

633.34:631.3+633.1

С 98

Российская академия сельскохозяйственных наук  
Дальневосточный региональный научный центр  
Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский институт сои

А. В. Сюмак, В. А. Тильба, С. М. Доценко

Повышение эффективности возделывания  
соеи и зерновых культур в системе  
биологического земледелия

На НДДА

*Научная монография*

№5-1 август

БИБЛИОТЕКА  
Дальневосточного  
госагроуниверситета

Благовещенск  
ОАО «ПКИ «Зея»,  
2012

УДК 631.171

ББК 41/42

С 98

*А в т о р ы:*

*Анатолий Васильевич Сюмак*, кандидат технических наук;

*Владимир Арнольдович Тильба*, доктор биологических наук, академик РАСХН;

*Сергей Михайлович Доценко*, доктор технических наук, профессор.

*Р е ц е н з е н т ы:*

*С. А. Иванов*, доктор технических наук;

*В. В. Самуйло*, доктор технических наук, профессор.

В монографии приведены результаты многолетних исследований по изучению повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия. Дано экспериментальное обоснование параметров технологии и технических средств возделывания сои и зерновых культур в трёхпольном севообороте.

Монография предназначена для широкого круга специалистов сельского хозяйства, руководителей крестьянско-фермерских хозяйств, сотрудников научных учреждений, преподавателей и студентов высших и средне-специальных учебных заведений.

УДК 631.171

ББК 41/42

ISBN 978-5-903015-60-3

© А.В. Сюмак, В.А. Тильба, С.М. Доценко, 2012

© ГНУ ВНИИ сои Россельхозакадемии, 2012

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1. Состояние проблемы повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур</b> .....	7
1.1. Севообороты и их роль в повышении плодородия почвы на основе использования технических средств нового поколения .....	7
1.2. Особенности и преимущества короткоротационных севооборотов .....	13
1.3. Анализ технологий, применяемых для возделывания сои и зерновых культур в короткоротационных севооборотах .....	18
1.4. Анализ технических средств, используемых для обработки почвы, внесения минеральных удобрений и для посева сои и зерновых культур .....	27
1.5. Состояние научных разработок по проблеме повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур .....	36
<b>Глава 2. Механико-технологические основы повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур в биотехнологической системе (почвенно-травяной субстрат → растение → машина)</b> .....	46
2.1. Обоснование экономико-математической модели оценки технологии и технических средств биотехнологической системы (почвенно-травяной субстрат → растение → машина) .....	46
2.2. Теоретическое обоснование процесса получения почвенно-травяного субстрата принятого состава и заданных свойств .....	53
2.3. Обоснование параметров процесса разрушения биологической массы исходного стебельного сырья в системе почва→стебель и корень растения → машина .....	54
2.4. Обоснование критериев оценки процесса возделывания сои и зерновых культур на основе системы биологического земледелия .....	62
2.5. Обоснование параметров роторного орудия с активным рабочим органом .....	67
2.6. Обоснование параметров машины многофункциональной универсальной с сошниками стрельчатого типа .....	80

2.7. Обоснование параметров бороны с пружинно-пальцевыми зубьями .....	133
<b>Глава 3. Экспериментальное обоснование параметров технологии и технических средств возделывания сои и зерновых культур в трёхпольном севообороте .....</b>	<b>156</b>
3.1. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию параметров роторного орудия с активным рабочим органом .....	156
3.2. Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления растительно-почвенного субстрата во время посева зерновых культур .....	170
3.3. Результаты лабораторно-полевых исследований .....	176
3.4. Результаты производственной проверки .....	183
3.5. Исследование влияния технологий посева на урожайность зерновых культур .....	192
3.6. Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления почвенно-растительного субстрата в процессе широкополосного посева семян сои .....	196
3.7. Результаты полевых исследований машины многофункциональной универсальной с комплектом экспериментальных рабочих органов .....	209
3.8. Результаты производственной проверки на посевах сои машины многофункциональной универсальной, оборудованной комплектом сменных рабочих органов .....	212
3.9. Результаты экспериментальных исследований и их анализ по изучению процесса боронования .....	213
3.10. Оценка качества выполнения технологического процесса при полевых исследованиях бороны прополочной с регулировкой зубьев по глубине и углу атаки .....	216
3.11. Результаты производственной проверки бороны прополочной БПРЗ-1,2 при уходе за широкорядными посевами сои .....	223
3.12. Сравнительная характеристика теоретических и экспериментальных исследований тягового сопротивления бороны .....	224
<b>Заключение .....</b>	<b>242</b>
<b>Литература .....</b>	<b>246</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сельскохозяйственные товаропроизводители России, в том числе и Дальневосточного региона, находятся в очень 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 только резкое снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции за счет роста производительности труда земледельца с привлечением достижений науки и передового опыта. При современном состоянии сельскохозяйственного производства основной целью науки является не только расширение объемов исследований, но и осмысление уже ранее накопленных знаний, а также их обобщение в одну научно обоснованную систему с целью получения максимально возможного урожая сельскохозяйственных культур в конкретных для данного региона климатических условиях, при постоянно возрастающей окультуренности почвы.

Проблема состоит также в том, что до настоящего времени интенсивные технологии возделывания любых сельскохозяйственных культур продолжают базироваться в основном на многократных проходах машинно-тракторных агрегатов, применении химических средств интенсификации и защиты растений, вызывающих негативную трансформацию биологических и физических свойств почвы, с последующим развитием процессов ее деградации.

Многолетние данные об урожайности сои и зерновых культур в Амурской области показывают, что несмотря на применяемые средства интенсификации в среднем по области урожайность остается невысокой, практически на одном уровне: сои – 0,96 т/га, зерновых культур – 1,22 т/га (Абазова М. А., 2006; Адаптивные..., 2009).

Прежде всего 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, агрегируемых с тяжелыми колесными тракторами массой 12 и более тонн. Это приводит к переуплотнению пахотного слоя и поверхностному застою влаги, значительно снижая активность почвенной микрофлоры. Кроме того, в условиях Амурской области тяжелые машинно-тракторные аг-

регаты (МТА) при обработке почвы весной 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 (Сюмак А. В., Панасюк А. М., 2011).

Уплотненная почва, в свою очередь, приводит к нарушению водно-воздушного режима и ухудшению роста растений. Наибольший ущерб сельскохозяйственному производству приносит работа тракторов на влажной почве. При сложившейся системе земледелия в Амурской области потери гумуса колеблются от 0,25 до 0,45 т/га в год, причем наивысшие показатели относятся к плодородным луговым черноземовидным почвам (Харина С. Г., 2004). Данный показатель зависит от типа почвы, культуры земледелия, применения севооборотов, внесения органических и минеральных удобрений. В этой связи разработка и освоение высокорентабельных технологий и технических средств, обеспечивающих воспроизводство плодородия почвы, а также сокращение в земледелии прямых затрат является важной народнохозяйственной задачей, требующей принятия решения.

# **ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

## **1.1. Севообороты и их роль в повышении плодородия почвы на основе использования технических средств нового поколения**

В Дальневосточном регионе России Амурская область занимает ведущее место по производству сельскохозяйственной продукции, основными культурами которой являются соя и зерновые.

Задача повышения урожайности этих культур может быть решена успешно лишь на основе системы мероприятий, в которой основное место принадлежит научно обоснованным севооборотам и техническим средствам нового поколения для их реализации.

О таком агротехническом приеме, как севооборот сельскохозяйственных культур, известно уже давно. Его польза бесспорна и объясняется многими факторами.

Во-первых, правильное чередование культур устраняет возможность размножения и накопления вредителей и болезней, специфичных для отдельных видов растений.

Во-вторых, при чередовании культур с разной глубиной залегания основной массы корней и усвояемостью микро- и макроэлементов достигается более полное и равномерное расходование питательных веществ пахотного и подпахотного слоев, создаются условия для пополнения их запасов. За счет чередования растений этих двух групп уменьшается вынос с урожаем элементов питания, и создаются условия для восстановления их запасов, сократившихся после выращивания культур с глубоким расположением корней. Корни растений осуществляют в почве многообразную непрерывную работу, активно воздействуя на нее, стимулируя жизнь почвенной микрофлоры, создавая комковатую структуру.

В-третьих, правильное чередование культур в севообороте позволяет с большим экономическим эффектом использовать органические удобрения.

И наконец, в-четвертых, с помощью чередования культур можно значительно уменьшить количество сорняков, улучшить экологическое состояние среды обитания и получить высококачественную продукцию (Заключительный отчет ..., 2006).

Многолетние травы улучшают структуру почвы, ее водопрочность. Этими свойствами, но в меньшей степени, обладают и однолетние растения с мощно развитой корневой системой.

Междурядные обработки пропашных культур способствуют уничтожению в посевах сорняков и очищению от их семян и вегетативных органов размножения почвы. Кроме того, уменьшается засоренность последующих культур. Еще быстрее уничтожаются сорняковые растения в пару. Чередование культур сплошного сева с пропашными и паром служит важным средством борьбы с сорняками.

Таким образом, схема севооборота должна устанавливаться с учетом целого комплекса условий, в зависимости от почвенно-климатических особенностей зоны. Каждый севооборот должен иметь агротехническое и экономическое обоснования.

Вопросам специализированных севооборотов в условиях Приамурья посвящено большое количество научных работ (Воложенкин А. Г., 1965; Гайдученко А. Н., 1992, 2003, 2007, 2008; Посыпанов, 1995, Сюмак, 2000, 2010). В настоящее время изучены севообороты, включающие от 2 до 10 полей с удельным весом сои от 20 до 66 %, а также бессменные посевы, эффективность чистых, занятых, сидеральных паров и многолетних трав в севооборотах (Заключительные отчеты, 2010 г.).

Установлены предшественники под основные культуры, чередование, соотношение и размещение культур по предшественникам. Наиболее приемлемыми являются севообороты с насыщением соей до 40 %, а также универсальные севообороты со 100 %-м использованием пашни под основные культуры и пожнивным возделыванием зеленой массы на сидерат (Система технологий ..., 2006).

Несмотря на то, что проблема по рациональному использованию пашни, сохранению ее почвенного плодородия хорошо изучена в новых экономических условиях хозяйствования в аграрном секторе, возникает достаточно много вопросов, требующих совершенствования севооборотов и продолжения исследований по разработке их теоретических основ. Однако не существует такого севооборота, который был бы эффективен при ежегодном применении и в любых условиях.

Резкое расширение посевных площадей в Приамурье сои как приоритетной и экономически наиболее выгодной культуры, создание и внедрение в производство новых интенсивных ее сортов, изменение набора полевых и кормовых культур в сельскохозяйственном производстве, с учетом экономической целесообразности их возделывания, стабильной продуктивности и адаптивности к почвенно-климатическим условиям, и изменение их соотношения в структуре посевных площадей, вызывает необходимость разработки новых специализированных соево-зерновых короткоротационных севооборотов с увеличением удельного веса сои до 66 % и зерновых культур до 50 %. С увеличением удельного веса сои и зерновых культур в севообороте до 50 % повышается выход продукции с 1 га севооборотной площади в среднем на 10,8...12,3 ц – зерна и 6,2...6,5 ц – сои. Включение в севообороты многолетних трав, поукосных и промежуточных посевов на сидерат способствует накоплению гумуса от 0,48 до 0,89 ц/га, в зависимости от севооборота (Гайдученко А. Н., 2003).

Результаты исследований ВНИИ сои свидетельствуют о том, что структура посевных площадей Амурской области в зависимости от категории хозяйств, их специализации, формы собственности должна обеспечивать в первую очередь экономическую эффективность. Необходимо осуществлять производство различной растениеводческой продукции с приоритетным возделыванием набора экономически выгодных культур, с учетом их хозяйственной ценности и адаптивности к почвенно-климатическим условиям, имеющих высокий уровень продуктивности, фитоса-

нитарной и почвозащитной способности. Предлагаемые 3...5-польные и другие севообороты должны использоваться с учетом площади пашни, состояния семеноводства данных полевых культур в зоне возделывания, направлений деятельности и производственных ресурсов аграрных предприятий.

Лучшими предшественниками в условиях Амурской области для сои и зерновых культур являются пласт и оборот пласта многолетних трав, а также сидеральные или занятые соево-овсяной смесью пары (Заключительные отчёты, 2010).

Наукой установлено и практикой подтверждено, что в условиях Приморского края при размещении сои по обороту пласта многолетних трав, кукурузы на зерно, под которые вносят в высоких дозах минеральные удобрения, ее можно возделывать без применения минеральных удобрений, что обеспечит сбережение значительной части ресурсов (Воложенин А. Г., 1965).

Из зерновых культур наиболее чувствительным к плодородию почвы является ячмень. Поэтому его целесообразно размещать первой культурой после паров или однолетних трав.

Овес имеет более мощную корневую систему, чем ячмень и пшеница, обладает повышенной пластичностью и его размещают в третьем звене, замыкая севооборот.

Соя – культура высокой агротехники, требует чистые от сорняков плодородные земли. Высевать ее лучше всего по зяби, обработанной по типу полупара, по паровым предшественникам, а также по своевременно вспаханному и обработанному пласту многолетних трав.

В сельскохозяйственных районах Амурской области для возделывания основных полевых культур (соя, зерновые) рекомендуется 8...10-польные севообороты с двумя-тремя полями многолетних трав; тремя-четырьмя – зерновых культур и тремя полями сои, а также 3...6-польные интенсивные или универсальные короткоротационные севообороты.

Результаты исследований по заданию 02.01.02.01 «Усовершенствовать специализированные севообороты с оптимальным на-

сыщением приоритетными культурами на основе эффективного использования ресурсного потенциала пахотных земель» лаборатории севооборотов и технологии возделывания сои, под руководством заведующего кандидата сельскохозяйственных наук А. Н. Гайдученко (Заключительный... (91 с.), 2010), подтверждают, что за период исследований (2006–2010 гг.) плотность почвы под полевыми культурами незначительно изменялась в зависимости от предшественников и находилась в пределах оптимальных значений для роста и развития растений: 1,08...1,27 г/см<sup>3</sup> – под соей; 1,07...1,22 г/см<sup>3</sup> – под зерновыми культурами.

В отдельные годы снижение почвенной влаги от 40 до 20 % полной полевой влагоёмкости (ППВ) в ответственные периоды роста и развития полевых культур отрицательно повлияло на формирование урожая.

В четырехпольном севообороте с пожнивным выращиванием соево-овсяной сидеральной массы после уборки ячменя и в пятипольном – с двухлетним использованием эспарцета песчаного за ротацию, по сравнению с исходными показателями, установлено повышение гумуса на 0,42 и 0,21 % соответственно за счет использования пожнивных и корневых остатков. В остальных севооборотах отмечено его снижение на 0,02...0,33 %.

Содержание подвижного фосфора по всем севооборотам и при бессменном возделывании культур изменялось незначительно, азота – снижалось к концу вегетации. Наименьшее снижение минерального азота отмечено в севооборотах с чистым паром, которое составило 3,8...4,5 мг/кг почвы, наибольшее (15,6 мг/кг) – в севообороте с пожнивным возделыванием сидерата. Другие показатели агрохимической характеристики почвы в зависимости от севооборотов изменялись незначительно.

Наименьшая засоренность сои установлена в севообороте: кукуруза–ячмень, ячмень–однолетние травы – 16,9 %. Наибольшая – при повторном возделывании сои – 30,6 %. Наименьшие колебания засоренности посевов по севооборотам наблюдаются у ячменя – от 17,8 до 23,4 %, у пшеницы – от 16,1 до 30,7 %, у кукурузы –

от 2,09 до 32,9 %. Бессменные посева сои и пшеницы были засорены на 56,4 и 42,8 % соответственно.

В период исследований густота стояния растений сои была удовлетворительной в полях севооборотов. Полевая всхожесть сои составила 68...81 %, зерновых – 61...81 %.

Наибольшее нарастание надземной массы и прирост сухого вещества у сои наблюдается в таких севооборотах, как 5-польный, контрольный и с возделыванием кукурузы. При повторном и бессменном посевах прирост сухой массы был в 1,5...2,6 раза ниже, чем в севооборотах. Наибольший прирост надземной массы у ячменя (5,3 т/га) отмечен в севообороте с многолетними травами, кукурузой (3,0 т/га) в 5-польном севообороте, у пшеницы (4,73 т/га) – в контрольном севообороте.

В среднем за последние 5 лет наибольшие показатели достигнуты:

- по урожайности сои (1,64 т/га) в 5-польном севообороте двухлетнего использования эспарцета песчаного. При повторном и бессменном возделывании продуктивность сои была ниже соответственно на 0,21...1,41 т/га и 0,27...1,73 т/га, чем по другим предшественникам. Урожайность ячменя в полях севооборотов составила 1,87...1,97 т/га; пшеницы – 1,30...1,44 т/га, при бессменном посеве – в 1,6...1,8 раза ниже, а кукурузы – 2,23...3,08 т/га;

- по выходу семян (1,56 т с 1 га севооборотной площади) в 4-польном севообороте. При монокультуре этот показатель составил 0,97 т/га, однако урожайность за пятилетку в 1,5 раза была ниже, чем в севообороте. В бессменных посевах пшеницы выход семян составил всего 0,8 т с 1 га;

- по прибыли от производства сои (3,77 тыс. рублей на тонну корм. ед. с 1 га севооборотной площади) в 4-польном севообороте с пожнивным возделыванием сидерата, при себестоимости 3,12...3,24 тыс. рублей.

Бессменное возделывание сои и пшеницы обеспечивает получение прибыли соответственно 2,98 тыс. рублей и 2,48 тыс. рублей на 1 тонну корм. единиц.

За годы исследований выявлен лучший специализированный 4-польный короткоротационный севооборот с пожнивным возделыванием соево-овсяной массы на сидерат по агрохимическим свойствам почвы, формированию продукционных процессов, продуктивности и экономической эффективности возделывания сои.

## **1.2. Особенности и преимущества короткоротационных севооборотов**

В настоящее время, несмотря на изменившиеся цены на энергоносители и продукцию растениеводства, продолжается выполнение рекомендаций зональной технологии, разработанной ещё в 80-е годы прошлого столетия. Особенно актуален для сельскохозяйственного производства вопрос – как одновременно снизить затраты производства и повысить урожайность культур? Надо сказать, что самые высокие затраты (около 70 % всех затрат на выращивание сельскохозяйственных культур) связаны с подготовкой почвы для посева и принятой в настоящее время на вооружение системой удобрений и защиты растений от сорняков и болезней. Данные затраты вполне возможно уменьшить путем включения в производственный процесс природных источников повышения продуктивности растений, заменяя ими некоторые факторы интенсификации (Мунгалов В. А., 2010).

Миллионы лет «растительное царство» развивалось без нашего вмешательства, и каждое выжившее до наших дней растение самодостаточно, в нем нет ничего лишнего или недостающего. Всё сбалансировано, и любой биоценоз способен без вмешательства человека существовать и развиваться. Но при замене биоценоза на необходимый нам агроценоз производители встречаются всевозможные проблемы: недостаток у растений элементов питания, проблемы по защите их от сорняков и болезней. Это происходит потому, что растения в дикой природе не существуют сами по себе, а живут в тесном содружестве с представителями других

классов растительного и животного мира: грибами, бактериями, вирусами и т. д. Выделяют наиболее острые проблемы, возникающие практически ежегодно в наших условиях:

- недостаток влаги в весенний и раннелетний периоды. Эту особенность нашего климата знают все, об этом предупреждал П. И. Колосков и предлагал переходить от выращивания ранних яровых хлебов к поздним – «серым» хлебам (Колосков И. П., 1925).

При неравномерном распределении влаги в течение вегетации основная часть осадков приходится на вторую половину лета. Они особой роли в формировании урожая текущего года не играют, но являются важным резервом и помогают сглаживать негативные последствия весенне-летних засух. В последние годы эффективность использования этого резерва существенно снижена из-за проведения основной горизонтальной обработки почв тяжёлыми колёсными тракторами марки К-700 и орудиями (плуги, культиваторы), образующими «плужную подошву». В годы с избытком влаги во вторую половину вегетации необходимо обработку почвы и посев переносить на более поздние сроки и переходить к посеву поздних культур. Надо менять систему основной обработки почвы с горизонтальной на вертикальную, с постепенным увеличением водопроницаемости наших зональных тяжелых почв. На наш взгляд, это одно из возможных и главных условий ухода от периодических засух;

- необходимость использования механизма росообразования. Агротехнические приемы включения этого явления разработаны русским агрономом И. Е. Овсинским (Овсинский И. Е., 2004). Согласно им, необходимо уплотненное ложе для семян на глубине не более 5 см и обязательно постоянно рыхлый слой почвы над этим уплотненным ложем. Конструкция дискового сошника не предусматривает создание такого ложа и, даже более того, разрушает ранее созданное предпосевной культивацией. Требуется разработка сошника, отвечающего этим требованиям, и специальной легкой бороны для ухода за посевами, с регулируемой глубиной хода зуба. Такая бороны не предназначена для подготовки почвы и должна

иметь более частое размещение зуба, а зуб диаметром 6 мм должен бороться с сорняками в фазе проростков, разрушать почвенную корку и не уничтожать культурные растения (Патент 2222881, 2004; Цыбань А. А. (С. 182–187, 91–95), 2010; Чайка А. К., 2010 );

- создание оптимальных условий для роста растений. Это значит обеспечить достаточное количество влаги, макро- и микроэлементов питания, защиту от болезней за счет создания высокопула всех видов спонтанной биоты почвы. В природе всё устроено рационально, нет ничего лишнего и ненужного. В воздухе – азот, углерод, водород, кислород; в почве – валовые запасы даже такого для нас остродефицитного элемента, как фосфор, составляют 0,25...0,33 % (6...10 т), в то время как доступного для культурных растений фосфора – только сотни килограмм или на порядок и два ниже. Это связано с тем, что валовые запасы доступны для сорняков, которые хорошо растут на выбракованных полях. Они сохранили генетически обусловленную способность совместной работы с микроорганизмами, разнообразные виды которых не только разлагают органику, но и фиксируют необходимое количество азота, извлекают из труднодоступных соединений необходимые элементы минерального питания. Долгой целенаправленной селекцией культурные растения «отучили» от взаимодействия с нужными микроорганизмами, взяв все заботы о питании и защите на себя. Главная задача сейчас – максимально увеличить разнообразие всех видов микроорганизмов и их пул, чтобы и под культурными растениями биота почвы работала так же, как под сорной растительностью. Причём, за счет биоты почвы не только повышается урожай, но и иммунитет растений, сохраняются запасы почвенного азота, и кроме экономических выгод в этом случае можно получить еще и улучшение экологической обстановки. Но для активной работы микроорганизмов необходима энергия – питание. По данным Гюнтера Канта (Кант Г., 1988), для вспышки пула микроорганизмов в почве необходимо не менее 6 тонн легко разлагаемого углерода – в нашем случае зеленых растений, лучше всего сорняков, так как они не потеряли еще способности к активной

совместной работе с микроорганизмами. Последние не только разлагают органику, но и образуют внешнюю и внутреннюю микоризу, могут быть ассоциативным азотфиксатором, выполняют роль ризосферной микрофлоры, выделяют биологически активные вещества, регулирующие рост и развитие растений. По данным института микробиологии АН РФ, заделывать растительную массу необходимо в верхнюю 1/3 часть пахотного слоя; при разложении органики в верхнем слое почвы выделяются гиббереллины и ауксины, провоцирующие прорастание семян сорняков, которые уничтожаются последующими обработками. Е. Н. Мишустин совместно с другими сотрудниками установил, что для полного разложения органики нужно три года, и в этом процессе участвуют практически все микроорганизмы (Мишустин Е. Н., 1971; Верниченко Л. Ю., 1970).

