почвы / А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев // Технические культуры. – 1988. – №2. – С. 18–19.
4. Сюмак, А.В. Комбинированный многооперационный агрегат для возделывания сои / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Н.М. Присяжный // Тракторы и с.-х. машины. – 1992. – №5. – С.24–25.
5. Сюмак, А.В. Механизация прямого посева зерновых культур в Амурской области / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, В.В. Русаков, К.С. Чурилова // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – №5. – С. 40–42.
6. Сюмак, А.В. Засоренность зерновых культур при прямом посеве / А.В. Сюмак, В.В. Русаков // Земледелие. – 2006. – №2. – С. 40–41.
7. Сюмак, А.В. Орудие с активными рабочими органами для воспроизводства плодородия почвы (ОВПП-2,4) / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков // Агроинженерия. – 2008. – №2 (27). – С. 82–84.
8. Сюмак, А.В. Результаты освоения ресурсосберегающей технологии и технических средств в хозяйствах Амурской области / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов и др. // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – №6. – С. 11-13.
9. Сюмак, А.В. Технологическая система получения экологически чистой продукции зерновых и сои в Амурской области / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков // Вестник РАСХН. – 2011. – №3. – С. 9-10.

- 10.** Сюмак, А.В. Комбинированный дисковый сошник/ А.В. Сюмак, А.В. Селин// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №10. – С. 7-8.
- 11.** Сюмак, А.В. Техника нового поколения для снижения негативного действия на зерновые весенней засухи в Амурской области/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – №1. – С. 22–25.
- 12.** Сюмак, А.В. Обоснование высоты крепления распределителя семян / А.В. Селин, А.В. Сюмак // Сельский механизатор. – 2012. – №1. – С.18–19.
- 13.** Сюмак А.В. Теоретические основы и результаты экспериментальных исследований по повышению эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия / А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, В.А. Тильба, С.М. Доценко // Современные проблемы науки и образования [Электронный научный журнал]. – 2013. – № 2. – С. 220–224. – Режим доступа: [http: science-education.ru](http://science-education.ru).
- 14.** Сюмак А.В. Результаты и направления исследований по механизации возделывания сои / А.В. Сюмак, А.Н. Гайдученко, В.А. Мунгалов // Наукоедение [Интернет-журнал]. – 2013 . – №3 (16). – Режим доступа: [http: naukovedenie.ru](http://naukovedenie.ru).
- 15.** Сюмак А.В. Повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур в короткоротационных севооборотах/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков // Научно-производст. и информац. журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии». – М.: Изд-во ГНУ ВИМ. – 2014. – № 1. – С. 46–48.
- 16.** Сюмак А.В. Обоснование повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур в короткоротационных севооборотах в системе биологического земледелия / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов, А.В. Селин, А.А. Цыбань // Фундаментальные исследования: электронный журнал. – 2013. – № 8.Ч.6. – С. 1364–1367.

Авторские свидетельства и патенты РФ на изобретения:

- 17.** А.с. №1366087 (СССР). Рабочий орган для подпочвенного внесения удобрений/ А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев, С.В. Герман, опубл. 20.04.1987. Бюл. №7.
- 18.** Патент РФ №2004093. Почвообрабатывающее орудие для междурядной обработки пропашных культур/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, В.П. Мухин, опубл. 15.12.1993. Бюл. № 45–46.
- 19.** Патент РФ №2005335. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, В.И. Безруков, опубл. 15.01.1994. Бюл. №1.
- 20.** Патент РФ №2156047. Блочно-модульный культиватор / А.В. Сюмак, А.А. Далл, Г.И. Орехов, В.П. Мухин, Н.М. Присяжный, опубл. 20.09.2000. Бюл. №26.
- 21.** Патент РФ №2158072. Сошник для разбросного посева/ А.В. Сюмак, А.А. Далл, Г.И. Орехов [и др.], опубл. 27.10. 2000. Бюл. № 30.