Учёные Института цитологии и генетики СО РАН установили, что большинство возделываемых сейчас сортов культурных растений утратили способность к синергетическим взаимоотношениям с ассоциативной микрофлорой.

Более того, нам известно несколько периодов роста и развития растений, которые оказывают существенное, если не основное, влияние на величину будущего урожая. У всех культур эти периоды различны. Ф. Ю. Гельцер выделила один, общий для всех культур – период прорастания семян. Если в этот период на семя достаточно активно действуют выделения ризосферных микроорганизмов, то в семени активизируются эндофиты, которые образуют внутреннюю микоризу. В своих опытах Ф. Ю. Гельцер получила прибавку урожая у яровой пшеницы на 45 % больше по сравнению с культурами, не прошедшими обработку ризосферными микроорганизмами (Гельцер Ф. Ю., 1955).

Таким образом, вышеизложенные данные являются подтверждением того, что необходимо повысить содержание всех микроорганизмов в почве. Это возможно сделать, только используя сидерат (питательный субстрат) из сорных растений, еще сохранивших способность к совместной жизнедеятельности с различными мик-

роорганизмами. С учетом одновременного получения других преимуществ (биологическое рыхление подпахотного слоя, улучшение водопроницаемости почвы, вовлечение в биологический круговорот азота воздуха и других элементов из труднодоступных соединений, повышение микробиологической и биологической активности почвы) переход на биологическую систему земледелия позволит при существенной экономии затрат повысить урожайность полевых культур. Однако для этого необходимо разработать оптимальную схему севооборота и систему обработки почвы, способствующие созданию и сохранению высокого пула всех видов спонтанной биоты почвы, исключающие применение всех видов минеральных удобрений и химических средств защиты растений.

Этим требованиям отвечает трёхпольный севооборот, в первом поле которого выращивается сидерат из сорняков. Задача – не только получить высокий урожай зеленой массы, а как можно большее разнообразие микроорганизмов. Для этих целей служит пар. Кроме того, при обработке этого пара не должны нарушаться условия жизни этих микроорганизмов. Одновременно с этим необходимо создать условия для активного разложения органики. Этим требованиям не отвечает ни одно орудие из существующей системы машин. Получение рыхлого верхнего слоя почвы способствует активной работе сапрофитной микрофлоры и быстрому разложению надземной части сидерата.

Второе поле должно быть занято зерновыми культурами, которые в достаточной степени будут обеспечены элементами минерального питания за счет разложения растительной массы сидерата с обеспечением оптимального водного режима в засушливый весенне-летний период. Эта задача решается за счёт включения в работу физического закона росообразования. Однако и для этих целей в настоящее время сельскохозяйственные товаропроизводители не имеют машин.

Зерновые освобождают поле в конце июля – первой половине августа и позволяют подготовить его под следующую культуру по типу полупара.

В третьем поле севооборота размещается соя – культура, которая является главным засорителем полей, очень поздно созревает и имеет генетически обусловленную способность к синергетическим взаимоотношениям с микроорганизмами. Защиту от сорняков можно обеспечить агротехническими мероприятиями (Сюмак А. В., Русаков В. В. и др., 2011).

Данный севооборот способствует созданию и поддержанию высокого пула всех видов спонтанной биоты почвы и, вместе с тем, создает оптимальные условия для роста и развития растений. Однако этот севооборот эффективен только при наличии специальных технических средств, которые на сегодняшний день отсутствуют.

### **1.3. Анализ технологий, применяемых для возделывания сои и зерновых культур в короткоротационных севооборотах**

#### ***Анализ существующих технологий возделывания сои***

Изучению агротехники возделывания сои повсеместно уделяется большое внимание. ГНУ ВНИИ сои, ФГБОУ ВПО ДальГАУ, ГНУ ДальНИИМЭСХ и другими научными учреждениями разработана достаточно полная базовая технология возделывания сои. Данная (типизированная) технология предназначена в основном для использования в условиях значительного ограничения гидротермических ресурсов и предполагает применение хорошо адаптированного к зональным условиям сортового набора сои.

Особенностью обеспечения агротехники возделывания сои является использование технических средств, предназначенных преимущественно для выращивания зерновых культур. Поэтому в ДальНИИМЭСХе, ДальГАУ и ДальНИИСХе созданы машины и агрегаты для использования в соеводстве. При их постепенном внедрении эффективность отрасли должна значительно повыситься (Система технологий ..., 2011).

На основе базовой технологии сои в настоящее время разрабо-

тано и внедрено несколько модификаций соевого агротехнического комплекса, которые различаются в первую очередь способами посева. Наиболее широко в настоящее время используется рядовой (сплошной) способ посева, который позволяет существенно снизить затраты на механические уходы за посевами, но требует применения системы мер борьбы с сорняками с помощью гербицидов. Сохраняет свое значение и широкорядный способ посева сои (с шириной междурядий 45 см или двухстрочный, 51 см на 15 см). Данный способ можно применять при недостатке гербицидов и наличии агрегатов для междурядных обработок посевов. Относительно хорошо изучен гребневой способ посева сои, который дает положительные результаты преимущественно в северной зоне соесяния Амурской области. При различных способах посева следует учитывать сортовую специфику сои. В каждом конкретном случае при выборе способа посева следует предусмотреть соответствующие изменения нормы высева, набора сельскохозяйственных орудий, меры борьбы с болезнями и сорняками, системы удобрений и т. д.

Еще одним фактором, определяющим ряд модификаций базовой технологии возделывания сои, является способ основной обработки почвы, в зависимости от которого существенно меняется набор и очередность проведения некоторых элементов в агротехнике, приемы и сроки внесения удобрений, гербицидов, методы предпосевной обработки почвы.

Следует отметить, что сравнительные научные данные, полученные в Приамурье, и мировой опыт соесяния свидетельствуют о том, что различные модификации технологий возделывания сои при правильном использовании существенно не различаются по влиянию на интенсивность продукционных процессов в посевах, а, значит, мало различаются и по итоговой урожайности сои.

Различия между вариантами указанных технологий прежде всего проявляются в затратности, уровне окупаемости и экономичности. Главным в данном случае является подбор и реализация агротехнических элементов, максимально соответствующих

зональным и даже микрозональным особенностям на территории товаропроизводителей, их хозяйственным (техническим) возможностям и сортовой специфичности культуры. Поэтому в настоящее время разработана многовариантная технология возделывания сои, которая должна учитывать все виды прогнозов на каждый конкретный год. Из различных вариантов (моделей) соевод может выбрать оптимальный набор агроприёмов. Вместе с тем, в каждую модель технологии включаются базовые агротехнические приемы, которые хорошо изучены и апробированы в производстве (Рафальский С. В., Гайдученко А. Н., Ковшик И. Г., 2003).

Исследовано, что лучшими предшественниками сои являются пласт многолетних трав, занятые удобренные пары, зерновые, идущие после многолетних трав. Под посев сои целесообразно готовить раннюю зябь, обработанную с осени по типу полупара. После уборки предшествующей культуры и предварительного лущения стерни (через 10 дней) проводят вспашку на глубину пахотного слоя плугами с предплужниками в агрегате с приспособлениями для крошения и выравнивания почвы. Предварительно осуществляют опрыскивание многолетних сорняков гербицидами. На маломощных почвах делают почвоуглубление путем припахивания 3...4 см подпахотного горизонта с обязательным внесением органических удобрений. На бурой лесной и луговой черноземовидной почвах под сою эффективно применение глубокого безотвального рыхления на глубину 25...30 см. Его можно проводить плугами или плоскорезами-глубокорыхлителями. Нижние малогумусируемые горизонты следует разрыхлять один раз в 3...4 года.

В южных и центральных районах Амурской области более широкое применение находит (как основная) бесплужная обработка, которую проводят в двух поперечных направлениях.

Подготовка ранней зяби предусматривает дискование на полях с однолетним типом засоренности по мере появления всходов сорняков, а с многолетним — культивацию. На полях, где не использовали гербициды, при засорении зяби многолетними сорняками необходимо проводить сплошную культивацию на глуби-

ну 10...12 см культиваторами, оборудованными комбинированным набором рабочих органов, и одновременное боронование.

Весной, по мере оттаивания почвы, зябь боронят, прикатывают кольчатыми катками ЗККШ-6А с целью сохранения влаги, выравнивания поверхности пашни и провоцирования прорастания сорняков. Позднее проросшие сорняки уничтожаются культивацией. Перед посевом сои проводится предпосевная культивация на глубину 8...10 см на полях, засоренных многолетними сорняками. При однолетнем типе засоренности проводится дискование на глубину 6...8 см с одновременным боронованием непосредственно перед посевом.

К севу сои приступают, когда почва на глубину 10 см прогреется до 8...12 °С. Семена сои, имеющие низкую всхожесть, микротрещины, заблаговременно протравливают контактными протравителями. При всхожести семян выше 90 % эффективна обработка нитрагином, который препятствует распространению инфекций. При обработке семян необходимо соблюдать рекомендуемую норму расхода рабочего раствора (6...8 л/т семян). Сроки сева должны определяться зональными особенностями и скороспелостью сорта (от 10 мая до 5 июня). Подбор сортов проводится с учетом агроклиматических факторов и, в первую очередь, зависит от ресурсов тепла.

Прежде всего засевают поля, чистые от сорняков. Наиболее распространённые способы посева – рядовой и широкорядный. Посевы производятся в основном трехсеялочными агрегатами, скомплектованными из трактора класса 30 кН, жестких сцепок и трех комбинированных сеялок (СЗСШ-3,6, СЗП-3,6, СЗ-3,6) (Сюмак А. В., 2006; Технология..., 1986).

Рядовой (сплошной) способ посева сои следует применять на относительно чистых от сорняков полях при наличии гербицидов, проведения боронований после посева и появления всходов в фазу первого настоящего листа. Нормы высева рассчитывают с учетом последующих работ по уходу за посевами, чтобы к периоду уборки на 1 м<sup>2</sup> было не менее 55...60 среднеспелых и 60...65

скороспелых сортов растений. Для этого норма высева средне-спелых сортов должна составлять 750...800 тыс., а скороспелых – 800...900 тыс. всхожих семян на 1 га. В тяжелую почву семена заделывают на глубину 4...5 см, в легкую – 5...6 см. Сев ведут поперек пахоты, соблюдая прямолинейность рядков. При посеве рядовым способом оставляют технологическую колею. После посева почву прикатывают кольчатыми или гладкими катками.

Система мер по уходу за посевами сои состоит из химических и агротехнических способов.

*Химические способы* предполагают применение системы гербицидов для борьбы с сорняками. Краевыми обработками и выборочным опрыскиванием уничтожаются вредители при высокой численности.

*Агротехнические способы* мер борьбы с сорняками в посевах сои включают боронования до и после всходов и междурядные обработки. Сроки проведения до- и послевсходового боронования зависят от интенсивности прорастания сорняков и времени посева сои. Очень важно провести эту работу в стадии проростков (белых нитей) или начала появления всходов сорняков. До-всходовое боронование эффективно в борьбе с ранними сорняками, а послевсходовое – с более поздними. Боронования проводят агрегатами, состоящими из трактора тяги 30...40 кН (Д-75, Т-4), сцепок СГ-21 и средних борон БЗСС-1,0, в один след. Для уменьшения повреждения сои зубья борон необходимо устанавливать скошенной стороной вперед. Обработка производится поперек или по диагонали посева со скоростью, не превышающей 6...8 км/ч до всходов и 4...5 км/ч по всходам. Первую культивацию посевов сои необходимо начинать при полных всходах, но не позднее разворачивания первого тройчатого листа. Она проводится культиватором КРН-4,2 с набором бритвенных лап на глубину 5...6 см, при защитной зоне – 8...10 см. Для боронования рядков и междурядий устанавливают пропалочные боронки КРН-70. Через 8...10 дней после первой проводится вторая культивация. Пропалочные агрегаты по числу культиваторов и ширине захвата должны стро-

го соответствовать посевным, поэтому расстановку и регулировку рабочих органов агрегатов необходимо проводить на разметочной площадке. Лапы культиваторов следует систематически очищать от сорняков. При высокой культуре земледелия и слабой засоренности посевов возможно сокращение операций как в период предпосевной подготовки почв, так и при уходе за посевами сои.

При гребневом способе посева, а также при уходе за посевами используется сеялка-культиватор конструкции ДальНИИСХа. Это позволяет начать сев сои в северных районах Амурской области на 5...7 дней раньше при норме высева 600...650 тыс. всхожих семян на 1 га. На менее переувлажненных почвах в этих зонах можно возделывать сою на грядах, это менее трудоемко и более производительнее, чем при возделывании на гребнях. Для посева сои на грядах 140 см используются переоборудованные сеялки СЗП-3,6.

Убирают сою прямым комбайнированием, то есть переоборудованными на низкую высоту среза комбайнами, с установкой заданных оборотов первого и второго барабанов поперек рядков или по диагонали, при полной спелости и влажности семян – 12...18 %.

Таким образом, технология возделывания сои является достаточно трудоёмкой и затратной. Главная задача при реализации агроприемов – добиться их высокой экономичности. Поэтому в зависимости от условий хозяйствования, технологической оснащённости и экономического состояния предприятия рекомендуется использовать одну из трех технологий или комбинацию из трех приёмов.

*Технология А* (интенсивная технология) предусматривает всестороннюю современную научно обоснованную систему основной, предпосевной и послепосевной обработки почвы, подготовки семенного материала, высококачественное выполнение агротехнических операций, систематизированный контроль за состоянием посевов в течение большей части вегетационного периода (по аналогии с мониторингом) и оперативное воздействие на состо-

яние посевов с целью оптимизации условий для достижения максимально возможного уровня продукционных процессов. Одновременно решается задача систематического повышения уровня эффективного плодородия почвы в соево-зерновом севообороте и улучшения экологической обстановки.

**Технология Б** рассчитана на осуществление основных операций по возделыванию сои (бесплужная или отвальная обработки, применение одного-двух видов гербицидов, ограниченный набор приемов по уходу за посевами, уборка урожая до наступления устойчивых заморозков). Данный комплекс не предусматривает получение максимально высокого урожая, а предполагает сохранение равновесного состояния плодородия.

**Технология В** предусматривает необходимость всесторонней экономии ресурсов в условиях нехватки материально-технических ресурсов в зонах рискованного земледелия. Агротехнические приёмы данной технологии сводятся к упрощенной схеме «посев-уборка». При получении заведомо невысокого урожая его окупаемость (за счет снижения затрат) должна быть существенной. При реализации технологии В необходимо стремиться замедлить снижение почвенного плодородия.

Во всех случаях предлагаемые технологии должны быть рассчитаны на получение экономической отдачи. При этом ни одна из этих технологий не имеет системы биологического улучшения плодородия почвы.

#### ***Анализ технологий возделывания зерновых культур***

Зерновые культуры являются основными компонентами зерно-соевых севооборотов в Амурской области. Площади их посевов представлены яровыми пшеницей, ячменем и овсом. Эти культуры менее требовательны к основным факторам роста и развития по сравнению с теплолюбивыми пропашными культурами.

Семена пшеницы начинают прорастать при плюс 1,5...2,0 °С. Всходы переносят непродолжительные заморозки – до минус 6,0 °С. Интенсивное кущение происходит при температуре плюс

10...12 °С. Почвенная засуха отрицательно влияет на рост в начальные фазы развития, особенно в фазу кущения и выхода в трубку, когда формируются репродуктивные органы. Как известно, колосовые злаки требовательны к почвенному плодородию. Использование питательных веществ начинается с первых дней жизни растений. Максимальное количество азота и фосфора потребляется в фазу кущения и колошения, калия – в фазу выхода в трубку и налива зерна.

Семена овса прорастают при плюсе 2...3 °С, переносят весенние заморозки (минус 3...4 °С). Весной корневая система у овса развивается быстрее, чем у пшеницы и ячменя, поэтому он сравнительно легко переносит весеннюю засуху. Овёс не боится переувлажнения почвы во второй половине вегетации. Благодаря хорошему развитию корневой системы, обладающей высокой способностью к усвоению питательных веществ, эта культура лучше пшеницы и ячменя поглощает питательные вещества из почвы, а потому менее требовательна к ее плодородию и кислотности.

В севооборотах зерновые культуры размещаются по занятым, сидеральным и чистым (центральная и северная зоны) парам, пласту и обороту пласта многолетних трав, сои. Основная обработка почвы предполагает зяблевую вспашку плугом с предплужником. Многие хозяйства Амурской области широко практикуют бесплужную обработку полей из-под сои, которую выполняют тяжелыми культиваторами, плоскорезами, комбинированными машинами, дисковыми орудиями. Весенняя предпосевная обработка почвы должна быть направлена на обеспечение качественной разделки полей для проведения посева на необходимую глубину заделки семян и, как правило, сохранения почвенной влаги. После обработки почву обязательно боронят.

Обработанные с осени поля весной боронят поперек или по диагонали к направлению предшествующей обработки почвы. На невыровненной, глыбистой зяби весной проводится культивация или дискование (в зависимости от типа засоренности) и боронование.

Вследствие высокой вредоносности болезней семян, посеян-

ных в холодную почву, распространения листовых и семенных инфекций в течение вегетации технология возделывания ячменя и пшеницы, в первую очередь, предусматривает обязательное протравливание семян системными химическими и биологическими препаратами в комплексе с регуляторами роста растений.

Для получения стабильно высоких урожаев зерновых культур большое значение имеют условия минерального питания растений, посев в оптимальные сроки, настроенными на расчетную норму высева сеялочными агрегатами, и обеспечение оптимальной глубины заделки семян. В зависимости от потребностей зерновых культур в элементах питания дробно вносят минеральные туки, под основную обработку почвы – фосфор и калий. Поступление азота в растения обеспечивается внесением его до посева под боронование или при посеве в смеси с небольшим количеством фосфора (30...40 кг/га азота и 10...20 кг/га фосфора).

Лучшими сроками посева зерновых культур (ячменя, пшеницы и овса) являются вторая и третья декады апреля. Овес в меньшей степени реагирует на сроки посева, поэтому его посев проводят после ячменя и пшеницы. Для тяжелых почв оптимальная глубина заделки семян составляет 3...4 см, для легких – 4...5 см. Способ посева рядовой с междурядьями 15 см. Однако в зависимости от материально-технической базы и наличия у сельхозтоваропроизводителей соответствующей техники возможно применение узкорядного или перекрестного посевов. При рядовом и узкорядном способах посева в целях недопущения огрехов необходимо обязательное применение маркеров. Для качественного выполнения технологических операций по уходу за посевами оставляют технологическую колею.

Рекомендуемая норма высева для районированных сортов пшеницы составляет 6,5...7,0 млн всхожих зёрен на 1 га; ячменя и овса – 5,0...5,5 млн всхожих зёрен на 1 га. На более плодородных почвах южной зоны при посеве используются меньшие нормы высева, на малопродуктивных (центральная и северная зоны) – более высокие. После посева почву прикатывают катками.

Следует иметь в виду, что при низких запасах почвенной влаги эффект допосевного внесения азота снижается. Целесообразно вносить азот или при посеве, или путем подкормки растений в фазу кущения. В жидком виде подкормку совмещают с опрыскиванием гербицидами. Внесение большого количества азота или нарушение его баланса способствуют росту вегетативной массы, полеганию растений, возрастанию восприимчивости к болезням и заселенности тлём. Чтобы предотвратить полегание, посевы до полного выхода в трубку обрабатывают одним из регуляторов роста растений (РРР): цецеце, 46 % в. к. (1,5...2,0 л/га); крзацин, 95 % к. р. п. (4,0...6,0 л/га); фуролан, 98,9 % ж. (3,4...5,1 л/га).

Уборку зерновых культур необходимо начинать отдельным способом в фазу восковой спелости пшеницы и ячменя и при созревании 2/3 метелки овса, на чистых от сорняков полях, прямым комбайнированием, при полной спелости зерна. В местных условиях обычно убирают зерно с повышенной влажностью (18...20%). Допустимая норма влажности – 13...14 %. Сырое зерно необходимо немедленно очистить и просушить, не снижая его жизнеспособности.

Из вышеизложенных данных видно, что основной способ посева зерновых культур остается прежним – рядовой с междурядьем 15 см. Однако он способствует сильному испарению влаги, поэтому требуется разработка нового способа посева с равномерной заделкой семян по глубине и по площади с сохранением почвенной влаги.

#### **1.4. Анализ технических средств, используемых для обработки почвы, внесения минеральных удобрений и для посева сои и зерновых культур**

Рационализация обработки почвы в направлении ресурсосбережения и адаптации к природно-производственным условиям является одним из основных факторов повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

В Амурской области основная обработка почвы под все культуры должна проводиться осенью плугами с предплужниками и приспособлением для крошения глыб и выравнивания поверхности поля или тяжелыми культиваторами при безотвальной обработке. Она должна способствовать накоплению влаги, ослаблению эрозии, усилению биологической активности почвы.

Предпосевная обработка почвы необходима для сохранения влаги, выравнивания почвы под посев и борьбы с сорняками. Общий приём под все культуры – ранневесеннее боронование с целью закрытия влаги и выравнивания поверхности поля. Под сою и другие поздно высеваемые культуры проводится комплекс мероприятий по борьбе с сорняками, включающий прикатывание и 2...3 поверхностно-послойные обработки (по мере появления всходов сорняков). Против пырея необходимо провести «вычесывание» в сухую погоду, используя культиваторы с пружинными лапами, с одновременным боронованием. В предпосевной период вносят в почву гербициды.

Для сохранения потенциального плодородия почв, создания бездефицитного баланса гумуса и получения достаточных объемов продукции растениеводства вносят минеральные удобрения. Поверхностное внесение негранулированных минеральных удобрений (известь, фосфоритная мука и другие) производят перед вспашкой центробежными (РУМ-8, КСА-3, 1-РМГ-4, НРУ-0,5) и пневматическими (АРУП-8, РУП-8) разбрасывателями.

Основную дозу гранулированных минеральных удобрений вносят непосредственно в почву на глубину 8...12 см локально-ленточным способом комбинированными машинами МКП-4 и АБМК-8 одновременно с предпосевной обработкой почвы, ранее разработанной автором (Сюмак А. В., 2010 (С. 119–125, С. 50–56)). Работы должны проводиться своевременно, качественно, что во многом зависит от профессионализма работников, подготовки технических средств к полевым работам, правильного составления агрегатов и рационального выбора режима их работы (табл. 1.1.)

Анализ составов агрегатов показывает, что они сформированы на базе тракторов тяжёлого класса, что негативно сказывается на плодородии почвы Амурской области.

Таблица 1.1

**Составы агрегатов и режимы их работы на основной отвальной и безотвальной, предпосевной обработках почвы и внесении минеральных удобрений**

Операция	Состав агрегата	Глубина обработки, см	Режим работы и рабочая передача
Отвальная вспашка зяби с предплужниками и приспособлением для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	К-701+ПН-8-35+приспособление для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	16-18	III/3-III/2
		18-20	III/2-III/4
		20-22	III/4-III/2
	ДТ-75М+ПЛН-4-35+приспособление для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	16-18	4-3
		18-20	4-3
		20-22	3-4
	Т-150+ПЛН-5-35+приспособление для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	16-18	3-4
		18-20	3-2
		20-22	2-3
	Т-150+ПЛН-5-35+приспособление для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	16-18	II/3
		18-20	II/2
		20-22	II/1-2
Т-4А+ПЛН-5-35+приспособление для крошения глыб и выравнивания поверхности поля	16-18	7	
	18-20	7-6	
	20-22	5-6	
Основная безотвальная обработка почвы (серийные тяжелые и противозрозийные культиваторы)	К-701+КТС-10-1	12-16	II/3-2
	К-701+3хКПЭ-3,8	12-16	II/3-2
	ДТ-75М+КПЭ-3,8	12-14	5-4
	Т-150+КПЭ-3,8	12-14	4-3
	Т-4А+3хКПЭ-3,8	12-14	6-7
Основная безотвальная обработка почвы (разработчик ДальНИПТИ-МЭСХ)	К-701+КГН-6	12-15	II/3-4
		16-18	II/2-3
	ДТ-75М+КГН-4	12-15	5-4
		16-18	4-3
	Т-150+КГН-4	12-15	4-3
		16-18	3-2
	Т-150К+КГН-4	12-15	II/3
		16-18	II/3-2
	Т-4А+КГН-4 12-15	12-15	7-6
		16-18	6-7
К-701+АБМК-8 (культиватор блочно-модульной конструкции без внесения минер. удобрений)	12-15	II/3	
	16-18	II/2-3	

	ДТ-75М+АБМК-4	12-15	4-5
		16-18	4-3
	Т-150+АБМК-4	12-15	3-4
		16-18	2-3
	Т-150К+АБМК-4	12-15	II/2-3
		16-18	II/2-1
	Т-4А+АБМК-4	12-15	7-6
		16-18	6-7
	Т-70С+АБМК-2	12-15	7-6
		16-18	6-7
	МТЗ-82+АБМК-2	12-15	5-4
		16-18	4-3
Предпосевная обработка почвы (разработчик ВНИИ сои)	К-701+СП-16+3хМКП-4 (машина комбинированная прицепная для предпосевной обработки почвы с одновременным внесением основной дозы гранулированных минеральных удобрений)	8-12	III/2-III/4
	ДТ/75М+МКП-4	8-12	4-5
Предпосевная обработка почвы (разработчик ДальНИИМЭСХ)	Т-150К+АБМК-8 (агрегат блочно-модульной конструкции с локальным внесением основной дозы гранулированных минеральных удобрений)	10-12	II/3-2
	Т-150+АБМК-8	10-12	3-2
	К-701+КУП-6 с одновременным выравниванием поверхности поля	10-12	II/2-3
	Т-150+КУП-4 с одновременным выравниванием поверхности поля	10-12	3-2
	Т-4А+КУП-4 с одновременным выравниванием поля	10-12	7-6
	ДТ-75М+КУП-4 с одновременным выравниванием поверхности поля	10-12	5-4
Сплошная культивация серийными культиваторами с боронованием	К-701+СП-16+3хКПС-4+12 звеньев БЗСС-1,0	8-12	III/3-III/2
	ДТ-75М+КПС-4+4 звена БЗСС-1,0		4-5
Дискование	К-701+ЛДГ-20	4-10	III/3-III/2
	Т-4А+ЛДГ-15		7-6
	Т-150+ЛДГ-15		3-4
	ДТ-75М+ЛДГ-10		5-4
Боронование	ДТ-75М+СГ-21+21 звено БЗСС-1,0	3-4	4-3
	ДТ-75М+С-11У+24 звена БЗСС-1,0	3-4	4-3
Разделка глыбистой зяби	К-701+БМШ-20	5-6	II/3-4
	К-701+БДТ-7,0	8-10	II/2-3
	Т-4А+БДТ-3,0	8-10	6-7
	Т-150+БДТ-3,0	8-10	3-4
	ДТ-75М+БДТ-3,0	8-10	4-5

### *Анализ машин и агрегатов, используемых для посева сои*

Составы и режимы работы агрегатов, применяемых для посева и ухода за посевами сои (табл. 1.2), во многом зависят от способа посева. Помимо традиционного для Амурской области посева широкорядным способом с междурядьем 45 см, в настоящее время получает распространение посев рядовым способом с междурядьем 15 см (сплошной). Посев сои этими способами производят в основном сеялками, предназначенными для зерновых культур (Тильба В. А., 1998). На небольших полях используются односеялочные агрегаты МТЗ-82+СЗ-3,6А или МТЗ-82+СЗП-3,6А.

Основным агрегатом для посева сои является трехсеялочный, состоящий из трактора класса 3, сцепки СП-11А и сеялок СЗ-3,6А или СЗП-3.6А (Зональная..., 2002).

Таблица 1.2

#### **Состав и режимы работы агрегатов для посева и ухода за посевами сои**

Операция	Состав агрегата	Рабочая ширина захвата, м	Режим работы и рабочая передача
Широкорядный посев	МТЗ-82+СЗ-3,6А		
	(МТЗ-82+СЗП-3,6А)	3,6	6-5
	ДТ-75М+СП-11А+3 СЗ-3,6А	10,8	5-4
	Т-150+СП-11А+3 СЗ-3,6А	10,8	2-1
	МТЗ-82+ССРС-5,8	5,8	5-4
	Т-70С+ССРС-5,8	5,8	7-6
	Т-150+КУМА-10,8	10,8	7-6
Т-150К+КУМА-10,8	10,8	II/4-II/3	
Рядовой посев	МТЗ-82+СЗ-3,6А		
	(МТЗ-82+СЗП-3,6А)	3,6	6-5
	ДТ-75М+СП-11А+3 СЗ-3,6А	10,8	5-4
	Т-150+СП-11А+3 СЗ-3,6А	10,8	2-1
Широкополосный посев	МТЗ-82+ССРС-5,8	5,8	4
	Т-70С+ССРС-5,8	5,8	6
Сплошной подпочвенно-разбросной посев	Т-70С+ССРС-5,8	6,0	6-5
	Т-150К+ССРС-5,8	6,0	III/3

Прикатывание посевов	МТЗ-82+СП-11+2х3ККШ-6А	11,4	6-5
	МТЗ-82+СП-11+2х3КВГ-1,4	9,3	3
	ДТ-75М+СП-16+3х3ККШ-6А	11,7	6-5
	ДТ-75М+СП-16+3х3КВГ-1,4	14,6	2-1
	Т-150+СГ-21+4х3ККШ-6А	21,0	3-2
	Т-150+СГ-21+4х3КВГ-1,4	19,8	6х
Довсходовое боронование посевов	МТЗ-82+СП-11А+1БЗСС-1,0	11,0	3
	ДТ-75М+СГ-21+2БЗСС-1,0	21,0	2-1
	Т-150+СГ-21+2БЗСС-1,0	21,0	6х-5х
Послевсходовое боронование посевов	МТЗ-82+СП-11А+1БЗСС-1,0	11,0	2
	ДТ-75М+СГ-21+2БЗСС-1,0	21,0	1
	Т-150+СГ-21+2БЗСС-1,0	21,0	4х
Междурядная культивация посевов	МТЗ-82+КРН-4,2	3,6	3
	ДТ-75М+КВН-10,8	10,8	2-1
	Т-150+КВН-10,8	10,8	6х
	ДТ-75М+3КРН-4,2+ приспособление для шеренгового агрегатирования	10,8	2-1
	Т-150+КУМА-10,8	10,8	6х

Вышеуказанный широкополосный способ посева осуществляют лаповыми сошниками, он сочетает в себе преимущества широкорядного и сплошного (более равномерное распределение семян по площади питания) посевов.

Для проведения широкорядного посева и междурядных культиваций посевов сои А. В. Сюмак совместно с инженером-конструктором Н. М. Присяжным разработали, изготовили и исследовали в хозяйственных условиях комбинированный универсальный многооперационный агрегат КУМА-10,8. При посеве сои агрегат работает в прицепном варианте, а при проведении междурядных культиваций – в полунавесном. КУМА-10,8 агрегируется с тракторами класса 3, имеющими вал отбора мощности с частотой вращения 1000 об/мин. К достоинствам агрегата следует отнести равномерное распределение семян сои по глубине на повышенных (до 15 км/ч) скоростях, его высокие маневренность и производительность. При проведении междурядных культива-

ций агрегат обеспечивает стопроцентное уничтожение сорняков, находящихся в зоне действия рабочих органов (Протокол № 02-08-99... , 1999).

Перед проведением посева сеялочные агрегаты должны быть отрегулированы соответственно норме высева и глубине заделки семян и минеральных удобрений. При составлении многосеялочных агрегатов необходимо установить требуемую длину маркеров. Во избежание подрезания культурных растений во время проведения междурядных обработок культиваторными лапами при посеве сои необходимо строго выдерживать прямолинейность рядков.

Чтобы создать лучшие условия для прорастания семян, добиться более дружных, равномерных всходов и выровнять поверхность поля, проводят прикатывание посевов сои. Данную операцию производят сразу же после завершения посевных работ. Прикатывают посевы, как правило, кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Используют также водоналивные гладкие катки ЗКВГ-1,4, но обязательно совместно с бороновальным агрегатом, чтобы избежать потерь почвенной влаги. На переувлажненных почвах посевы не прикатывают во избежание чрезмерного уплотнения и образования почвенной корки. Почва должна быть равномерно уплотнена на глубину 4...6 см, ее плотность должна составлять 1,15...1,30 г/см<sup>3</sup>.

На небольших полях со сложной конфигурацией в агрегате с катками применяют тракторы класса 1,4 и сцепки СП-11А. При использовании тракторов класса 3 в прикатывающих агрегатах применяют сцепки СП-16 и СГ-21. Скорость движения агрегата с катками ЗККШ-6А должна составлять 8...10 км/ч, с водоналивными гладкими катками ЗКВГ-1,4 – не более 6 км/ч. Прикатывание производят поперек или по диагонали к направлению посева. Для того, чтобы на поворотных полосах почва не переуплотнялась, агрегат следует поворачивать за пределами поля. Участки с переувлажнённой почвой необходимо объезжать. Поворотные полосы и клинья обрабатываются после прикатывания всего участка движением агрегата вокруг поля.

Довсходовое и послеvсходовое боронование посевов сои проводят агрегатами, состоящими из тракторов класса 3, сцепки СГ-21 и средних борон БЗСС-1,0. На небольших полях используют агрегаты, состоящие из трактора класса 1,4, сцепки СП-11А и бороны БЗСС-1,0. Для уменьшения повреждения сои зубья борон должны быть расположены скошенной стороной вперед по направлению движения агрегата. Во избежание изреживания посевов боронование необходимо проводить в дневное время, когда растения менее ломкие. Бороновальные агрегаты должны двигаться прямолинейно, поперек или по диагонали к направлению посева, а зубья борон – обрабатывать почву на одинаковую глубину. Довсходовое боронование следует проводить со скоростью, не превышающей 6 км/ч, а послеvсходовое – 5 км/ч.

Для проведения междурядных культиваций посевов сои необходимо использовать посевные агрегаты, строго соответствующие ширине междурядий или, в крайнем случае, кратные ей. На тех полях, где посев сои осуществляют односеялочными агрегатами, междурядные культивации следует проводить агрегатом, состоящим из трактора класса 1,4 и культиватора КРН-4,2 или КРН-5,6Б. Трехсеялочному агрегату соответствует агрегат, состоящий из трактора класса 3 и культиватора КБН-10,8. Вместо культиватора КБН-10,8 можно использовать три культиватора КРН-4,2 с приспособлением для шеренгового агрегатирования. Культиваторы укомплектовываются стрельчатыми и односторонними плоскорежущими (бритвенными) лапами, а также прополочными боронками КРН-38 или БПК-0,35. Для проведения первой междурядной обработки на культиваторы устанавливаются односторонние плоскорежущие лапы, второй – стрельчатые лапы и прополочные боронки.

В целях сохранения посевов сои от переувлажнения рекомендуется проводить локальное разуплотнение междурядий (третья культивация) рыхлительными стойками с лапками 70 мм на глубину 18...20 см, одновременно с игольчатыми каточками.

### ***Анализ машин, используемых для посева зерновых культур***

В зависимости от конкретных почвенно-климатических условий, состояния полей и технологий возделывания для посева зерновых культур используются различные типы сеялочных агрегатов (табл. 1.3). Так, при рядовом и узкорядном способах применяют одно-, трех- и четырехсеялочные агрегаты, скомплектованные из тракторов классов 1,4; 3; 5, сцепок СП-11А, СП-16А и сеялок СЗ-3,6А различных модификаций.

*Таблица 1.3*

#### **Состав и режимы работы агрегатов для посева зерновых культур**

Способ посева	Состав агрегата	Рабочая ширина захвата, м	Режим работы и рабочая передача
Узкорядный, рядовой	МТЗ-82+СЗ-3,6А	3,6	5-4
	ДТ-75М+СП-11А+3 СЗ-3,6А	10,8	5-4
	Т-150+СП-ПА+3 СЗ-3,6А	10,8	2-1
	К-701+СП-16А+4 СЗ-3,6А	14,4	II/2-III/1
Посев под покров зерновых культур	МТЗ-82+СЗТ-3,6А	3,6	5-4
	ДТ-75М+СП-11А+3 СЗТ-3,6А	10,8	5-4
	Т-150+СП-11А+3 СЗТ-3,6А	10,8	2-1
Посев по стерневым фонам	МТЗ-82+СЗС-2	2,1	5-4
	МТЗ-82+СТС-2	2,1	5-4
	Т-150К+СЗС-6	6,2	II/2-II/1
	Т-150К+СТС-6	6,2	II/2-III/1
	К-701+СЗС-12	12,3	II/2-III/1
	К-701+СТС-12	12,3	II/2-III/1
	Т-70С+СПЗ-3,6	3,6	7-6
	Т-150+СП-11А+3 СПЗ-3,6	10,8	3-2
Сплошной подпочвенно-разбросной	Т-70С+СПЗ-3,6	3,6	7-6
	Т-150+СП-11А+3 СПЗ-3,6	10,8	3-2

Для посева семян зерновых культур и их покрова применяют агрегаты, состоящие из трактора класса 1,4 и зернотукотравяной сеялки СЗТ-3,6А, а также из трактора класса 3, сцепки СП-11А и трех сеялок СЗТ-3,6А.

Посев семян зерновых культур по стерневым фонам проводится зернотуковыми стерневыми сеялками-культиваторами СЗС-2,

СЗС-6, СЗС-12 и зернотукотравяными стерневыми сеялками СТС-2, СТС-6, СТС-12, которые обеспечивают посев с максимальным сохранением стерни при влажности почвы не более 20 %. Данные сеялки осуществляют рядовой посев с шириной междурядий 22,8 см и агрегируются с тракторами классов 1,4; 3 и 5, что также негативно сказывается на плодородии почвы.

### **1.5. Состояние научных разработок по проблеме повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур**

В кандидатской диссертационной работе (Сюмак А. В., 1985) автор частично коснулся решения проблемы повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур в вопросах предпосевной подготовки почвы под сою, сохранения плодородия почвы при возделывании сои и зерновых.

Предлагаемая биотехнологическая система в конкретных условиях региона (на тяжелых сезонно-мерзлотных, периодически переувлажняемых почвах) позволяет основную роль в повышении продуктивности растений перенести со средств химизации на природные источники повышения продуктивности (Сюмак А. В., 2010, с. 3–7; 2011, с. 9–10; 2006, с. 14–19; 1982, с. 88–92).

Во-первых, максимальное усиление работы почвенной биоты автоматически приводит к повышению биологической активности почвы, ее оздоровлению. Усиление работы свободноживущих, ассоциативных и эндогенных микроорганизмов позволяет включить в биологический кругооборот дополнительное количество биогенных элементов из воздуха и недоступных для растений соединений.

Во-вторых, необходим уход от глубокой основной обработки почвы орудиями, образующими плужную подошву. Рыхление нижних слоев почвы происходит за счет работы корневых систем культурных и сорных растений. После отмирания корневых систем и перегнивания остатков корня, образовавшиеся поры служат надёжными проводниками влаги из подпахотных слоев к верхним,

повышают водопроницаемость почвы и способствуют более глубокому проникновению корневой системы последующей культуры (Сюмак А. В., 2008, с. 3–9; 2009, с. 57–61).

В-третьих, важно включать для выращивания в паровом поле сорные растения. Не борьба с сорняками, а, наоборот, получение как можно большей их массы в паровом поле в первый период вегетации. Необходимость включения сорных растений в технологический процесс обусловлена, на наш взгляд, тремя причинами:

1) получение без дополнительных затрат довольно большого количества (250...300 ц/га) органической массы с узким соотношением между углеродом и азотом, что особенно важно для начала активной микробиологической деятельности (внесение в почву легко разлагаемого углерода – по Г. Канту) (Кант Г., 1988);

2) накопление элементов питания не только из пахотного слоя, но и более глубоких подпахотных слоев, недоступных культурным растениям, благодаря мощной, обладающей большой поглощающей способностью корневой системе в биомассе сорняков;

3) сорные растения не подвергались селекции со стороны человека и сохранили природную способность выживания путем совместного проживания с микроорганизмами и вредителями. Причем отношения эти не просто протокооперация, когда отношения благоприятны для обоих партнеров, но и не обязательны. Такие взаимоотношения не позволили бы сорным растениям прекрасно себя чувствовать на бросовых полях, на которых, при всём старании агрономов, получить урожай культурных растений не удаётся. И только при мутуалистических взаимоотношениях сорных растений и микроорганизмов сорнякам благоприятно даже на таких землях.

Безусловно, создание благоприятных условий для роста растений очень важно. Но не менее важным для получения максимального урожая в конкретных условиях региона является и создание оптимальных условий для протекания главного биологического процесса – фотосинтеза (Синеговская В. Т., 2002). Причём, мы не рассматриваем вопросы формирования площади листьев и время их

активной работы, подразумевая, что, создавая устойчивые мутулистические отношения между растениями и микроорганизмами, автоматически решаем эту проблему. Вопрос стоит в обеспечении растений достаточным количеством углекислого газа при разных температурных режимах их роста, максимальном приходе к посевам фотосинтетически активной радиации (ФАР) и в бесперебойном снабжении растений влагой. Решение подобных проблем, которые по своему значению относятся к космическим факторам, возможно путём разработки биотехнологической системы, тесно связанной с местными почвенно-климатическими условиями (Технология, 2009).