- 22.** Патент РФ №2219696. Сошник стерновой сеялки/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, опубл. 27.12.2003. Бюл. №36.
- 23.** Патент РФ №2222881. Секция сеялки – культиватора / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Ю.В. Терентьев, опубл. 10.02.2004. Бюл. № 4.
- 24.** Патент РФ №2268561. Секция сеялки – культиватора/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Ю.П. Кириленко [и др.], опубл. 27.01.2006. Бюл. № 36.
- 25.** Патент РФ №2363126. Способ воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков, опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
- 26.** Патент РФ №2356211. Лаповый сошник/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов, опубл. 27.05.2009 Бюл. № 15.
- 27.** Патент РФ №2369070. Лаповый сошник / А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин, опубл. 10.10.2009. Бюл. № 28.
- 28.** Патент РФ №2381642. Комбинированный дисковый сошник/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов, опубл. 20.02.2010 Бюл. № 5.
- 29.** Патент РФ №2387120. Способ увеличения эффективного плодородия почвы/ А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков, опубл. 27.04.2010. Бюл. №12.
- 30.** Патент РФ №72111. Секция бороны с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков, опубл. 10.04.2008. Бюл. № 10.
- 31.** Патент РФ №93198. Шарнирно-пружинная борона для ухода за посевами/ А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин, опубл. 27.04.2010 Бюл. № 12.
- 32.** Патент РФ №2453086. Почвообрабатывающее орудие /А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко, опубл. 20.06.2012. Бюл. №17.

Работы, опубликованные в других научных изданиях:

- 33.** Сюмак, А.В. Способы внесения минеральных удобрений под сою: Методические рекомендации/ А.В. Сюмак, Г.К. Шелевой и др. – СО ВАСХНИЛ, ВНИИ сои. – Новосибирск, 1982. – 40 с.
- 34.** Сюмак, А.В. Промышленная технология возделывания сои: Методические рекомендации / А.В. Сюмак [и др.]. – СО ВАСХНИЛ, ВНИИ сои. – Новосибирск, 1983. – 67 с. (в соавторстве).
- 35.** Сюмак, А.В. Технологические аспекты системы локального применения минеральных удобрений под основные культуры зерно-соевых севооборотов в Приамурье/ А.В. Сюмак, Г.К. Шелевой, И.П. Волох // Науч.-техн. бюл.; СО ВАСХНИЛ. – 1987. – Вып. 30. – С. 11-16.
- 36.** Сюмак, А.В. Качественные и энергетические показатели работы комбинированной машины/ А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев, С.В. Герман// Науч.-техн. бюл.; СО ВАСХНИЛ. – 1987. – Вып. 30. – С. 25-30.

- 37.** Сюмак, А.В. Обоснование и выбор формы стойки комбинированного сошника / А.В. Сюмак // Науч.-техн. бюл.; СО ВАСХНИЛ. – 1987. – Вып. 30. – С. 30–35.
- 38.** Сюмак, А.В. Влияние скорости движения комбинированного сошника на образование ленты и равномерность распределения частиц удобрений по ее ширине / А.В. Сюмак // Науч.-техн. бюл.; СО ВАСХНИЛ, ВНИИ сои. – 1989. – Вып. 1. – С. 25–31.
- 39.** Сюмак, А.В. Зависимость распределения удобрений по ширине образуемой ленты от положения стойки – материалопровода комбинированного сошника/ А.В. Сюмак// Сб. научн. тр.: Механизация возделывания и уборки зерновых культур и сои на Дальнем Востоке; БСХИ. – Благовещенск, 1990. – С. 12–14.
- 40.** Сюмак, А.В. Результаты разработки комбинированного многооперационного агрегата для возделывания сои/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Н.М. Присяжный, Л.К. Сюмак// Тезисы докладов Всесоюзной НК 21–24 октября 1991г. пос. Привольный Минской области. – М.: ВИМ, 1991. – С. 25-26.
- 41.** Сюмак, А.В. Результаты исследований почвообрабатывающей многооперационной машины/ А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев // Проблемы комплексной механизации растениеводства и животноводства на Дальнем Востоке: Сб. науч. тр. РАСХН. Сиб.отд-ние. Дальневост. отд-е. ДальНИПТИМЭСХ.- Новосибирск, 1991. – С.24-33.
- 42.** Сюмак, А.В. Применение комбинированного универсального многооперационного агрегата на возделывании сои: Методические рекомендации/ А.В. Сюмак, Ю.В. Терентьев и др.// ДО РАСХН, ДальНИПТИМЭСХ. – Новосибирск, 1993. – 32 с.
- 43.** Сюмак, А.В. Результаты производственных испытаний блочно-универсального модуля для основной и предпосевной обработки почвы с внесением удобрений/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Н.М. Присяжный// Сб. науч. тр.: ДальГАУ. – Благовещенск, 1995. – Вып. 1. – С. 57–60.
- 44.** Сюмак, А.В. Зональная система технологий и машин для растениеводства ДВ России на 1996-2000 гг. – Благовещенск: ДальГАУ, 1997. – 185 с. (В соавторстве).
- 45.** Сюмак, А.В. Результаты лабораторных исследований сошника для внутривневного разбросного посева/ А.В. Сюмак, А.А. Далл, Г.И. Орехов// Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: Сб. научн. тр.: ДальГАУ. – Благовещенск, 1999. – Вып. 4.- С.59-62.
- 46.** Сюмак, А.В. Машины для возделывания сои/ А.В. Сюмак// Технология возделывания и переработки полевых культур в Приамурье: Сб. научн. тр.: ВНИИ сои. – Благовещенск, 1999. – С. 106–110.
- 47.** Сюмак, А.В. Обоснование исходных требований для машины для основной и предпосевной обработки почвы/ А.В. Сюмак, А.А. Далл// Технология возделыва-