Так, отмечаемое исследователями (Синягин М. И., 1975) снижение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) практически всеми культурами в периоды повышения дневных температур (выше + 30 °С) в летние месяцы легко устраняется повышением концентрации углекислого газа в приземном слое воздуха от 0,03 % до 1,00 %. Этого возможно достичь, если повысить биологическую активность почвы и перевести процессы разложения органики в почве с процесса гниения (анаэробный) на процесс брожения (аэробный). То есть, для решения этой проблемы необходимо проведение следующих мероприятий:

- регулярно один раз в три года вносить в верхний, наиболее аэрируемый слой почвы не менее 6...12 т на 1 га легко разлагаемого углерода в виде зеленой массы сорных растений;

- ежегодно оставлять в поле измельченную незерновую часть предшественника;

- ежегодно проводить обработку семян, а при необходимости и вегетирующих растений, существующими микробными препаратами для изменения характера микробиологических процессов в почве и восстановления синергических, а, возможно, и мутулистических отношений между культурными растениями и микроорганизмами (Ивженко С. А., 2002).

Заделку сорной растительности нужно проводить в наиболее благоприятное для работы микроорганизмов время. В условиях

Дальневосточного региона и Амурской области – это конец лета и начало осени. То есть, начиная с июля, когда устанавливается наиболее теплая и влажная погода, заделка в верхний слой почвы вызывает такую всплшку активности почвенной биоты, что органика перерабатывается за короткий промежуток времени (45...50 дней).

Заделка сидерата из сорняков должна осуществляться гарантированно путём отделения надземной части от корневой системы, не исключая высокорослые (до 2 метров и более) сорняки, измельчения их надземной части и перемешивания измельченных частиц с верхним слоем почвы за один проход агрегата.

При выполнении этих требований, по нашему предположению, активизируется микробиологическая активность почвы и поддерживается высокая концентрация углекислого газа в приземном слое воздуха (Заключительный отчёт 09.01.02.04, 2010).

Другой компонент активного фотосинтеза – приёмы полного использования приходящей ФАР – разработан нашим соотечественником, агрономом И. Е. Овсинским еще более века назад (Овсинский И. Е., 2004). Приём очень простой, позволяющий полнее использовать наиболее активную красную часть солнечного света в утреннее и вечернее время суток. Дополнительных затрат никаких. Необходимо лишь изменить способ посева: вместо сплошного применить чередующиеся через 30 см ряды «густо-пусто». Но, к сожалению, серийные сеялки не позволяют провести такой посев. Необходима разработка посевного сошника нового типа, который смог бы, при соблюдении всех других агротребований к посеву, обеспечить посев зерновых культур и сои ленточно-разбросным способом 30х30 см (Патенты: 2356211, 2009; 2356211, 2008; 72111, 2008; 2363126, 2009).

По данным физиологов, дневная солнечная радиация в значительной мере отражается посевом, а отражённая – усваивается почти полностью. Поэтому наличие соломистой мульчи на поверхности почвы в междурядьях между лентами также решает вопросы улучшения фотосинтетической деятельности посевов (Синеговская В. Т., 2005).

И, наконец, важнейшим не только для активного протекания процесса фотосинтеза, но и для самого существования растений является бесперебойное оптимальное обеспечение растений влагой в течение всего вегетационного периода.

В Амурской области отмечается крайне неравномерное распределение осадков. В целом за год их выпадает достаточно, но основная часть приходится на конец лета – начало осени, когда большинство растений завершают вегетацию. Эта влага просачивается в подпахотные слои и в дальнейшем служит запасом для урожая следующего года. Но в условиях бесснежной зимы и низких температур почва в регионе промерзает на глубину до 2,5...2,8 метров и более. Таким образом, осенние запасы влаги, даже если они и велики, в ранневесенний период недоступны для растений. П. И. Колосков в начале прошлого века отмечал, что в Амурской области засушливы 30 % весны и 32 % начала лета, и в этих условиях выращивание ранних яровых культур очень рискованно (Концепция, 2000). Это подтверждается в настоящее время частыми весенне-летними засухами, которые приводят к недобору урожая, а иногда и к гибели растений. Способ ухода от весенне-летних засух был разработан И. Е. Овсинским. Он применил агроприём, при котором начал работать физический закон росообразования. Для этого необходимо, чтобы на глубине заделки семян (4...5 см.) был создан уплотнённый слой почвы, а над ним в течение всего вегетационного периода сохранялся рыхлый слой почвы. В этом случае днем горячий воздух, соприкасаясь с прохладным уплотнённым слоем почвы на глубине 4...5 см, за счет высокой разницы температур образует росу. Ночью, наоборот, тёплый и влажный почвенный воздух, соприкасаясь с охлажденной поверхностью почвы, образует росу в самом верхнем слое. Он назвал свое открытие «воздушной ирригацией». Количество влаги, получаемое таким способом, сопоставимо с потребностями растений в ней в этот период и позволяло ему даже в условиях степей Бессарабии и Украины получать устойчивые урожаи не только зерна, но и сахарной свеклы, зерновых, бобовых и других культур.

В наше время предпосевная культивация с целью создания уплотнённого ложа для семян проводится не везде, а там, где его создали, оно разрушается при посеве дисковым сошником. Современная серийная конструкция зерновой сеялки не способна создать единый, по всей ширине захвата, уплотненный слой, а продельывает углубления для каждого рядка семян отдельно (Заключительный... ВНИИ сои, 2006).

Исходя из вышеизложенного, необходимо разработать конструкцию сошника, который отвечал бы высказанным требованиям, а также борону для ухода за посевами и поддержания верхнего слоя почвы в постоянно рыхлом состоянии. Глубина хода и угол атаки зуба у такой бороны должны регулироваться.

Кроме этого, необходимо обратить внимание на осеннюю подготовку почвы в условиях переувлажнения. Сроки посева ранних зерновых культур определяют важность осенней подготовки почвы (зяби), как отвальной, так и безотвальной. Если подготовку зяби приходится вести в условиях переувлажнения, то и плуг, и лапа культиватора образуют плужную подошву, которая в будущем году будет выполнять роль «глиняного замка», ограничивая запас влаги только верхним, обработанным слоем почвы, усиливая влияние весенне-летней засухи. Поэтому считаем необходимым разработать орудия для основной и предпосевной обработок почвы, не образующие плужную подошву, с активным приводом дисковых рабочих органов от вала отбора мощности трактора, позволяющие использовать более легкие энергетические средства класса 1,4...2,0 (Сюмак А. В., 2006, с. 14–19; 2003, с. 54–56; 2010, с. 50–56).

Немаловажным при предпосевной подготовке почвы под сою является и то, что её проводят, когда мерзлота за счет оттаивания уходит на глубину 50...80 см. При работе мощных энергонасыщенных агрегатов общей массой более 12...15 тонн за счет вибрации при работе двигателя, переменных нагрузок на крюке, колебания на неровностях почвы вызывают уплотнение влажного слоя подпочвы над мерзлотой и приводят к образованию более глубокого «глиняного замка», который также ограничивает доступ

к осенним запасам влаги. Отсюда следует необходимость работы на таких полях агрегатов, не вызывающих переуплотнения глубоких слоев почвы (Сюмак А. В., 2009, с. 22–31).

Таким образом, биотехнологическая система в растениеводстве в конкретных условиях региона должна включать в производственный процесс получения растениеводческой продукции природные источники повышения продуктивности растений вместо привычных средств интенсификации.

Сложившиеся представления в сельскохозяйственной науке о потребностях растений были направлены на улучшение условий их питания за счет улучшения агрофизических и агрохимических свойств почвы, а также защиты растений преимущественно химическими средствами (Степкин Н. М., 1990).

В этой связи предложено создавать для растений условия, в которых бы они формировались и существовали до начала активного окультуривания, то есть вернуть их в обычные рамки активного (мутулистического) сообщества с необходимыми для них микроорганизмами. Применяемые в последнее время химикаты защищают растения на всех этапах роста и развития не только от патогенов, но и от полезной, а часто и необходимой микрофлоры. Кроме этого, не на всех этапах роста и развития растений создаются оптимальные условия для главного процесса в растениеводстве – фотосинтеза. В частности в Амурской области 30 % лет весной и 32 % лет летом растения испытывают острый недостаток влаги, а в жаркие дневные часы (более +27 °С) даже теплолюбивые растения (кукуруза, соя) значительно снижают чистую продуктивность фотосинтеза из-за низкой концентрации углекислого газа в приземном слое воздуха, что можно устранить усилением микробиологической деятельности почвенной биоты (Концепция..., 2000).

Для специфических условий Амурской области – сезонно-мерзлотные, периодически переувлажнённые, тяжелые холодные почвы; резко континентальный характер климата с признаками муссонности определяют необходимость с периодичностью через два года проводить мероприятия, направленные на поддер-

жание высокой биологической активности почвы. Для этого в паровом поле необходимо готовить «питательный субстрат» – по сути сидерат из сорных растений. Кроме очевидных выгод – отсутствие затрат на подготовку почвы и посев – семена сорняков еще не потеряли мутулистических отношений с микроорганизмами, активнее потребляют труднодоступные элементы питания из почвы, имеют мощную корневую систему. Все эти преимущества, а также выбор времени и глубины заделки сидерата («питательного субстрата»), вызывают взрывное увеличение как количества, так и видового состава почвенной биоты. За короткий промежуток времени (45...55 суток) в пахотном слое накапливаются доступные элементы питания, но резко возрастает биологическая активность почвы, улучшается ее фитосанитарное состояние за счет развития полезной микрофлоры и подавления ею патогенов. Высокая биологическая активность почвы с медленным затуханием поддерживается еще два года за счет заделки в верхний слой почвы измельчённой соломы зерновых и сои. Затем рекомендуется снова активизировать биологическую активность почвы.

В ранее разработанных научно-методологических основах ресурсосбережения (Система земледелия ..., 2006; 2011) недостаточно полно отражены особенности агроландшафтной системы земледелия Амурской области и Дальневосточного региона, не отражены способы воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах, включающие использование сорной растительности в «зеленом пару», не увязаны в систему все составляющие проблемы ресурсосбережения, комплексная и биоэнергетическая оценка технологий. При обосновании и разработке биотехнологической системы и технических средств нового поколения требуется комплексный учет отдельных задач: по правильному подбору севооборота, качеству семян применительно к почвенно-климатическим условиям, способу посева; по оптимальным срокам проведения работ, обоснованию комплексов машин, обеспечивающих качественное высокопроизводительное выполнение работ,

режимов, оптимальных регулировок машинно-тракторных агрегатов; по снижению потерь и повреждений продукции, выбору наиболее рациональных форм организации производственных работ. Разрабатываемая ресурсосберегающая технология должна предусматривать применение современных методов контроля выполняемых работ, поддержание высокой надёжности выполнения технологического процесса работы машин при изменении условий (Основные рекомендации..., 1986; ОСТ 70.1.1-82; ОСТ 70.1.1-85).

Анализ биотехнологических систем земледелия и возделывания сельскохозяйственных культур показал, что применяемые в настоящее время системы данного назначения не обладают высокой эффективностью в связи с тем, что в качестве сидератов используются зерновые и зернобобовые культуры, а применяемые технические системы, включающие почвообрабатывающие, посевные и другие машины, агрегируемые тяжелыми колёсными тракторами, в силу многократных технологических проходов обладают техногенным воздействием на почву.

Одним из основных недостатков существующей биотехнологической системы повышения плодородия почвы, на основе указанных сидератов, является то, что при глубоком запахивании в системе субстрат – почва нет аэробных условий для развития и жизнедеятельности соответствующих популяций микроорганизмов. Кроме того, ситуация еще более усугубляется применением химических средств защиты растений.

В результате многократных проходов техники по полю почва уплотняется, уменьшается ее пористость и тем самым инактивируется жизнедеятельность аэробных микроорганизмов.

В силу таких технологических подходов к производству сои и зерновых культур процессы биотехнологической трансформации биомассы в питательные вещества почвы нарушаются.

Как показал анализ литературных источников, ранее проведенные исследования в данном направлении носили характер решения частных задач, без комплексного учета всей совокупности факторов, влияющих на получение почвенно-травяного субстра-

та, а также активацию водно-воздушно-температурного режима в определенные агротехнические сроки.

В конечном итоге, все это сказывается на эффективности процессов повышения плодородия почвы и урожайности сои и зерновых культур.

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

На основании анализа, а также совокупности имеющихся данных теоретического, эмпирического и практического характера по функционированию биотехнологических систем возделывания сои и зерновых, принято предположение о том, что повышение эффективности возделывания данных культур возможно и целесообразно в трёхпольном короткоротационном севообороте, включающем в качестве третьего элемента сидеральный пар на основе естественного травостоя (зелёного удобрения), путем установления закономерностей и зависимостей, связанных с созданием оптимальных условий для жизнедеятельности микрофлоры на измельченном почвенно-травяном субстрате принятого состава и свойств; с помощью специальных ресурсосберегающих технических средств, обеспечивающих качественное выполнение процессов по измельчению травостоя или стерни, и с одновременным рыхлением почвы и получением на их основе субстрата для биотрансформации исходного сырья в питательные вещества почвы, а также путём поддержания оптимальных значений водно-воздушного и температурного режимов в требуемые агротехнические сроки с обоснованием области оптимальных значений параметров предложенной технологии и технических средств.

## **ГЛАВА 2. МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ (ПОЧВЕННО- ТРАВЯНОЙ СУБСТРАТ→РАСТЕНИЕ→МАШИНА)**

### **2.1. Обоснование экономико-математической модели оценки технологии и технических средств биотехнологической системы (почвенно-травяной субстрат→растение→машина)**

При разработке биотехнологической системы (БТС), связанной с производством сои и зерновых культур, нами принята 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 трёхпольном севообороте представлена на рисунке 2.1.

Функционирование БТС в трёхпольном короткоротационном севообороте – *пар→зерновые культуры→соя* – пар с сидератом из естественного травостоя, включает два этапа, выполняемые в определённые агротехнические сроки.

Первый этап включает выращивание так называемой биологической массы исходного сырья ( $M_p$ ) для последующего получения субстрата определенной физической формы, состава и свойств. Он характеризуется получением необходимого и максимально возможного количества биологической массы ( $M_B$ ) естественного травостоя, при определенном воздействии совокупности факторов внешней среды во времени: климат –  $\Phi_1(t)$ , ландшафт –  $\Phi_2(t)$ , рельеф поля –  $\Phi_3(t)$  и т. д.

Второй этап связан с обеспечением в определенные агротехнические сроки оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов с целью формирования ими определенного набора питательных веществ  $qi(t_{TP})$  для использования его сель-

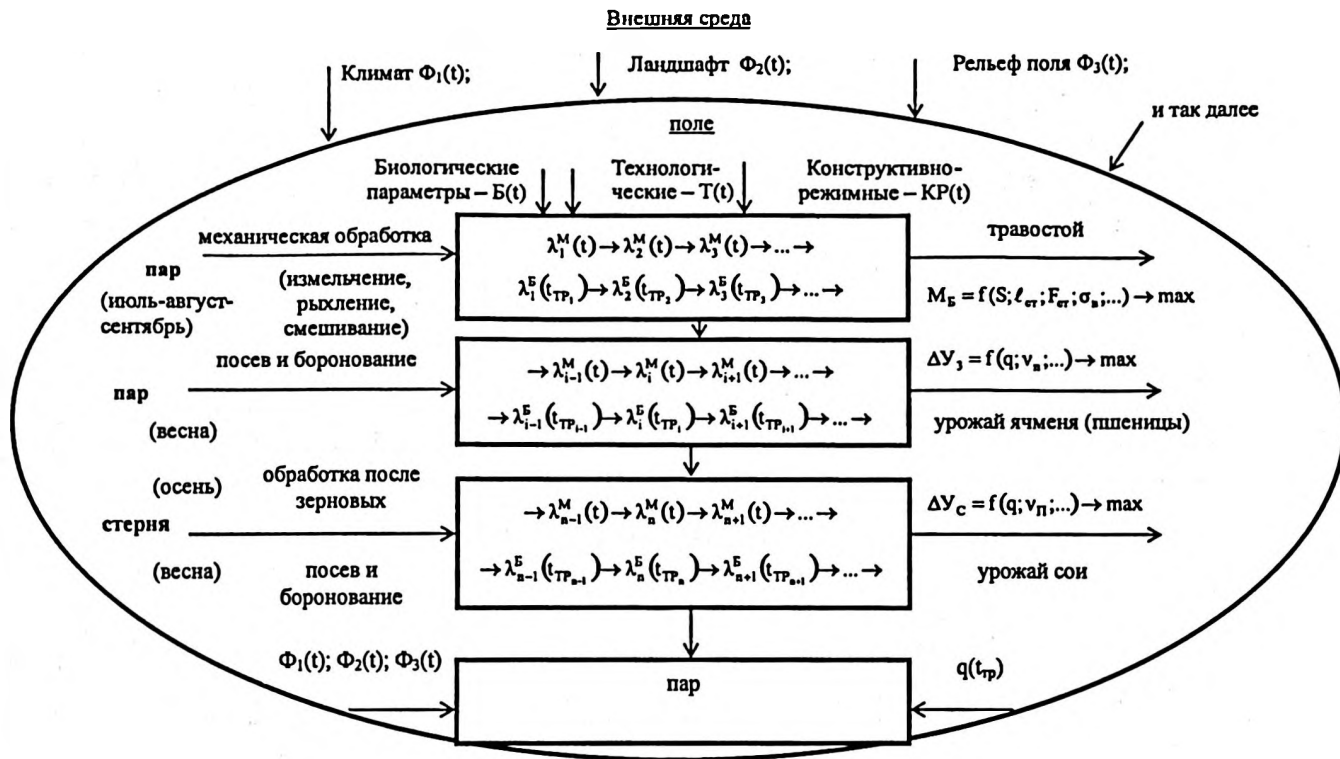
скохозяйственными культурами в процессе выращивания и получения урожая. Он характеризуется воздействием совокупности биологических –  $B(t)$ , технологических –  $T(t)$  и конструктивно-режимных –  $KP(t)$  факторов на подсистему «почвенно-травяной субстрат → культура → машина».



**Рис. 2.1. Формализованная модель получения продукции в трёхпольном севообороте**

Функционирование данной системы направлено на получение максимально возможного количества питательных веществ в почве за счет обеспечения оптимальных условий путем активации  $A(v_c; v_e; v_n)$  водно-воздушно-температурного режима (ВВТ) для биотрансформации органического вещества –  $q(t_{mp})$ .

Формализованная схема биотехнологической системы с учетом перехода её состояний в 3-польном севообороте (для одного поля) представлена на рисунке 2.2, где  $\lambda_i(t)$  – степень дезинтеграции органических веществ.



*Рис. 2.2. Формализованная схема перехода состояний биотехнологической системы в 3-польном севообороте (для одного поля)*

Согласно данной схеме, в начальный период происходит накопление питательных веществ в травостое с параметрами  $M_B, \ell_{cm}, \sigma, F_{cm}$ . Получение субстрата с размером частиц в нём  $\ell_v$  обусловлено степенью измельчения стеблей  $\lambda^M(t_{TP})$  в процессе их механической обработки, с одновременным рыхлением почвы и заделкой.

Управление качеством функционирования БТС сводится к раскрытию следующего целевого функционала:

$$q(t_{TP}) = f(M_B; W_{II}; t^o; \lambda^M; \lambda^B) \rightarrow \max, \quad (2.1)$$

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 и т. д.;

$\lambda^M$  и  $\lambda^B$  – степень механического и биологического измельчения биомассы травостоя, стерни и т. д.

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

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

$$\lambda^M(t) \cdot \lambda^B(t) = f(\ell_{cm}; W_{cm}; F_{cm}; \sigma_{раз}; \ell_v; \rho_{cm}; \rho_n \dots) \rightarrow \max, \quad (2.2)$$

где  $\ell_{cm}, \ell_v$  – длина стеблей и частиц;

$W_{cm}$  – влажность стеблей;

$F_{cm}$  – площадь поперечного сечения стеблей травостоя;

$\sigma_{раз}$  – напряжение разрушения стеблей;

$\rho_{cm}, \rho_n$  – плотность стеблей, стерни, корней и почвы.

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

При этом для запуска в «работу» биологической подсистемы в

рассматриваемой системе необходимо обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов

$$q(t_{TP}) = f(\lambda; t_{TP}; v_c; W_b; W_n; t^o; O_2; N) \rightarrow opt, \quad (2.3)$$

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

$$q_t = q_n \cdot e^{-c \cdot t_{TP}}, \quad (2.4)$$

где  $q_t, q_n$  – текущее и начальное значения биомассы;

$t_{TP}$  – продолжительность биотрансформации органических веществ в почве;

$c$  – эмпирический коэффициент, учитывающий интенсивность биотрансформации.

Для начального значения биомассы можно записать

$$q_n = \frac{\lambda \cdot V_v \cdot \rho_{cm}}{S_{TP} \cdot R_{cm}}, \quad (2.5)$$

где  $V_v$  – объем частицы биомассы;

$R_{cm}$  – коэффициент, учитывающий плотность травостоя;

$\rho_{cm}$  – плотность стебля;

$S_{TP}$  – площадь травостоя.

Для конечного значения биомассы

$$q_k = R_{TP} \cdot \left[ \frac{\left( \frac{\ell_{cm}}{\ell_v} \right) \cdot V_v \cdot \rho_{cm}}{S_{TP} \cdot R_{cm}} \right], \quad (2.6)$$

где  $R_{TP}$  – коэффициент биотрансформации.

Преобразование выражения (2.4) относительно параметра  $t_{TP}$  дает

$$t_{TP} = \frac{2,3}{\psi} \ln \left[ \frac{\lambda \cdot V_q \cdot \rho_q}{S_{TP}} \right] / R_{TP} \cdot \left( \frac{V_q \cdot \rho_q}{S_q} \right), \quad (2.7)$$

где  $\psi$  – 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,

$$t_{TP} = \psi_o \ln (\lambda_M \cdot \lambda_B), \quad (2.8)$$

где  $\psi_o = \frac{2,3}{\psi}$ ;

$\lambda^M$  – степень механического разрушения исходной биомассы;

$\lambda^B$  – 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 (Сюмак А. В., 2010, с. 11–13).

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

$$v_c = f(\rho_o; \rho_i; \ell_q; W_{TP}; v_a; h; \dots) \rightarrow 0 \quad (2.9)$$

где  $\rho_o, \rho_i$  – начальная и последующая плотность почвы;

$v_a$  – скорость движения агрегата;

$h$  – глубина рыхления.

Проведенный анализ внешних и внутренних связей параметров биотехнологической системы в их совокупности позволяет

представить экономико-математическую модель оценки её функционирования в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} ПЗ &= \sum_{i=1}^n (И_i + ЕК_i) \rightarrow \min \\ \Delta C &= \sum_{j=1}^2 \Delta Y_j \cdot S_j \cdot Ц_{рj} \rightarrow \max \end{aligned} \right\}, \quad (2.10)$$

где  $ПЗ$  – приведенные затраты по процессам возделывания сои и зерновых культур в 3-польном короткоротационном севообороте;

$И_i$  – эксплуатационные затраты по процессам возделывания;

$К_i$  – капитальные вложения по процессам возделывания;

$\Delta C$  – стоимость дополнительной продукции – сои и зерновых, полученной в результате реализации принятой технологии и разработанных технических решений;

$\Delta Y_j$  – приращение урожайности сои и зерновых в результате реализации новой технологии и технических средств;

$S_j$  – площадь, на которой возделываются соя и зерновые;

$Ц_{рj}$  – реализационная цена сои и зерновых.

Такая составляющая модели (2.10) как  $\Delta Y$ , на основании проведенного анализа, может быть представлена следующим образом

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^2 (a_i + b_i q) \rightarrow \max, \quad (2.11)$$

где  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты.

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

При этом, параметр  $t_{mp}$  зависит от таких показателей как  $\lambda(L_2)$ ,  $v_c(L_2)$  и  $v_\varepsilon(L_2)$ , где  $v_c$ ,  $v_\varepsilon$  – показатели качества,  $a$   $L_2$  – длина гона.

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

## 2.2. Теоретическое обоснование процесса получения почвенно-травяного субстрата принятого состава и заданных свойств

Данный процесс характеризуется необходимостью получения на основе биомассы стеблей естественного травостоя или стерни частиц 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 системы поле→роторный плуг представлена на рисунке 2.3.

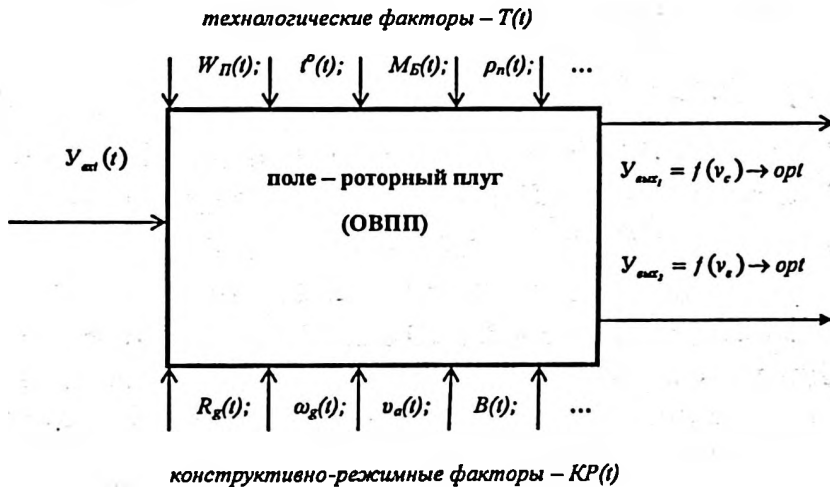


Рис. 2.3. Формализованная схема системы поле – роторный плуг

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

$$\left. \begin{aligned} Y_{вых_1} &= f(v_c) \rightarrow opt; \\ Y_{вых_2} &= f(v_c) \rightarrow opt \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

### 2.3. Обоснование параметров процесса разрушения биологической массы исходного стебельного сырья в системе почва→стебель и корень растения→машина

Для принятой схемы разрушения стеблей растений на поверхности почвы (стеблестой, стерня, сорняки в посевах) почву считаем упругим основанием. Тогда стебель можно рассматривать как балку, лежащую на упругом основании (Феодосьев В.И., 1967).

Данная балка характеризуется длиной  $\ell$ , жесткостью  $EI$  при изгибе. На балку действует сосредоточенная сила  $P$  на расстоянии  $a$  от левого конца ( $0 \leq a \leq \ell$ ) (рис. 2.4).

Дифференциальным уравнением прогибов поперечных сечений такой балки является известное выражение

$$y'''' + 4K^4 \cdot y = 0, \quad (2.13)$$

$$\text{где } 4K^4 = \frac{\chi}{EI} \quad (2.14)$$

Здесь  $\chi$  – коэффициент упругого основания для материала почвы.

Решение уравнения (2.13) имеет следующий вид

$$y = C_1 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{sh}kz + C_2 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{ch}kz + C_3 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{sh}kz + C_4 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{ch}kz, \quad (2.15)$$

где  $\operatorname{sh}kz$ ,  $\operatorname{ch}kz$  – гиперболический синус и косинус соответственно.

Для решения данного уравнения необходимо определить постоянные интегрирования  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  при произвольном значении  $a$  ( $0 \leq a \leq \ell$ ).

Дифференцируя последовательно выражение (2.15), находим

$$y' = (C_2 - C_3)k \cdot \sin kz \cdot \operatorname{sh}kz + (C_1 - C_4)k \cdot \sin kz \cdot \operatorname{ch}kz + (C_1 + C_4)k \cdot \cos kz \cdot \operatorname{sh}kz + (C_2 + C_3)k \cdot \cos kz \cdot \operatorname{ch}kz \quad (2.16)$$

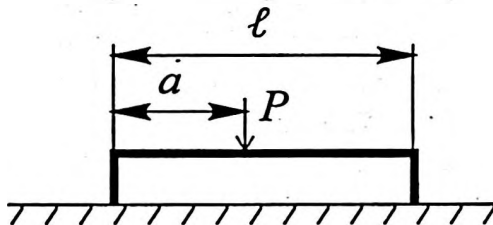
$$y'' = 2C_1 \cdot k^2 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{ch}kz + 2C_2 \cdot k^2 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{sh}kz - 2C_3 \cdot k^2 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{ch}kz - 2C_4 \cdot k^2 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{sh}kz \quad (2.17)$$

$$y''' = 2(C_2 - C_3)k^3 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{ch}kz - 2(C_1 - C_4)k^3 \cdot \cos kz \cdot \operatorname{sh}kz - 2(C_1 + C_4)k^3 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{ch}kz - 2(C_2 + C_3)k^3 \cdot \sin kz \cdot \operatorname{sh}kz \quad (2.18)$$

В качестве начала отсчета выберем  $Z$  с левой стороны балки в точке приложения силы  $P$  (рис. 2.4).

При  $a \neq \ell/2$  имеем два различных по длине участка, для которых необходимо определить четыре постоянных интегрирования  $C$ :

- для первого участка длины  $a$  –  $C_1^1; C_2^1; C_3^1; C_4^1$ ;
- для второго участка длины  $(\ell - a)$  –  $C_1^2; C_2^2; C_3^2; C_4^2$ .



**Рис. 2.4.** Схема к определению силы  $P$ , приложенной к стеблю травостоя (стерни)

При  $a \neq \ell/2$  имеем два различных по длине участка, для которых необходимо определить четыре постоянных интегрирования  $C$ :

- для первого участка длины  $a$  –  $C_1^1; C_2^1; C_3^1; C_4^1$ ;
- для второго участка длины  $(\ell - a)$  –  $C_1^2; C_2^2; C_3^2; C_4^2$ .

Для нахождения восьми неизвестных –  $C$  – составили систему восьми уравнений:

$$EI \cdot y'' /_{z=0} = M = 0; \quad (2.19)$$

$$EI \cdot y'' /_{z=\ell} = M = 0; \quad (2.20)$$

$$EI \cdot y''' /_{z > 0} = Q = 0; \quad (2.21)$$

$$EI \cdot y''' /_{z=\ell} = Q = 0; \quad (2.22)$$

$$y /_{z=a-0} = y /_{z=a+0}; \quad (2.23)$$

$$y' /_{z=a-0} = y' /_{z=a+0}; \quad (2.24)$$

$$EI \cdot y'' / z = \alpha - 0 = EI \cdot y'' / z = \alpha + 0 ; \quad (2.25)$$

$$EI \cdot y''' / z = \alpha - 0 = EI \cdot y''' / z = \alpha + 0^{-P} \quad (2.26)$$

Уравнения (2.19–2.22) показывают то, что поперечные силы  $Q$  и изгибающие моменты  $M$  в крайних левых и правых сечениях равны нулю, а уравнения (2.23–2.24) – то, что прогибы и углы поворотов соответствующих концу первого участка и началу второго равны между собой. Уравнение (2.25) показывает, что изгибающий момент на конце первого участка равен изгибающему моменту в начале второго участка.

Уравнение (2.26) показывает то, что поперечная сила  $Q$  в сечении, соответствующем началу второго участка, отличается от поперечной силы на конце первого участка на величину сосредоточенной силы  $P$ .

На основании уравнений (2.15–2.18), с учетом выражений (2.19–2.26), получили систему восьми уравнений для определения восьми постоянных интегрирования:  $C_1^1; C_2^1; C_3^1; C_4^1; C_5^2; C_6^2; C_7^2; C_8^2$ .

$$C_1^1 = 0 \quad (2.27)$$

$$C_1^2 \cdot \cos kl \cdot ch \cdot al + C_2^2 \cdot \cos kl \cdot sh \cdot kl - \\ - C_3^2 \sin kl \cdot ch \cdot kl - C_4^2 \sin kl \cdot ch \cdot kl = 0 \quad (2.28)$$

$$C_1^2 (\cos kl \cdot sh \cdot kl - \sin kl \cdot ch \cdot kl) + C_2^2 (\cos kl \cdot ch \cdot kl - \sin kl \cdot sh \cdot kl) - \\ - C_3^2 (\sin kl \cdot ch \cdot kl - \sin kl \cdot ch \cdot kl) - C_4^2 (\cos kl \cdot ch \cdot kl + \sin kl \cdot sh \cdot kl) - \\ - C_4^2 (\sin kl \cdot ch \cdot kl - \cos kl \cdot ch \cdot kl) = 0 \quad (2.29)$$

$$C_1^1 \cdot \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a + C_1^1 \cdot \cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + C_1^1 \cdot \cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \\ - C_2^2 \cdot \sin sh \cdot k \cdot a - C_2^2 \cdot \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - C_3^2 \cdot \cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \\ - C_4^2 \cdot \cos ch \cdot k \cdot a = 0 \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned}
& C_2^1(\sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + \cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) + C_3^1(\cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \\
& - \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) + C_4^1(\cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) - \\
& - C_1^2(\sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + \cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) - C_2^1(\sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + (2.32) \\
& + \cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) - C_3^2(\cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) - \\
& - C_4^2(\cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_2^1 \cdot \cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - C_3^1 \cdot \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - C_4^1 \cdot \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \\
& - C_1^2 \cdot \cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - C_2^2 \cdot \cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + C_3^2 \cdot \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \\
& - C_4^2 \cdot \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a = 0 \quad (2.33)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_2^1(\cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) - C_3^1(\cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \\
& - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) - C_4^1(\cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) - \\
& - C_1^2(\cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) - C_2^2 \cos(\sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \\
& - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) + C_3^2(\cos k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a - \sin k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a) + \\
& + C_4^2(\cos k \cdot a \cdot sh \cdot k \cdot a + \sin k \cdot a \cdot ch \cdot k \cdot a) = P/2K^3 \cdot EI \quad (2.34)
\end{aligned}$$

Данная система уравнений решается численными методами, путем определения в начале постоянных  $C$ , а затем – перемещений поперечных сечений и силовых факторов  $Q$  и  $M$ .

Определим постоянные  $C$  при  $a$ , равной половине стебля. При этом начало отчета  $Z$  примем в точке приложения силы  $P$ . При  $Z=0$  по условию симметрии  $Y'=0$ , поперечная сила справа от среднего сечения равна  $P/2$  и, следовательно,

$$EI \cdot y'' /_{z=0} = -P/2 \quad (2.35)$$

При  $Z = \ell$   $M = EI \cdot y''' = 0$  и  $Q = EL \cdot y''' = 0$ . В этом случае получаем четыре уравнения для определения постоянных  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$ ;  $C_4$ :

$$C_2 + C_3 = 0 \quad (2.36)$$

$$C_2 - C_3 = -P/4EI \cdot k^3 \quad (2.37)$$

$$C_1 \cdot \cos kl \cdot sh \cdot kl + C_2 \cdot \cos kl \cdot sh \cdot kl - C_3 \sin kl \cdot ch \cdot kl - C_4 \sin kl \cdot sh \cdot kl = 0 \quad (2.38)$$

$$C_1 (\cos kl \cdot sh \cdot kl - \sin kl \cdot ch \cdot kl) + C_2 (\cos kl \cdot ch \cdot kl - \sin kl \cdot sh \cdot kl) + C_3 (-\cos kl \cdot ch \cdot kl - \sin kl \cdot sh \cdot kl) + C_4 (-\cos kl \cdot sh \cdot kl - \sin kl \cdot ch \cdot kl) = 0 \quad (2.39)$$

Согласно данной системе уравнений получаем:

$$C_1 = \left( \frac{P}{8EI \cdot k^3} \right) \cdot \frac{sh^2 \cdot k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot \ell}{sh \cdot k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cdot \cos k \cdot \ell}; \quad (2.40)$$

$$C_2 = -\frac{P}{8EI \cdot k^3};$$

$$C_3 = \frac{P}{8EI \cdot k^3};$$

$$C_4 = \left( \frac{P}{8EI \cdot k^3} \right) \cdot \frac{sh^2 \cdot k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot \ell}{\sin \cdot k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cdot \cos k \cdot \ell} \quad (2.41)$$

Через вторую производную  $U$  определим изгибающий момент

$$M_{изз} = EI \cdot y''$$

$$M_{изз} = \frac{P}{4k} \left[ \begin{array}{l} \frac{\sin^2 k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cdot \cos k \cdot \ell} \cdot \cos k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z - \\ - \cos k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z - \cos k \cdot z \cdot sh \cdot k \cdot z - \sin k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z + \\ + \frac{ch^2 \cdot k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cdot \cos k \cdot \ell} \cdot \sin k \cdot z \cdot sh \cdot kz \end{array} \right] \quad (2.42)$$

При  $z=0$  момент изгибающий имеет максимальное значение. С увеличением длины стебля  $\ell$  изгибающий момент увеличивается и при  $\ell \rightarrow \infty$

$$M_{изз}^{\max} = \frac{P}{4k} \quad (2.43)$$

В равенстве (2.43) значение  $k$ , согласно (2.13), равно

$$k = \left( \frac{\lambda}{4EI} \right)^{1/2} \quad (2.44)$$

Максимальное напряжение в стебле, стерне, корне и т. д.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\max}}, \quad (2.45)$$

где  $W_{\max}$  — момент сопротивления изгибу поперечного сечения стебля и т. д. (балки).

Условие разрушения балки (стебля)

$$M_{\max} / W_{\max} \geq \sigma_s, \quad (2.46)$$

где  $\sigma_s$  — предел прочности материала стебля и т. д. при растяжении.

Разрушение стебля произойдет при изгибающем моменте

$$M_{\max} \geq W_{\max} \cdot \sigma_s \quad (2.47)$$

$$\text{или } \frac{P}{4k} \geq W_{\max} \cdot \sigma_s \quad (2.48)$$

Искомая сила  $P$  определяется как

$$P \geq W_{\max} \cdot \sigma_s \quad (2.49)$$

$$\text{или } P = 4k \cdot W_{\max} \cdot \sigma_s \quad (2.50)$$

1. Для потенциальной энергии разрушения стебля и т. д. имеет место равенство

$$\Pi = 2 \int_0^l \frac{M_{\max}^2 \cdot d \cdot z}{9EI_x} \quad (2.51)$$

Для определения значения  $\Pi$  используем выражение (2.42) с учетом выражения (2.49), и тогда

$$\Pi = \frac{W_{\max} \cdot \sigma_s}{E \cdot I_x} \int_0^l \left[ \frac{\sin^2 k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot \ell}{\sin kl \cdot ch \cdot kl + \sin kl \cdot \cos kl} \cdot \cos kz \cdot ch \cdot kz - \cos kz \cdot sh \cdot kz - \sin kz \cdot ch \cdot kz + \frac{\cos^2 k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot \ell}{\sin kl \cdot ch \cdot kl + \sin kl \cdot \cos kl} \cdot \sin kz \cdot sh \cdot kz \right] dz \quad (2.52)$$

В процессе биотрансформации частиц стеблей, корней, стерни и т. д. в почве значение показателя  $\sigma_{si}$  изменяется по убывающему закону

$$\left. \begin{aligned} & \text{- для травостоя и корней } \sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}}^T \cdot e^{-\alpha T \rho l} \\ & \text{- для стерни и корней } \sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}}^C \cdot e^{-\alpha T \rho l} \\ & \text{- для сорняков и корней } \sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}}^{\text{СК}} \cdot e^{-\alpha T \rho l} \end{aligned} \right\}, \quad (2.53)$$

где  $t_{\text{ТП}} = \psi_0 \cdot \ln(\lambda^M \cdot \lambda^S)$ .

Тогда энергия, необходимая на разрушение стебля, с учетом процесса биотрансформации, определится как

$$\Pi = \frac{W_{\text{изг}} \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot e^{-\alpha \psi_0 \ln(\lambda^M \cdot \lambda^S)}}{E \cdot I_x} \int_0^l \left[ \begin{aligned} & \frac{\sin^2 k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot \text{ch} \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \text{cosk} \cdot \ell} \cdot \cos k \cdot z \cdot \text{ch} \cdot k \cdot z - \cos k \cdot z \cdot \text{sh} \cdot k \cdot z - \\ & - \sin k \cdot z \cdot \text{ch} \cdot k \cdot z + \\ & + \frac{\cos^2 k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot \text{ch} \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \text{cosk} \cdot \ell} \cdot \sin k \cdot z \cdot \text{sh} \cdot k \cdot z \end{aligned} \right] dz \quad (2.54)$$

Интеграл в правой части данного выражения определяется приближенно по теореме Лагранжа.

Для правой части выражения (2.54) справедливо следующее равенство

$$\frac{W_{\text{изг}}}{I_x} = \frac{\ell}{R_{\text{см}}}, \quad (2.55)$$

где  $R_{\text{см}}$  – радиус поперечного сечения стебля.

При этом, энергия, затрачиваемая на единичное разрушение единичного стебля равна

$$A_{\text{разр}} \cong \Pi \quad (2.56)$$

Исследованиями профессора С. В. Мельникова (Мельников С.В., 1978) установлено, что

$$A_{\text{разр}} = C(\lambda^M - 1), \quad (2.57)$$

где  $C$  – коэффициент, учитывающий влияние управляемых и неуправляемых факторов на процесс разрушения, кДж/кг;

$\lambda^M$  – степень разрушения материала.

С учетом данного условия можно записать

$$C(\lambda^M - 1) \cdot Q \cdot t = PK_{cm}, \quad (2.58)$$

где  $Q$  – производительность агрегата по разрушению стеблей;  
 $t$  – время работы агрегата;

$K_{cm}$  – количество разрушаемых стеблей.

Решая равенство (2.58) относительно  $Q$ , получаем трансцендентное уравнение следующего вида

$$Q = \frac{\Pi \cdot K_{cm}}{c \cdot \lambda^M \cdot t} + \frac{Q}{\lambda^M}, \quad (2.59)$$

Представим  $Q$  как

$$Q = \frac{M_B \cdot B \cdot v_a}{S}, \quad (2.60)$$

где  $M_B$  – биологическая масса травостоя, кг;

$B$  – ширина агрегата;

$v_a$  – скорость движения агрегата;

$S$  – обрабатываемая агрегатом площадь.

Подставим полученное значение (2.60) в уравнение (2.59). Решив полученное равенство относительно  $v_a$ , получим

$$v_a = \frac{\Pi \cdot K_{cm} \cdot S}{C \cdot \lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B \cdot t} + \frac{Q \cdot S}{\lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B} \quad (2.61)$$

Анализ данного выражения показывает, что выбор оптимальной скорости движения агрегата, предназначенного для разрушения стеблей травостоя, стерни, корней сорняков и т. д. – роторного плуга, бороны, культиватора-сеялки, зависит от урожайности биологической массы травостоя, ширины захвата агрегата, требуемой степени разрушения стеблей, корней и т. д.

В выражении (2.61), 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.

## 2.4. Обоснование критериев оценки процесса возделывания сои и зерновых культур на основе системы биологического земледелия

Процесс биотехнологического улучшения плодородия почвы характеризуется, прежде всего, активацией водного, воздушного и температурного (ВВТ) режимов, поддерживающих жизнедеятельность живых организмов – аэробных микроорганизмов и растения, на которое они, в конечном итоге, «работают».

На рисунке 2.5 приведена формализованная модель получения продукции в биотехнологической системе почва→субстрат→зерно→растение→продукция→машина.