ния и переработки полевых культур в Приамурье: Сб. научн. тр.: ВНИИ сои. – Благовещенск, 1999. – С. 110-112.

48. Сюмак, А.В. Применение матричного метода для определения сил сопротивления движению роторного плуга/ А.В. Сюмак, В.А. Владимирский, М.В. Канделя и др.// Материалы НПК УНПК «Наука производству»: ДальГАУ. – Благовещенск, 2000. – Вып. 6. – С. 92–96.

49. Сюмак, А.В. Теоретические исследования роторного плуга в зависимости от воздействия рабочих органов на почву/ А.В. Сюмак, М.В. Канделя и др.// Материалы НПК УНПК «Наука – производству»: ДальГАУ. – Благовещенск, 2000. – Вып. 6. – С. 198-202.

50. Сюмак, А.В. Концепция развития системы регионального сельскохозяйственного машиностроения для АПК Дальнего Востока и Забайкалья / А.В. Сюмак [и др.]. – Благовещенск, 2000. – 70 с.

51. Сюмак, А.В. Ресурсосберегающая технология возделывания сои и технические средства для ее реализации/ А.В. Сюмак// Перспективы развития комплексной механизации АПК Дальнего Востока: Материалы региональной НПК 10-12 июня 1999; ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2000. – С. 56-59.

52. Сюмак, А.В. Блочно-модульные агрегаты АБМК-8-4 и КУМА-10,8 на возделывании сои/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, А.А. Далл// Перспективы развития комплексной механизации АПК Дальнего Востока: Материалы региональной НПК 10-12 июня 1999; ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2000. – С.61-71.

53. Сюмак, А.В. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2001-2005 гг./ А.В. Сюмак [и др.] ДальГАУ. – Благовещенск, 2001. – 280 с.

54. Сюмак, А.В. Зональная система технологий и машин для растениеводства Дальнего Востока на 2001-2005 гг. – Благовещенск, 2002. – 427 с. (В соавторстве).

55. Сюмак, А.В. Сеялка для прямого посева зерновых культур/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов// Сб. научн. тр.: ДальГАУ. – Благовещенск, 2002. – Вып. 8. – С. 15-18.

56. Сюмак, А.В. Контроль качества механизированных работ в растениеводстве: Методические рекомендации РАСХН ДВНМЦ/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Ю.В. Терентьев и др.// ГНУ ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – 37 с.

57. Сюмак, А.В. Система земледелия Амурской области / А.В. Сюмак [и др.]. – Благовещенск: ИПК «Приамурье», 2003. – 304 с.

58. Сюмак, А.В. К вопросу разработки перспективной многофункциональной машины для предпосевной обработки почвы, посева зерновых, сои и ухода за посевами/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, В.В. Русаков// Сб. научн. тр.: ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – С. 54-58.