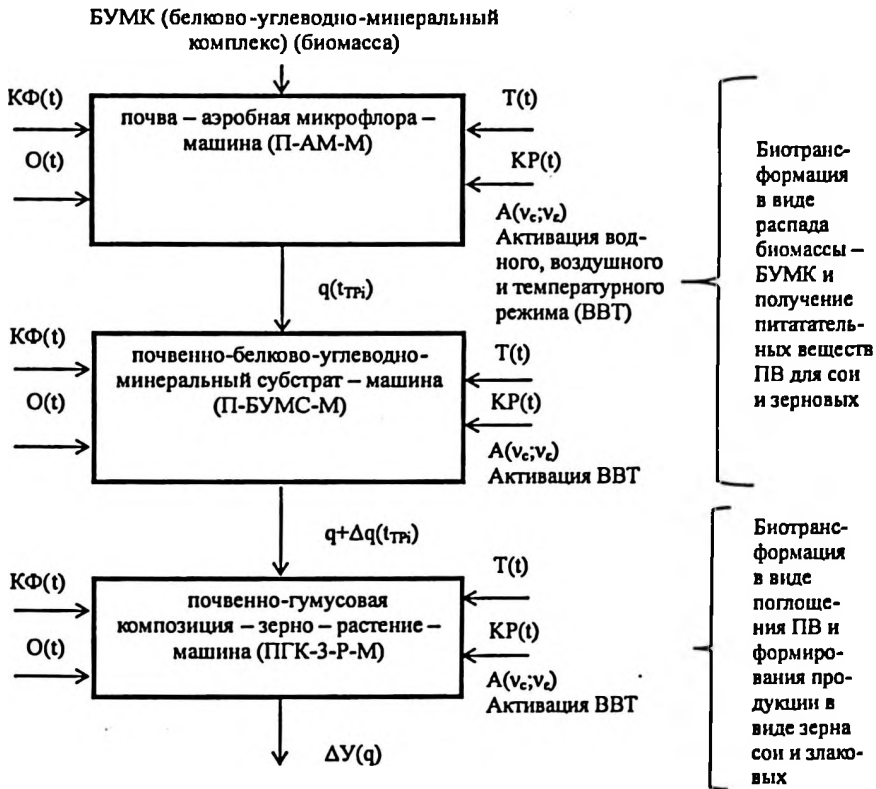
При разработке каждой из технических подсистем (рис. 2.5) должны учитываться факторы, оказывающие влияние на интенсивность ВВТ режима. Такими факторами являются технологические  $T(t)$ , к которым необходимо отнести влажность и температуру почвы, её плотность и т. д., а также конструктивно-режимные параметры применяемых технических средств –  $KP(t)$ . 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.

Это дает возможность определять вероятностные характеристики стационарной случайной функции распределения измельченного белково-углеводно-минерального комплекса (БУМК) в почве –  $M_B$  по длине гона  $L_r$  по одной её реализации как среднее значение

$$M_{cp} = \frac{1}{L_r} \int_0^{L_r} M_B(\ell) \cdot d \cdot \ell \quad (2.62)$$



**Рис. 2.5. Формализованная модель получения продукции в системе биологического земледелия**  
*почвенно-травяной субстрат → зерно → растение → продукция → машина*

Текущие значения распределения БУМК в почве характеризуются отклонением от математического ожидания

$$M_{cp} = M_m (1 \pm \nu), \quad (2.63)$$

где  $\nu$  – относительное отклонение  $M_{cp}$  от  $M_m$ .

Вероятность попадания величины  $M_{cp}$  в интервал  $M_m \pm 2\sigma$  равна (Вентцель Е. С., 1964)

$$P\{M_m - 2\sigma < \Delta < M_m + 2\sigma\} = P(\beta), \quad (2.64)$$

где  $\pm \Delta$  – абсолютное отклонение;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Для оценки данной вероятности представим случайный процесс как  $v(t)$  с заданной совместной плотностью вероятности  $P(v; v; t)$ .

Из области возможных значений  $v(t)$  определим число возможных положительных выходов за пределы принятого интервала.

Математическое ожидание числа положительных пересечений уровня  $v^+$  обозначим через  $v^+(v^+; t)$ , а отрицательных –  $v^-(v^+; t)$ . Число пересечений  $N$  во времени обладает свойством аддитивности, поэтому

$$N^+(v^+; 0 \leq \tau \leq t) = \int_0^t v^+(v^+; \tau) dt, \quad (2.65)$$

Аналогично для числа отрицательных пересечений

$$N^-(v^+; 0 \leq \tau \leq t) = \int_0^t v^-(v^+; \tau) dt, \quad (2.66)$$

Для стационарного процесса

$$v^+(v^+) = v^-(v^+) \quad (2.67)$$

Рассмотрим достаточно малый промежуток времени  $\Delta t$ . Примем, что  $P_1(v^+; \Delta t)$  – вероятность того, что за отрезок  $\Delta t$  произойдет одно положительное пересечение уровня  $v^+$ , через  $P_2(v^+; \Delta t)$  – вероятность того, что произойдет два положительных пересечения и т. д.

Математическое ожидание числа положительных пересечений за  $\Delta t$  определится как

$$N^+(v^+; t \leq \tau \leq t + \Delta t) = \sum_{R=1}^{\infty} R P_R(v^+; \Delta t) \quad (2.68)$$

При достаточно малых  $\Delta t$  имеем

$$\left. \begin{aligned} P_1(v^+; \Delta t) &= H(\Delta t) \\ P_R(v^+; \Delta t) &= h(\Delta t); R \geq 2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.69)$$

где  $H(\Delta t)$  – величина порядка  $\Delta t$ ;

$h(\Delta t)$  – величина более высокого порядка малости.

Тогда математическое ожидание числа положительных пересечений за единицу времени равно предельному соотношению

$$v^+(v^+; \Delta t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N^+(v^+; t \leq \tau \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.70)$$

С учетом равенств (2.68) и (2.69)

$$v^+(v^+; \Delta t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(v^+; \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.71)$$

Таким образом, необходимо найти вероятность случайного события в интервале  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$

$$P_1(v^+; \Delta t) = P \left[ \begin{array}{l} v^+ - \Delta v_1 \leq v(\tau) \leq v^+ + \Delta v_2 \\ \dot{v} > 0 \\ t \leq \tau \leq t + \Delta t \end{array} \right] \quad (2.72)$$

В то же время

$$P_1(v^+; \Delta t) = \int_0^{\infty} dv \int_{v^+ - \Delta v_1}^{v^+ + \Delta v_2} P(v; \dot{v}; t) dv + h(\Delta t) \quad (2.73)$$

Исходя из того, что

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 = \Delta t$$

$$\text{и } \Delta v_1 + \Delta v_2 = \dot{v}(t) \Delta t + h(\Delta t)$$

получаем

$$P_1(v^+; \Delta t) = \Delta t \int_0^{\infty} P(v^+; \dot{v}; t) \dot{v} d\dot{v} + h(\Delta t) \quad (2.74)$$

С учетом выражения (2.71) и предельного перехода имеем

$$v^+(v^+; \Delta t) = \int_0^{\infty} P(v^+; \dot{v}; t) \dot{v} d\dot{v} \quad (2.75)$$

Математическое ожидание числа положительных пересечений за время  $0 \leq \tau \leq t$  с учетом выражения (2.68)

$$N^+(v^+; 0 \leq \tau \leq t) = \int_0^t d\tau \int_0^{\infty} P(v^+; \dot{v}; t) \dot{v} d\dot{v} \quad (2.76)$$

Для стационарного случайного процесса

$$N^+(v^+; 0 \leq \tau \leq t) = v^+(v^+) \cdot t \quad (2.77)$$

Для числа отрицательных пересечений

$$v^-(v^+; t) = \int_{-\infty}^0 P(v^+; \dot{v}; t) |\dot{v}| d\dot{v} \quad (2.78)$$

Как известно (Вентцель Е. С., 1964), совместная плотность вероятности для стационарного случайного процесса и его первой производной обладает свойством

$$P(v; \dot{v}) = P(v; -\dot{v})$$

Отсюда с учетом выражений (2.75) и (2.78) получаем

$$v^+(v^+) = v^-(v^+) \quad (2.79)$$

Таким образом, можно записать, что

$$\Delta \leq 2\sigma \quad (2.80)$$

При этом относительное отклонение  $v_p$  равно

$$v = \frac{\Delta}{M_{cp}} \quad (2.81)$$

Дисперсия случайной величины —  $M_{cp}$

$$D_{M_m} = \sigma^2 = \frac{v^2 \cdot M_B}{4} \quad (2.82)$$

Дисперсия  $D_{M_m}$  может быть определена по выражению

$$D_{M_m} = m \cdot \left\{ \left[ \frac{1}{L_r} \int_0^{L_r} M_B(\ell) d\ell - M_{cp} \right]^2 \right\} = \frac{1}{L_r^2} \int_0^{L_r} \int_0^{L_r} K_M(\ell - \ell') d\ell \cdot d\ell', \quad (2.83)$$

где  $m$  — математическое ожидание случайной величины;

$K_M(\ell - \ell')$  — автокорреляционная функция случайной функции  $M_B(\ell)$  в интервале  $\ell - \ell'$ .

$$\text{При } DM = 0, v = 0 \text{ и } M_{cp} = M_m \quad (2.84)$$

Согласно равенствам (2.82) и (2.83) имеем

$$\frac{v^2 \cdot M_m^2}{4} = \frac{2D_M \cdot \Delta \ell_0}{L_r} + K_M(\Delta \ell) \quad (2.85)$$

Корреляционную функцию  $K_M(\Delta \ell)$  аппроксимируем выражением следующего вида

$$K_M(\Delta\ell) = D_M \cdot e^{-\alpha\Delta\ell_0} \cdot \cos \beta\Delta\ell_0,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры корреляционной функции, учитывающие соответственно характер её убывания и колебания.

Преобразуя выражение (2.85) относительно  $v$  с учетом того, что получаем:

- для оценки процесса измельчения стеблей и рыхления почвы с одновременной их заделкой на паровом поле:

$$\pm v_C = \frac{2}{M_m} \left( \frac{2D_M \cdot \Delta\ell_0 + D_M \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha\Delta\ell_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta\ell_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_C] \quad (2.86)$$

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

$$\pm v_\varepsilon = \frac{2}{\varepsilon} \left( \frac{2D_\varepsilon \cdot \Delta\ell_0 + D_\varepsilon \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha\Delta\ell_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta\ell_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_p] \quad (2.87)$$

- для оценки процесса посева сои и зерновых культур:

$$\pm v_\Pi = \frac{2}{n} \left( \frac{2D_n \cdot \Delta\ell_0 + D_n \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha\Delta\ell_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta\ell_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v] \quad (2.88)$$

где  $[v_C]$ ;  $[v_p]$ ;  $[v_\Pi]$  – допустимые значения показателя неравномерности соответствующих процессов.

Полученные зависимости характеризуют качество выполнения процессов, так называемой заделки сидерата, рыхления почвы во время боронования и культивации, а также посева сои и зерновых с сошником в виде стрельчатой лапы.

## 2.5. Обоснование параметров роторного орудия с активным рабочим органом

С целью обоснования путей повышения эффективности обработки парового поля с сидератом из травостоя, а также при работе по стерне, разработана формализованная модель взаимодей-

ствия элементов системы почва→естественный травостой (стерня)→агрегат с роторным плугом (рис. 2.6).

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

Конструктивно-технологическая схема роторного орудия с активными рабочими органами представлена на рисунке 2.7.



Рис. 2.6. Формализованная модель взаимодействия элементов системы почва→естественный травостой (стерня)→агрегат с роторным плугом

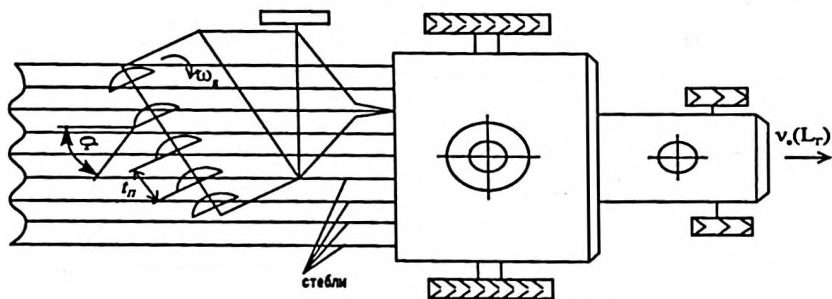


Рис. 2.7. Конструктивно-технологическая схема агрегата с роторным плугом

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

$$\frac{\sum V_{cm} \cdot \rho_{cm}}{S_{травостая}} = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_n) \cdot \frac{\sum V_{ч} \cdot \rho_{ч}}{S_{травостая}}, \quad (2.89)$$

где  $\lambda_1 = \frac{\ell_{cm}}{\ell_{ч}} \rightarrow opt$  (2.90)

Для процесса рыхления почвы

$$\rho_1 = E \cdot \rho_0 \rightarrow opt, \quad (2.91)$$

где  $E$  – степень рыхления почвы –  $E = \frac{\rho_0}{\rho_1}$ .

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

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

$$v_g = f(L; E; \lambda_1; v_a; \dots; \Delta B; R_g; \Delta \alpha; Z_g; t_{\Pi}; \dots) \rightarrow 0, \quad (2.92)$$

где  $v_a$  – скорость движения агрегата;

$\Delta B$  – отклонения от заданной ширины захвата агрегата;

$\Delta \alpha$  – отклонение от заданного угла атаки;

$R_g$  – радиус диска плуга;

$\omega_g$  – угловая скорость вращения диска плуга;

$Z_g$  – число дисков на роторе плуга;

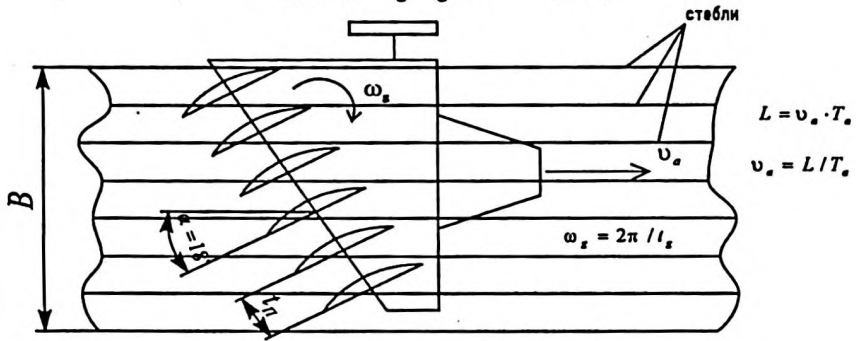
$t_{\Pi}$  – шаг установки дисков.

Возможные схемы реализации процесса дисковыми и Г-образными рабочими органами (измельчающе-рыхлящими), представлены на рисунке 2.8 а и б.

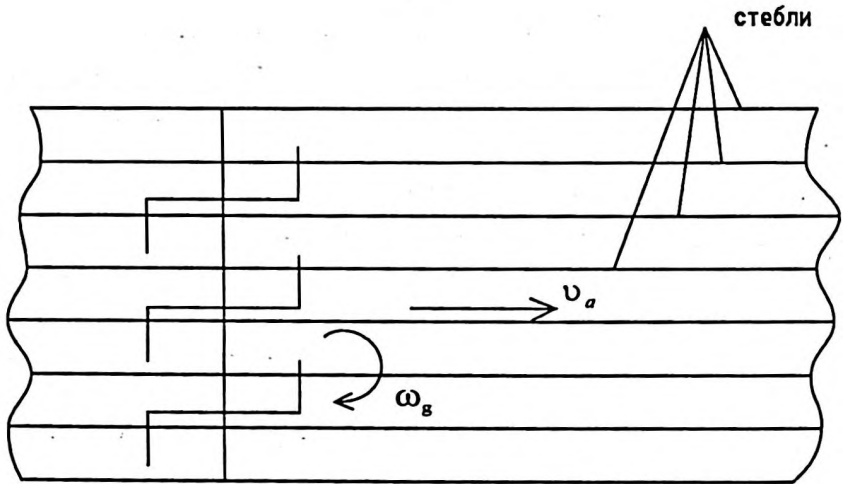
На основе выражения (2.89) можно записать

- для первой обработки:

$$\lambda_1 = \frac{V_{cm}^0 \cdot \rho_{cm} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч1} \cdot \rho_{ч1} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (2.93)$$



а)



$\alpha = 0^\circ$

б)

Рис. 2.8. Схемы к обоснованию параметров процесса получения почвенно-травяного субстрата

- для второй обработки:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1 \cdot V_{ч1} \cdot \rho_{ч1} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч2} \cdot \rho_{ч2} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a} \quad (2.94)$$

- для третьей обработки:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot V_{ч2} \cdot \rho_{ч3} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч3} \cdot \rho_{ч3} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a} \quad (2.95)$$

- для n-й обработки сидерата:

$$\lambda_n = \frac{(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}) \cdot V_{чn-1} \cdot \rho_{чn-1} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{чn} \cdot \rho_{чn} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a} \quad (2.96)$$

где  $T_a$  – время работы агрегата.

С учетом выражений (2.8) и (2.89) можно записать

$$t_{тп1} = \psi_0 \ell n \left[ \frac{1}{(R_{мп} \cdot \lambda_1)} \right], t_{тп2} = \psi_0 \ell n \left[ \frac{1}{(R_{мп} \cdot \lambda_2)} \right].$$

С другой стороны, такие параметры плужного агрегата, как  $v_a$  и  $\omega_g$  в совокупности с зубьями на рабочем органе (диске) определяют размер получаемых частиц травостоя. При этом угол атаки  $\alpha$  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 рассматривается как процесс разрушения балки на упругом основании.

При этом тот факт, что такой фактор, как  $\omega_g / v_a$  определяет степень измельчения стеблей, является неоспоримым.

Следовательно,

$$\lambda_K = \frac{L_g}{Z_3}, \quad (2.97)$$

где  $L_g$  – перемещение агрегата за один оборот диска плуга;

$Z_3$  – число зубьев-ножей на одном диске.

Выражение (2.97) можно представить как

$$\lambda_K = \frac{2\pi \cdot R_g \cdot v_a}{\omega_g \cdot R_g \cdot Z_3} = \frac{2\pi \cdot v_a}{\omega_g \cdot Z_3} \leq [\ell_v], \quad (2.98)$$

где  $[\ell_v]$  – требуемая длина частиц.

Приравнивая в выражениях (2.93–2.96) и (2.98) правые части и решая полученное равенство относительно параметра  $v_a$ , получим

$$v_a = \frac{1,8(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}) \cdot V_{\text{чп-1}} \cdot \rho_{\text{чп}} \cdot B \cdot \omega_g \cdot Z_3}{\pi \cdot V_{\text{чп}} \cdot \rho_{\text{чп}} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha} \quad (2.99)$$

Анализ выражения (2.99) 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 –  $\ell_v(t)$  и  $v_c(L_r)$ .

Проведенный анализ показывает, что, в зависимости от угла атаки активных рабочих органов роторного плуга ( $\alpha$ ) и глубины обработки почвы, силы, возникающие от взаимодействия с почвой, будут изменяться, оказывая влияние на параметр  $B$ . Это, в свою очередь, оказывает влияние не только на затраты мощности по обработке почвы, но изменяет и условия работы агрегата, в частности, устойчивость хода рабочих органов по ширине и глубине гона, его технико-экономические показатели и надежность. Для исследования характера зависимости сил сопротивления движению плуга от угла атаки и глубины обработки почвы рассмотрено состояние равновесия плуга в условиях установившегося режима его работы (Владимирский В. А., 2000, с. 92–97, с. 198–202).

Схема сил, действующих на роторный плуг в горизонтальной плоскости  $XOY$  и в вертикальной плоскости  $YoZ$ , представлена на рисунках 2.9 и 2.10.

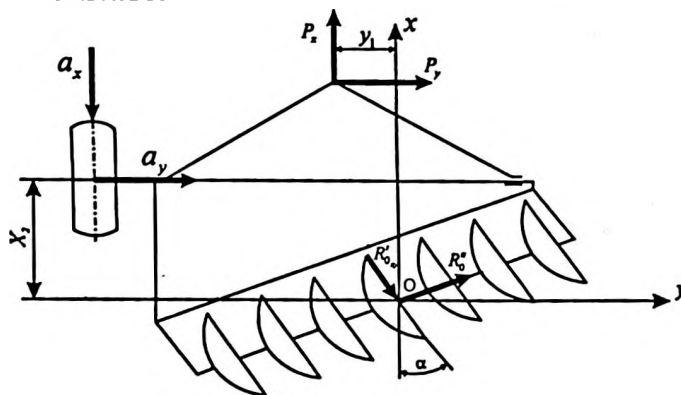


Рис. 2.9. Схема к определению сил, действующих на роторный плуг в плоскости  $XOY$  (вид сверху)

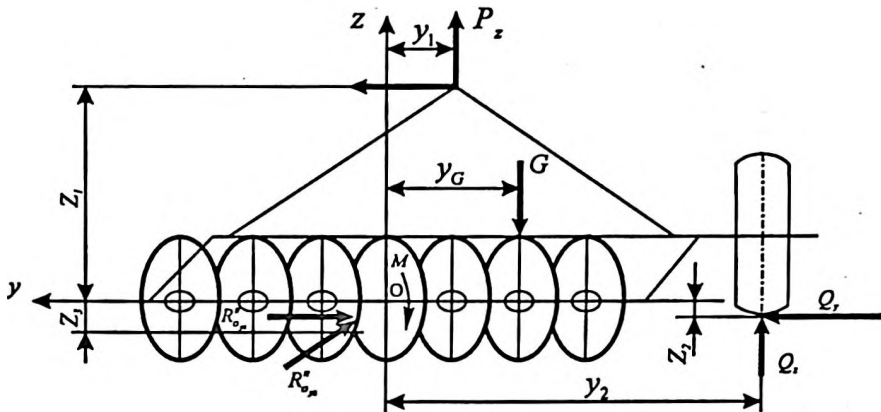


Рис. 2.10. Схема к определению сил, действующих на роторный плуг в плоскости YOZ (вид спереди)

За начало системы координат выбран центр среднего диска плуга. В рассматриваемом случае силы, действующие на плуг, представляют собой систему сил в пространстве. Для равновесия такой системы необходимо и достаточно, чтобы главный вектор этой системы  $R$  и ее главный момент  $M_o$  относительно любого центра (в нашем случае относительно центра  $O$ ) были равны нулю. Эти условия для выбранной системы отсчета в общем случае будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum F_{Kx} = 0, \sum F_{Ky} = 0, \sum F_{Kz} = 0, \sum M_x(F_K) = 0, \sum M_y(F_K) = 0, \\ \sum M_z(F_K) = 0 \end{aligned} \quad (2.100)$$

На роторный плуг (рис. 2.9 и 2.10) действуют следующие силы:  $G$  – сила веса плуга, приложенная в центре его тяжести (координаты  $X_C$  и  $Y_C$ );

$R'_0, R''_0$  – равнодействующие реакции почвы, представляющие сумму реакций сил  $R$  и  $R$  (Александров А. В., 1990), возникающих при взаимодействии каждого диска агрегата с почвой. Эти силы соответственно будут равны:

$$R'_0 = kR'_0, R''_0 = kR''_0, \quad (2.101)$$

где  $k$  – количество дисков в батарее;

$P$  – сила сопротивления движению плуга (тяговое сопротивление) в точке его подвеса с координатами  $X_1, Y_1, Z_1$ .