- 59.** Сюмак, А.В. Прямой посев пшеницы в условиях юга Амурской области/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Г.И. Орехов// Сб. научн. тр.: ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – С. 66-67.
- 60.** Сюмак, А.В. О взаимодействии применения прямого посева зерновых культур в условиях Амурской области (в зоне севооборота «soя-зерновые»)/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Г.И. Орехов// Сб. научн. тр.: ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – С. 78-83.
- 61.** Сюмак, А.В. Анализ способов и средств механизации посева зерновых и сои/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов// Сб. научн. тр.: ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – С. 84-89.
- 62.** Сюмак, А.В. Перспективное техническое средство со сменными рабочими органами для посева сои различными способами/ А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, В.В. Русаков// Сб. научн. тр.: Пути повышения эффективности научных исследований на ДВ. – Новосибирск, 2003. – Том II. – С. 40-42.
- 63.** Сюмак, А.В. Разработка и освоения высокорентабельной технологии и техники для возделывания сои и зерновых, обеспечивающих биологическое устойчивое земледелие/ А.В. Сюмак // Сб. научн. тр.: Энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Дальнего Востока. РАСХН ДВ НМЦ; ГНУ–ДальНИИСХ. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – С. 375-379.
- 64.** Сюмак, А.В. Исходные требования к зональной системе технологий и машин для продуктов растениеводства в ДВ регионе России / А.В. Сюмак [и др.] // Сб. науч. тр.: ДальГАУ. – Благовещенск, 2007. – 166 с.
- 65.** Сюмак, А.В. Система технологий и машины для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2006-2010 гг./ А.В. Сюмак [и др.] // ДальГАУ. – Благовещенск, 2006. – 312 с.
- 66.** Сюмак, А.В. Опыт освоения биологически динамической системы земледелия КФХ картофелеводческого направления «Деметра»: Рекомендации/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко. – Благовещенск, 2006. – 48 с.
- 67.** Сюмак, А.В. Технологические системы биологического направления возделывания сои и зерновых культур в условиях юга Приамурья/ А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков// Сб. научн. трудов: ДальГАУ. – Благовещенск, 2006. – Вып. 12. – С. 10-14.
- 68.** Сюмак, А.В. Модельный ряд сельскохозяйственных машин при возделывании зерновых культур и сои в крупных сельскохозяйственных предприятиях и мелко-товарном производстве/ А.В. Сюмак// Сб. научн. трудов: ДальГАУ. – Благовещенск, 2006. – Вып. 12. – С. 14–19.
- 69.** Сюмак, А.В. Полное использование природных источников повышения продуктивности растениеводства – магистральный путь земледелия Амурской обла-

сти/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко// Вестник ДальГАУ. – Благовещенск, 2007. – Вып. 3. – С. 84–85.

70. Сюмак, А.В. Система машин или система производства/ А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков // Труды 6-й Международной НТК 13–14 мая 2008 г. – Часть 2. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. –С. 126–131.

71. Сюмак, А.В. Системный анализ технологий и средств механизации при возделывании сои и зерновых культур в условиях Амурской области/ А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков// Сб. научн. трудов: ДальГАУ. – Благовещенск, 2008. – Вып. 15. – С. 3–9.

72. Сюмак, А.В. Повышение биологической активности наших почв – основной путь дальнейшего развития земледелия/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко // Сб. научн. трудов: ДальГАУ. – Благовещенск, 2008. – Вып. 15. – С. 159–165.

73. Сюмак, А.В. Обоснование комбинированного рабочего органа для полосного посева сои/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов // Сб. научн. трудов: РАСХН, ДВ НМЦ, ВНИИ сои. – Благовещенск, 2009. –С. 193-197.

74. Сюмак, А.В. К вопросу обоснования рабочих органов сеялки для широкополосного посева сои/ А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин // Сб. научн. трудов: РАСХН, ДВ НМЦ, ВНИИ сои. – Благовещенск, 2009. – С. 197-203.

75. Сюмак, А.В. Технология возделывания сои в Амурской области: Методические рекомендации / А.В. Сюмак [и др.]. – Благовещенск, 2009. –72 с.

76. Сюмак, А.В. Техническое обеспечение региональной энергоресурсосберегающей технолого-технической системы, позволяющей рентабельно и стабильно во времени вести производство зерновых культур и сои/ А.В. Сюмак// Сб. научн. трудов: ГНУ ДальНИПТИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2009. – С. 22–31.