$Q_x, Q_y, Q_z$  – силы сопротивления перекатыванию регулировочного полевого колеса  $Q$ , с координатами  $X_2, Y_2, Z_2$ .

$M$  – крутящий момент принудительного вращения рабочих органов.

С учетом действующих сил условия равновесия роторного плуга будут представлены уравнениями:

$$\begin{aligned} P_x - Q_x - R'_0 \cos \nu \cos \alpha - R''_0 \sin \alpha &= 0, \\ + P_y + Q_y + R'_0 \cos \nu \sin \alpha - R''_0 \cos \alpha &= 0, \\ P_z + M/\epsilon + Q_z + R'_0 \sin \nu - G &= 0, \\ P_y Z_1 - (P_z + M/\epsilon) Y_1 + Q_z Y_2 - Q_z Y_2 + R''_0 \cos \alpha Z_3 - G Y_c &= 0, \\ P_x Z_1 - (P_z + M/\epsilon) X_1 - Q_z X_2 + Q_x Z_2 - R_0 \sin \alpha Z_3 + G Y_c &= 0, \\ P_x Y_1 - P_y X_1 + Q_x Y_2 - Q_y X_2 &= 0 \end{aligned} \quad (2.102)$$

$$\text{Величина силы тяги } P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (2.103)$$

Направление вектора  $P$  определяется углами, образованными с координатными осями. Косинусы данных углов определяются выражениями:

$$\cos \alpha = P_x/P, \cos \beta = P_y/P, \cos \gamma = P_z/P \quad (2.104)$$

Выразим равнодействующие реакций почвы  $R_0$  и  $R'_0$  через составляющие силы сопротивления движению плуга. С учетом полученных значений продольных и поперечных реакций почвы, действующих на единичный рабочий орган (Александров А. В., 1990), и выбранной системой координат для агрегата в целом приведенные продольные поперечные реакции почвы, действующие на роторный плуг, будут равны:

$$\begin{aligned} R_x &= R''_0 \sin \alpha - R'_0 \cos \nu \cos \alpha, \\ R_y &= R''_0 \cos \alpha - R'_0 \cos \nu \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.105)$$

Главный определитель системы (2.105)

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sin \alpha & \cos \nu \cos \alpha \\ \cos \alpha & -\cos \nu \sin \alpha \end{vmatrix} = -\cos \nu \quad (2.106)$$

Вспомогательные определители системы (2.105)

$$\Delta R'_0 = \begin{vmatrix} \sin \alpha & R_x \\ \cos \alpha & R_y \end{vmatrix} = (R_y \sin \alpha - R_x \cos \alpha) \quad (2.107)$$

$$\Delta R''_0 = \begin{vmatrix} R_x & \cos \nu \cos \alpha \\ R_y & -\cos \nu \sin \alpha \end{vmatrix} = (R_x \sin \alpha + R_y \cos \alpha) \cos \nu \quad (2.108)$$

Искомые реакции будут равны:

$$R'_c = (R_x \sin \alpha - R_y \cos \alpha) / \cos \nu \quad (2.109)$$

$$R''_0 = R_x \sin \alpha + R_y \cos \alpha \quad (2.110)$$

Подставляя значения реакций  $R'_0$  и  $R''_0$  из выражений (2.109) и (2.110) в условия равновесия (2.102), получим:

$$\left. \begin{aligned} P_x - Q_x - R_x \cos 2\alpha - R_y \sin 2\alpha &= 0, \\ P_y - Q_y + R_x \sin 2\alpha - R_y \cos 2\alpha &= 0, \\ P_x + M/\epsilon + Q_x - R_y \cos \alpha \operatorname{tg} \nu + R_x \sin \alpha \operatorname{tg} \nu - G &= 0 \\ P_x Z_1 - (P_x + M/\epsilon) Y_1 + Q_x Y_1 - Q_x Z_1 + (1/2 R_x \sin 2\alpha + \\ + R_y \cos^2 \alpha) Z_1 - G Y_c &= 0, \\ P_x Z_1 - (P_x + M/\epsilon) X_1 - Q_x X_1 + Q_x Z_1 - (R_x \sin^2 \alpha - \\ - 1/2 R_y \sin 2\alpha) Z_1 + G Y_c &= 0, \\ P_x Y_1 - P_x X_1 + Q_x Y_1 - Q_x X_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.111)$$

Из рисунка 2.9 следует, что  $R_x = P_x - Q_x$ , а  $R_y = P_y + Q_y$ , тогда условия (2.111) примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} P_x - Q_x (1 + \cos 2\alpha) + P_x \cos 2\alpha - (P_y + Q_y) \sin 2\alpha &= 0, \\ (P_x + Q_x) (1 + \cos 2\alpha) + (P_x - Q_x) \sin 2\alpha &= 0, \\ P_x + M/\epsilon + Q_x - (P_x + Q_x) \cos \alpha \operatorname{tg} \nu + (P_y + Q_y) \sin \alpha \operatorname{tg} \nu - G &= 0, \\ P_x Z_1 - (P_x + M/\epsilon) Y_1 + Q_x Y_1 - Q_x Z_1 + [1/2 (P_x - Q_x) \sin 2\alpha + \\ + (P_y + Q_y) \cos^2 \alpha] Z_1 - G Y_c &= 0, \\ P_x Z_1 - (P_x + M/\epsilon) X_1 + Q_x X_1 + Q_x Z_1 - [(P_x - Q_x) \sin^2 \alpha - \\ - 1/2 (P_y + Q_y) \sin 2\alpha] Z_1 + G Y_c &= 0, \\ P_x Y_1 - P_x X_1 + Q_x Y_1 - Q_x X_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.112)$$

Система уравнений равновесия (2.112) состоит из шести линейных уравнений и содержит семь неизвестных величин:  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$ ,  $Q_z$ ,  $M$ . Следовательно, рассматриваемая система статически неопределенная. Исключим из системы (2.112) реакцию  $Q_x$ . Для этого можно воспользоваться соотношением  $Q_x = k/RQ_z$ , где  $k$  – коэффициент сопротивления качению полевого колеса,  $R$  – радиус колеса.

В этом случае система уравнений (2.112) будет иметь шесть неизвестных параметров, то есть станет статически определенной.

Решение системы уравнений обычными математическими методами затруднительно, так как каждое уравнение системы содержит от четырех до шести неизвестных величин. Одно из возможных решений может быть выполнено путем использования матричного метода с применением ЭВМ.

Для решения системы уравнений равновесия роторного плуга (уравнение 2.112) запишем условия равновесия в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} P_x(1 + \cos 2\alpha) - P_x \cos 2\alpha - Q_x \sin 2\alpha - k/RQ_z(1 + \cos 2\alpha) &= 0, \\ (P_x + Q_x)(1 + \cos 2\alpha) + (P_y - Q_y) \sin 2\alpha &= 0, \\ P_x + M/\epsilon + Q_x - (P_x + Q_x) \cos atgv + (P_y - Q_y) \sin atgv - G &= 0, \\ 1/2P_x Z_x \sin 2\alpha + P_x(Z_x + Z_y \cos^2 \alpha + P_x Y_1 - Q_x(Z_x - Z_y \cos^2 \alpha) + & \\ + Q_x(Y_2 - k/PZ_x \sin 2\alpha) - MX_y/\epsilon &= -GY_0 \\ P_x(Z_x - Z_y \sin^2 \alpha - 1/2P_x Z_x \sin 2\alpha - P_{x1} - 1/2Q_x Z_x \sin^2 \alpha + & \\ + Q_x(-X_x + k/PZ_x \sin \alpha) - MX_y/\epsilon &= -GX_0 \\ P_x Y_1 - P_x X_1 + Q_x X_2 + Q_x - Y_1 &= 0 \end{aligned} \right\} (2.113)$$

Систему уравнений (2.113) решили матричным методом. Эта система представляет квадратную матрицу шестого порядка. Для ее решения применили метод обращения матриц (Лебедев В. А., 1981). Тогда система линейных уравнений в стандартной блочно-матричной форме имеет вид:

$$AX = B, \quad (2.114)$$

где  $A$  – квадратичная матрица системы уравнений (2.114):

$$A = \begin{vmatrix} 1 + \cos 2\alpha & -\sin 2\alpha & 0 & -\sin 2\alpha & -k/R(1 + \cos 2\alpha) & 0 \\ \sin 2\alpha & 1 + \cos 2\alpha & 0 & 1 + \cos 2\alpha & -k/R \sin 2\alpha & 0 \\ -\cos \alpha \operatorname{tg} \nu & \sin \alpha \operatorname{tg} \nu & 1 & \sin \alpha \operatorname{tg} \nu & 1 + k/R \cos \alpha \operatorname{tg} \nu & 1/\epsilon \\ 1/2Z_1 \sin 2\alpha & -Z_2 + Z_3 \cos^2 \alpha & Y_1 & Z_1 + Z_3 \cos^2 \alpha & Y_2 - k/RZ_3 \sin 2\alpha & -Y_1/\epsilon \\ Z_1 - Z_3 \sin^2 \alpha & -1/2Z_3 \sin 2\alpha & -X_1 & -1/2Z_3 \sin 2\alpha & -X_2 + k/R(Z_2 + Z_3 \sin 2\alpha) & -X_1/\epsilon \\ Y_1 & -X_2 & 0 & -X_1 & k/R Y_2 & 0 \end{vmatrix} \quad (2.115)$$

$X$  – матрица-столбец искомых величин. В строчной компактной форме эта матрица может быть записана в следующем виде:

$$X = \begin{vmatrix} P_x & P_y & P_z & Q_y & Q_z & M \end{vmatrix}, \quad (2.116)$$

$B$  – матрица-столбец свободных членов. В строчной компактной форме:

$$X = \begin{vmatrix} P_x & P_y & P_z & Q_y & Q_z & M \end{vmatrix} \quad (2.117)$$

Решение системы уравнений в сокращенной матричной форме имеет следующий вид:

$$X = \frac{1}{|A|} AB, \quad (2.118)$$

где  $|A|$  – определитель матрицы  $A$ ;

$A$  – матрица присоединения (союзная матрица).

Решение системы уравнений (2.113) производили для двух случаев. В первом случае будем считать угол атаки дисков величиной переменной ( $\alpha = \text{var}$ ), глубину вспашки – величиной постоянной ( $h = \text{const}$ ). Величины углов атаки:  $\alpha = 5, \alpha = 10, \alpha = 15, \alpha = 20, \alpha = 25, \alpha = 30$ , глубина вспашки  $h = 0,20$  м.

Во втором случае примем угол атаки постоянным ( $\alpha = \text{const}$ ), глубину вспашки – величиной переменной ( $h = \text{var}$ ). Глубина вспашки:  $h = 0,05$  м;  $h = 0,10$  м;  $h = 0,15$  м;  $h = 0,25$  м;  $h = 0,30$  м. Величина угла атаки  $\alpha = 25$ .

Искомые решения системы в графической форме представлены на рисунках 2.11 и 2.12. Приведены зависимости  $P_x = f(\alpha)$ ,  $P_y = f(\alpha)$ ,  $P_z = f(\alpha)$ ,  $Q_y = f(\alpha)$ ,  $Q_z = f(\alpha)$ ,  $P_x = f(h)$ ,  $P_y = f(h)$ ,  $P_z = f(h)$ ,  $Q_y = f(h)$ ,  $Q_z = f(h)$ ,  $M = f(\alpha)$ .

Анализ предоставленных графических зависимостей позволил сделать следующие выводы:

- при изменении угла атаки дисков: горизонтальная (продольная) составляющая тягового сопротивления плуга при увеличении угла атаки в пределах от 0 до 5 и от 5 до 10 уменьшается на 10,05 % и 14,02 % соответственно, при дальнейшем увеличении угла атаки  $P_x$  возрастает нелинейно;

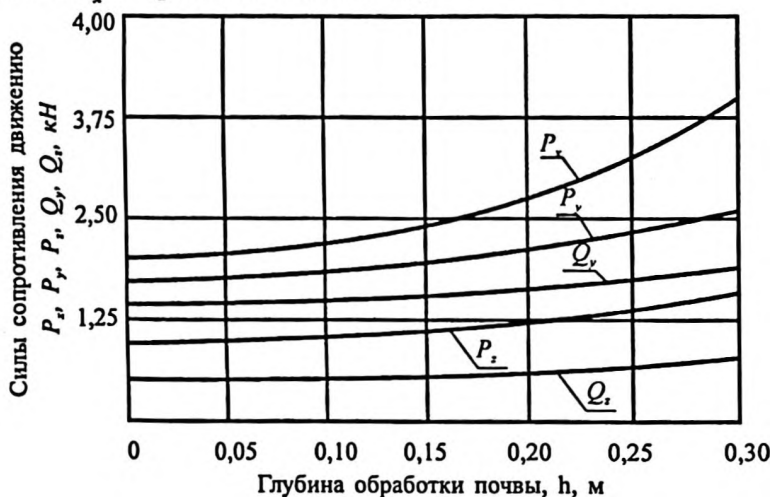


Рис. 2.11. Расчетные зависимости сил сопротивления движению роторного плуга от глубины обработки почвы  $h$

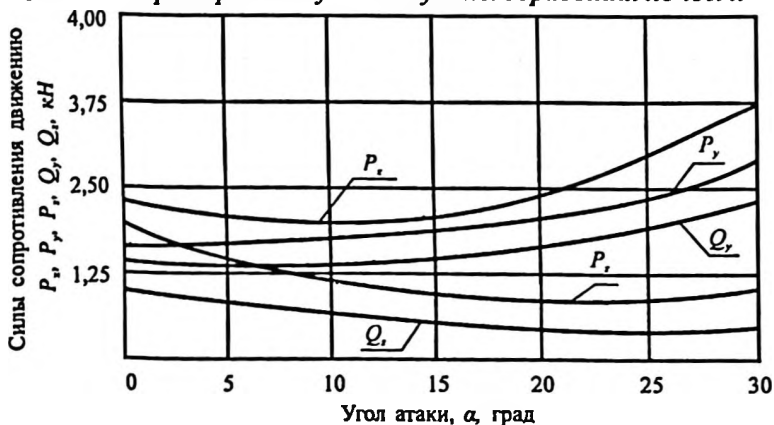


Рис. 2.12. Расчетные зависимости сил сопротивления роторного плуга от угла атаки  $\alpha$

- при угле атаки  $\alpha=30$  составляющая тягового сопротивления увеличивается на 65,34 % по сравнению с  $\alpha=0$  и по сравнению с минимальным значением тягового сопротивления увеличивается на 92,30 %, т. е. почти в 2 раза.

Боковая составляющая сопротивления движения роторного плуга с увеличением угла атаки возрастает на всех интервалах его изменения также нелинейно. Однако интенсивность увеличения  $P_y$  значительно меньше роста горизонтальной составляющей тягового сопротивления.  $P_y$  при угле атаки  $30^\circ$  увеличивается по сравнению с углом атаки  $\alpha=0$  на 51,78 %, т. е. практически интенсивность роста боковой (поперечной) составляющей по сравнению с продольной составляет порядка 50 %.

Вертикальная составляющая сопротивления плуга с возрастанием угла атаки по сравнению с  $P_x$  и  $P_y$ , наоборот, уменьшается, причем нелинейно. Но с увеличением угла атаки степень уменьшения вертикальной составляющей  $P_z$  снижается и при углах  $\alpha$ , равных 20, 25,  $30^\circ$ , практически остается неизменной величиной. Характер изменения реакций почвы на полевое колесо плуга аналогичен характеру изменения сил  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ .

При изменении глубины вспашки почвы: горизонтальная (продольная), боковая (поперечная), вертикальная составляющие тягового сопротивления плуга с увеличением глубины вспашки возрастают нелинейно. Аналогичен характер изменения реакций почвы на полевое колесо. При этом горизонтальная (продольная) составляющая увеличивается наиболее интенсивно. Так, при угле атаки  $30^\circ$   $P_x$  возрастает на 98,15 %, в то время как поперечная (боковая) всего на 55,04 %, а вертикальная – на 73,07 %.

Сравнение расчетных значений сопротивления роторного плуга проводилось с результатами экспериментальной энергетической оценки ротора почвообрабатывающего навесного РПН-1,8 методом тензометрирования. В качестве тензометрического средства использовался лабораторный трактор МТЗ-82 класса 14 кН.

Агрегат оборудовался тензометрическим карданным валом отбора мощности, тензовалом ведущих колес, датчиками оборотов ВОМ, движителей и путеизмерительного колеса, а также датчи-

ком и счетчиком расхода топлива ИП-197. Для регистрации измеряемых параметров использовалась электронная малогабаритная аппаратура ЭМА-ПМ.

Испытания проводились при основной обработке почвы на луговых черноземовидных почвах ОПХ Амурской МИС при влажности 27,5...28,6 %. Высота растительных и пожнивных остатков составляла 15,8...17,9 см. Твердость почвы в обрабатываемом слое составляла 2,7...9,0 кг/см<sup>2</sup>. Режим работы агрегата выбирался оптимальный, при котором обеспечивалось качественное выполнение технологического процесса. Рабочая скорость агрегата составляла 5,0 км/ч.

Тяговое сопротивление ротора почвообрабатывающего навесного РПН-1,8, по результатам испытаний при глубине обработки почвы 0,19 м и угле атаки  $\alpha=28^\circ$  составило 2,6 кН, что достаточно хорошо согласуется с теоретическими расчетами (рис. 2.9, 2.10). Следовательно, расчетный метод, выбранный для теоретического исследования динамики роторного почвообрабатывающего агрегата, может быть использован в инженерной практике.

## 2.6. Обоснование параметров 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  $v_{\Pi}(L_r)$  и  $v_{\epsilon}(L_r)$ . Их функциональная связь с входными факторами, в общем виде, может быть представлена в соответствии с рисунком 2.13, как:

$$\left. \begin{aligned} -v_{\epsilon} &= f(W_{\Pi}; \rho_i; \rho_{i-1}; B_c; v_a; \dots) \rightarrow opt \\ v_{\Pi} &= f(W_{\Pi}; \rho_i; \rho_{i-1}; B_c; v_a; \epsilon_1; \epsilon_2) \rightarrow 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.119)$$

где  $B_c$  – ширина стрелчатой лапы сошника.

Для данных процессов также справедливо следующее уравнение баланса

$$\frac{V_n \cdot \rho_n \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{S_{\Pi} \cdot T_a} = \frac{\varepsilon_{\Pi} \cdot V_{n+1} \cdot \rho_{n+1} \cdot v_a \cdot t_{\Lambda} \cdot Z_{\Lambda} \cdot Z_{PA}}{S_{\Pi}} \quad (2.120)$$

Решение данного уравнения относительно скорости движения посевного агрегата дает следующее выражение:

$$v_a = \frac{V_{i-1} \cdot \rho_{i-1} \cdot B \cdot L_{\Gamma}}{\varepsilon_{\Pi} \cdot V_i \cdot \rho_i \cdot t_{\Lambda} \cdot Z_{\Lambda} \cdot Z_{PA}} \leq [v_a] \quad (2.121)$$

*Технологические факторы*



**Рис. 2.13.** Формализованная модель взаимодействия элементов системы почва → агрегат с машиной многофункциональной универсальной

### **Обоснование параметров сопротивления движению сошника**

Согласно принятой нами конструктивно-технологической схеме, сошник предназначен для посева семян как по обработанной почве, так и по соевой стерне. В этой связи теоретические исследования по определению сопротивления проведены для наиболее напряженных условий работы, то есть для условий посева по необработанной почве (Основные рекомендации..., 1986; Протокол № 02-12-98; Патент 2158072).

Для построения модели перемещения сошника в почвенном субстрате примем следующие допущения:

- почва как субстрат представляет собой упруговязкую среду с внутренним трением и межчастичным сцеплением;
- движение клина представляет собой процесс периодического уплотнения и конечного разрушения почвы по поверхностям скольжения;
- при перемещении по клину длина почвенного пласта не претерпевает изменений и, следовательно, скорость переносного движения пласта равна скорости его относительного движения на поверхности клина;
- при прохождении клина по предварительно деформированной почве она вторичной деформации не подвергается.