77. Сюмак, А.В. Анализ хозяйственных исследований экспериментального сошника для полосного посева сои в сравнении с серийными сошниками/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов // Материалы НПК: Сб. научн. тр.: ГНУ ДальНИПТИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2009. –С. 135–140.

78. Сюмак, А.В. Результаты лабораторно-полевых исследований широкополосного способа посева сои и рабочие органы для его осуществления/ А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин// Материалы НПК: Сб. научн. тр.: ГНУ ДальНИПТИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2009. – С. 140–145.

79. Сюмак, А.В. Амурская зеленая технология/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков. – Журнал «Агромакс». – №3. – 2009. – С. 50-53.

80. Сюмак, А.В. Агротехнические показатели работы сошников на посевах сои/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов, А.А. Цыбань // Молодежь 21 века: Шаг в

будущее – материалы X-ой региональной межвузовской НПК. – Благовещенск, 2009. – Кн. 1. – С. 206–207.

81. Сюмак, А.В. Результаты работы секции пропашной бороны (БПРЗ-1,2) с регулировкой зуба по глубине на бороновании посевов сои до всходов и по всходам/ А.В. Сюмак, А.А. Цыбань, А.В. Селин, В.А. Мунгалов// Молодежь 21 века: Шаг в будущее // Материалы X-й региональной межвузовской НПК. – Благовещенск, 2009. – Кн. 1. – С. 213-214.

82. Сюмак, А.В. Производственная проверка ресурсосберегающей технологической системы производства сельскохозяйственной продукции в зерносовом севообороте для мелкотоварного производства/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов и др.// Вестник ДальГАУ. – Благовещенск, 2009. – Вып. 3 (11). – С. 57-61.

83. Сюмак, А.В. Эффективность применения однодисково-анкерных и лаповых сошников на посевах сои/ А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов [и др.] // Сб. научн. докладов XV Международной НПК (18-19 сентября 2009 г., г. Тамбов): РАСХН ГНУ ВНИПТИН. – Тамбов: Изд. Першнева Р.В., 2009. – С. 61-64.

84. Сюмак, А.В. Результаты освоения региональной ресурсосберегающей технологии и технических средств нового поколения при возделывании экологически чистой продукции зерновых и сои в трехпольном севообороте в КФХ «Жуковина» Ивановского района/ А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов и др.// Технология и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК ДВ: Сб. научн. тр. ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2010. – С. 50-56.

85. Сюмак, А.В. Агротехнические показатели работы бороны (БПРЗ-1,2) на бороновании посевов сои/ А.В. Сюмак, А.А. Цыбань [и др.] // Технология и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК ДВ: Сб. научн. тр. ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2010. – С. 182-186.

86. Сюмак, А.В. Бороны для ухода за посевами в ранний период развития растений/ А.В. Сюмак, А.А. Цыбань, В.А. Мунгалов и др.// Сб. научн. тр.: ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии. – Благовещенск, 2010. – С. 91-94.

87. Сюмак, А.В. Технология возделывания сои: Рекомендации ООО НПО «РосАгроХим» / А.В. Сюмак [и др.] – Москва, 2010. – 46 с.

88. Сюмак, А.В. Особенности региональной технологической системы биологического земледелия и комплекса машин для производства экологически чистой продукции зерновых культур и сои / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, А.А. Цыбань [и др.] // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение для инновационного развития агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. – Зеленоград, 2010. – С. 119–125.

- 89.** Сюмак, А.В. Региональная ресурсосберегающая система производства экологически чистой продукции сои и зерновых культур в условиях Амурской области / А.В. Сюмак, А.Н. Панасюк // Аграрные проблемы сосеюющих территорий Азиатско-Тихоокеанского региона: Сб. научн. тр. – Благовещенск, 2011. – С. 82-87.
- 90.** Сюмак, А.В. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011-2015 гг. / А.В. Сюмак [и др]. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2011. – 263 с.
- 91.** Сюмак, А.В. Обоснование технологии и технических средств биологического земледелия в короткоротационном соево-зерновом обороте / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов // Взаимодействие научно-образовательных учреждений, бизнеса и власти : матер. регион. научн. конф. (г. Благовещенск, 15 ноября 2011г.) – Благовещенск : ДальГАУ, 2011. – С. 155–161.