Для определения сопротивления почвенного субстрата движению сошника выразим общее сопротивление через его составляющие:

$$R = R_H + R_L + R_C, \quad (2.122)$$

где  $R_H$ ,  $R_L$ ,  $R_C$  – сопротивление почвы движению соответственно стойки-ножа, стрелчатой лапы и семяпровода.

Для данного случая рассмотрим работу сошника через его составляющие: стойку-нож, стрелчатую лапу и семяпровод (рис. 2.14).

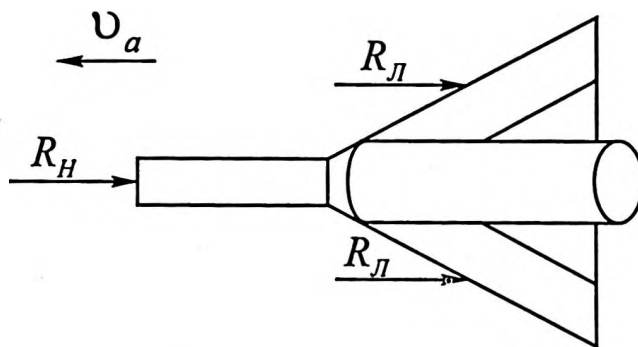


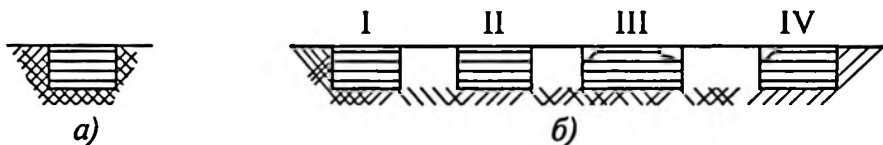
Рис. 2.14. Схема определения сопротивления почвы движению сошника

Вследствие того, что семяпровод установлен за стойкой-ножом по ходу движения сошника, воздействие почвы на него незначительно. В связи с этим в теоретических исследованиях сопротивление почвы перемещению семяпровода рассматриваться не бу-



Воспользовавшись принципом суперпозиции, найдем составляющие искомые силы поочередно, от действия силы тяжести  $G$ , силы сопротивления почвы деформации  $Pg$  и силы динамического действия пласта  $F$ , с последующим их сложением.

Согласно разработанной ВИМом теории деформации почвы, различают блокированное и полусвободное резание почвы (рис. 2.17).



*Рис. 2.17. Схема вариантов взаимодействия рыхлительного рабочего органа с почвой:*

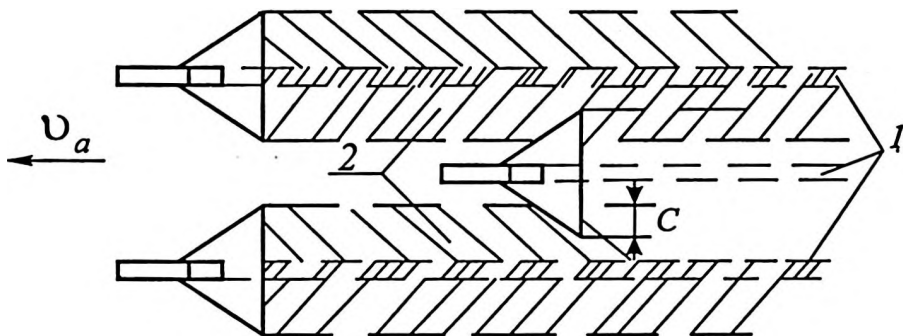
*а) блокированное резание почвы; б) полусвободное резание почвы; I, II – с двух- и односторонней блокировкой рабочего органа плотной почвой; III, IV – с одно- и двухсторонней блокировкой частично разрушенным пластом*

Проведенные А. К. Кострициным экспериментальные исследования показывают, что с уменьшением числа блокировок рабочего органа плотной почвой сопротивление рабочего органа значительно уменьшается (Кострицын А. К., 1979).

Предлагаемый сошник состоит из долотообразной стойки-ножа и стрелчатой лапы. При осуществлении технологического процесса долото находится в режиме блокированного резания почвы и прорезает борозду на глубину посева. Исходя из этого, сделан вывод, что идущая следом за ним стрелчатая лапа находится в более благоприятных условиях полусвободного резания почвы (рис. 2.18).

Так как у экспериментального сошника долото вынесено перед стрелчатой лапой и перекрывает собой часть стрелчатой лапы, рабочая площадь, а следовательно, и сопротивление движению стрелчатой лапы, также снижаются.

Исходя из этого, сделан вывод, что сопротивление почвы движению стрелчатых лап будет ниже, чем стрелчатых лап с традиционной компоновкой (долото находится за лапой).



**Рис. 2.18.** Схема обоснования условий работы лапы сошника, расположенной в первом и во втором ряду сеялки  
 1 – борозда от прохода долотообразной лапы (стойки-ножа);  
 2 – почва, обработанная стрельчатой лапой;  
 С – перекрытие сошников

Из рисунка 2.16 следует, что общая величина тягового сопротивления элементарного клина равна

$$P = R_{GX} + R_{gx} + R_{FX}, \quad (2.123)$$

где  $R_{GX}$ ,  $R_{gx}$ ,  $R_{FX}$  – проекции реакций на ось абсцисс от совместного действия сил трения и соответственно веса почвенного пласта, силы сопротивления почвы деформации и силы динамического давления почвенного пласта.

Для сошника с традиционной компоновкой (стойка находится за стрельчатой лапой) величина тягового усилия определяется выражением:

$$P_m^c = R^{C.л.} + R_{(a-hл)}^{cm},$$

где  $R^{C.л.}$  – сопротивление почвы движению стрельчатой лапы,  $H$ ;  
 $R_{(a-hл)}^{cm}$  – сопротивление почвы движению стойки,  $H$ .

Индекс  $(a-hл)$  в обозначении сопротивления почвы движению стойки показывает, что стойка сошника традиционной компоновки работает на глубину посева  $a$  за вычетом высоты стрельчатой лапы  $hл$ .

С учетом формулы (2.120) имеем

$$P_m^c = R_{GX}^{C.л.} + R_{gx}^{C.л.} + R_{FX}^{C.л.} + R_{GX(a-hл)}^{cm} + R_{gx(a-hл)}^{cm} + R_{FX(a-hл)}^{cm}$$

Учитывая, что работу по деформации почвы проводит находящаяся впереди стрелчатая лапа, значение сопротивления почвы ее деформации стойкой можно приравнять к нулю:  $R_{gx(a-hn)}^{cm} = 0$

$$P_m^c = R_{GX}^{C.L.} + R_{gx}^{C.L.} + R_{FX}^{C.L.} + R_{GX(a-hn)}^{cm} + R_{FX(a-hn)}^{cm},$$

$$P_m^c = R^{C.L.} + R_{GX(a-hn)}^{cm} + R_{FX(a-hn)}^{cm} \quad (2.124)$$

Для экспериментального сошника (стойка-нож находится перед стрелчатой лапой) величина тягового усилия определится как:

$$P_s^c = R^{C.L.} + (R_{GX}^{C.L.} + R_{FX}^{C.L.})k_s + R_{gx}^{C.L.} \cdot k_s k_6$$

или  $P_s^c = R^{C.L.} + (R_{GX}^{C.L.} + R_{FX}^{C.L.} + R_{gx}^{C.L.} \cdot k_6)k_s \quad (2.125)$

где  $R^{cm}$  – сопротивление почвы движению стойки-ножа,  $H$ ;

$R_{GX}^{C.L.}$ ;  $R_{gx}^{C.L.}$ ;  $R_{FX}^{C.L.}$  – составляющие сопротивления почвы движению стрелчатой лапы соответственно от действия силы тяжести пласта, силы динамического действия пласта и силы сопротивления почвы деформации,  $H$ ;

$k_s$  – коэффициент использования площади, учитывающий то, что рабочая площадь стрелчатой лапы используется не полностью (находится за стойкой-ножом);

$k_6$  – коэффициент блокировки плотной почвой, учитывающий, что часть пласта, попадающая на стрелчатую лапу, деформирована находящейся впереди стойкой-ножом.

Для определения тяговых усилий традиционного и экспериментального сошников необходимо найти их составляющие.

В общем случае в процессе резания почвы стойкой-ножом впереди вертикальной стойки образуются две зоны деформации: верхняя – зона рыхления и нижняя – уплотнения (Луценко А. В., 2007). В зоне рыхления почва перемещается вверх, а в зоне уплотнения – вдавливается в стенки формируемого канала. Глубина зоны рыхления зависит от физико-механических свойств почвы, угла заточки стойки и, в практических целях, принимается равной 3,5...4,0 значения толщины ножа (Литтл Т., 1996). При движении сошника глубина посева составляет 0,04...0,06 м, вертикальная часть стойки-ножа в процессе резания почвы не участвует. Таким

образом, сделан вывод, что деформации почвы, производимые стойкой-ножом, являются деформациями рыхления.

В то же время на рассматриваемый пласт действуют нормальная реакция  $N$  и сила  $T$  со стороны рабочей поверхности клина. Реакция  $R$  является результирующей от этих сил

$$R_G^{cm} = \frac{N}{\cos \varphi},$$

где  $\varphi$  – угол трения, град.

Так как  $N = G \cos \beta$ , то

$$R_G^{cm} = \frac{G \cos \beta}{\cos \varphi}.$$

Проектируя реакцию  $R_G$  на ось абсцисс, получим

$$R_{ax}^{cm} = R_{ax}^{cm} \sin(\beta + \varphi) = G \frac{\cos \beta}{\cos \varphi} \sin(\beta + \varphi), \quad (2.126)$$

Вес почвенного пласта определяется по формуле:

$$G = V \rho g,$$

где  $V$  – объем почвы, находящийся над клином,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – плотность почвы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

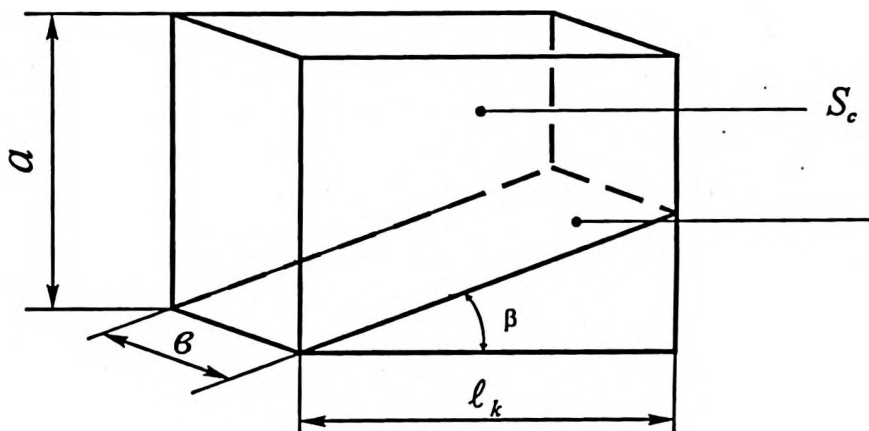


Рис. 2.19. Схема к определению геометрических параметров клина

Определим объем почвы, находящийся над клином:

$$V = S_c \cdot b,$$

где  $S_c$  – площадь продольного сечения пласта почвы, м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина клина (пласта почвы), м.

Согласно рисунку 2.19, найдем площадь  $S_c$ :

$$S_c = \frac{1}{2} l_k (a + a - l_k \operatorname{tg} \beta) = a l_k - \frac{l_k^2 \operatorname{tg} \beta}{2};$$

$$\text{тогда } V = b \left( a l_k - \frac{l_k^2 \operatorname{tg} \beta}{2} \right).$$

Вес почвенного пласта

$$G = b \rho a \left( a l_k - \frac{l_k^2 \operatorname{tg} \beta}{2} \right).$$

Подставив значение  $G$  в формулу (2.126), получим:

$$R_{gx}^{cm} = b \rho g \left( a l_k - \frac{l_k^2 \operatorname{tg} \beta}{2} \right) \frac{\cos \beta \sin(\beta + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (2.127)$$

Проведенный анализ показывает, что сопротивление почвы деформации  $R_g$  циклически изменяется от нуля до максимального значения, предшествующего моменту возникновения плоскости сдвига у песчаной или моменту начала отрыва глыбы у глинистой почвы. Сила  $R_g$  является равнодействующей реакцией от элементарных сил сопротивления почвы деформации на рабочей поверхности клина  $P_g$ . Она отклонена от нормали к рабочей поверхности клина на угол трения  $\varphi$  (Лурье А. Б., 1977).

$$\text{Из рисунка 2.16 следует, что } R_g^{cm} = \frac{P_g}{\cos \varphi}.$$

Для определения составляющей силы тягового сопротивления почвы движению клина, спроектируем реакцию  $R_g$  на ось абсцисс

$$R_{gx}^{cm} = R_g \sin(\beta + \varphi) = \frac{P_g \sin(\beta + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (2.128)$$

Для определения сопротивления почвы деформации восполь-

зуются положениями механики грунтов (Васильковский С. М., 1996)

$$\sigma_n = E\chi + k\dot{\chi}, \quad (2.129)$$

где  $\sigma_n$  – действующие напряжения, Н/м<sup>2</sup>;

$E$  – модуль упругости почвы, Н;

$\chi$  – относительное сжатие (деформация);

$k$  – коэффициент вязкости, Н/м<sup>2</sup>;

$\dot{\chi}$  – скорость деформации.

В процессе решения этого дифференциального уравнения, характеризующего напряжения от проявления как упругих, так и вязких свойств почвы, была выведена следующая зависимость (Дьяков В. П., 1988)

$$\sigma_n = q\lambda / 1 - e^{-\mu\beta / \nu k g \beta}, \quad (2.130)$$

где  $q$  – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – глубина смятия, м;

$\nu$  – скорость движения клина, м/с;

$\beta$  – угол резания, град;

$\mu$  – перемещение частиц почвы до образования поверхности разрушения, м;

$E$  – модуль упругости почвы, м.

Известно, что  $\mu = ta$ ,

где  $a$  – глубина обработки, м;

$t$  – коэффициент перемещения почвенных частиц;

$t = 0,05-0,3$ .

Тогда сопротивление за счет деформации почвы клином

$$P_g = \sigma_n S_k, \quad (2.131)$$

где  $S_k$  – площадь элементарного клина, м<sup>2</sup>.

Согласно рисунку 2.19, определим площадь клина:

$$S_k = b \frac{l_k}{\sin \beta},$$

где  $b$  – ширина клина, м;

$l_k$  – длина клина, м.

Сопротивление может быть представлено как

$$P_g = \sigma_n b \frac{l_k}{\sin \beta},$$

а составляющая силы тягового сопротивления почвы равна

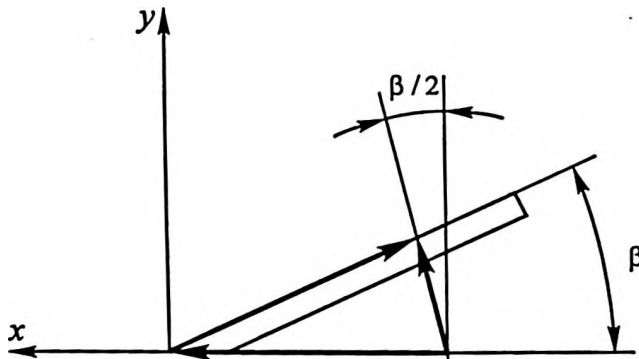
$$R_{\text{ав}} = \frac{\sigma_n b l_k \sin(\beta + \varphi)}{\sin \beta \cdot \cos \varphi},$$

Или, в конечном итоге

$$R_{\text{ав}} = \frac{q \lambda b l_k \sin(\beta + \varphi)}{1 - e^{-m a E \nu k t g \beta}} \sin \beta \cdot \cos \varphi. \quad (2.132)$$

Согласно теории клина, динамическое давление пласта  $F$  на рабочую поверхность, обусловленное инерцией пласта, рассматривается как непрерывный удар частиц почвы о плоскость клина. Сила динамического давления пласта на клин направлена противоположно абсолютной скорости пласта в момент его поступления на клин. Поскольку нами принято допущение о неизменности длины почвенного пласта и равенстве скоростей переносного  $v$  и относительного  $v_r$  движения пласта, создается треугольник скоростей, показанный на рисунке 2.20.

Рис. 2.20. Схема определения направления абсолютной скорости пласта



Таким образом, сила  $F$  направлена со стороны почвенного пласта к клину с отклонением от нормали к поверхности клина на угол  $\beta/2$ . Возникающая при этом реактивная сила  $R_F$  отклонена на угол трения  $\varphi$  от нормали к поверхности клина (рис. 2.17). Проекция силы  $R_F$  на ось абсцисс будет иметь следующее значение (Лу-

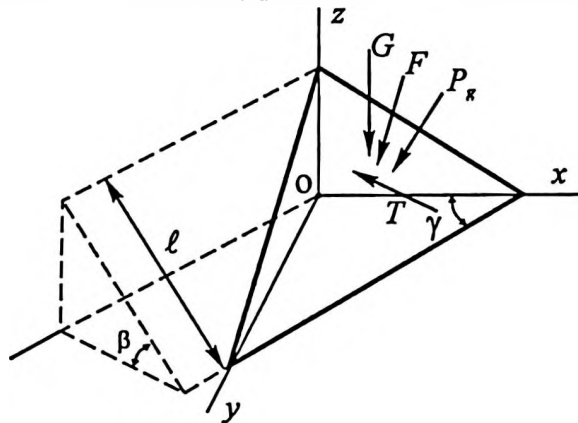
рье А. Б., 1977):

$$R_{ax}^m = ab \rho v^2 \sin \beta \operatorname{tg}(\beta + \varphi). \quad (2.133)$$

По данным исследований (Лурье А. Б., Мацелуро В. М., 1975), сила  $F$  приложена к клину в бесконечно малом слое почвенного пласта вблизи лезвия, а потому значение  $R_{ax}^m$  зависит лишь от начального угла резания  $\beta$  стойки-ножа.

В связи с тем, что стрелчатая лапа представляет собой трехгранный клин, основными параметрами, определяющими ее работу как трехгранного клина, являются угол крошения  $\beta$  и угол скоса лезвий  $\gamma$  (рис. 2.21), образуемые линией лезвия с направлением движения (с осью  $OX$ ).

Рис. 2.21. Схема к анализу работы стрелчатой лапы



Сопrotивление почвы движению стрелчатой лапы с традиционной компоновкой стойки в достаточной мере изучено в работе. Составляющие сопротивлению стрелчатой лапы те же, что и у долота:

$$P^{C.Л.} = R_{Gx}^{C.Л.} + R_{gx}^{C.Л.} + R_{FX}^{C.Л.}, \quad (2.134)$$

где  $R_{Gx}^{C.Л.}$ ;  $R_{gx}^{C.Л.}$ ;  $R_{FX}^{C.Л.}$  — проекции реакций на ось абсцисс от совместного действия сил трения и, соответственно, веса почвенного пласта, силы сопротивления почвы деформации и силы динамического давления почвенного пласта.

Значения составляющих сопротивления почвы  $R_{GX}^{C.L.}$  и  $R_{FX}^{C.L.}$  выражаются следующими формулами (Вентцель Е. С., 1964)

$$R_{GX}^{C.L.} = abl \rho g \frac{\sin \beta + f(\cos \gamma \operatorname{ctg} \lambda + \sin \gamma \cos \beta)}{\cos \beta - f \sin \lambda \sin \beta}, \quad (2.135)$$

$$R_{FX}^{C.L.} = \frac{ab\rho b^2 \sin^2 \gamma [\sin \beta + f \sin \gamma (\operatorname{ctg}^2 \gamma + \cos \beta)]}{\operatorname{ctg} \beta - f \sin \gamma}. \quad (2.136)$$

Для определения составляющей  $R_g^{C.L.}$  рассмотрено совместное действие силы сопротивления почвы деформации  $P_g$ , направленной нормально к поверхности клина и касательной силы трения  $T$  (рис. 2.22). Заменяя силу  $P_g$  численно равной ей нормальной реакцией опоры  $N$ , найдем реакцию  $P_g$  от совместного действия этих сил

$$\bar{R}_g = \bar{N} + \bar{T}.$$

Проекция нормальной силы на ось абсцисс (согласно рисунку 2. 22) равна

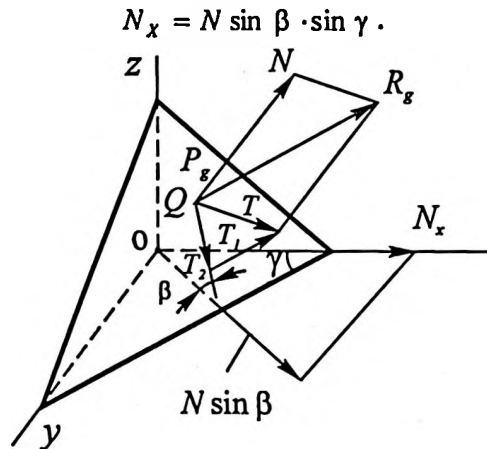


Рис. 2.22. Схема определения составляющей силы сопротивления почвы

Для определения проекции  $T_x$  разложим силу трения  $T$  на две составляющие:  $T_1$  – параллельно лезвию лапы и  $T_2$  – перпендикулярно лезвию. Тогда

$$T_1 = T \cos \gamma \text{ и } T_2 = T \sin \gamma.$$



где  $S_3$  – площадь стрельчатой лапы экспериментального сошника, м<sup>2</sup>;  
 $S_{mp}$  – площадь стрельчатой лапы сошника с традиционным расположением стойки, м<sup>2</sup>.

Площадь стрельчатой лапы предлагаемого сошника отличается от площади стрельчатой лапы сошника традиционной компоновки на площадь, занимаемую стойкой-ножом: .

$$S_3 = S_{mp} - S_{cm},$$

где  $S_{cm}$  – площадь стрельчатой лапы, занимаемая стойкой-ножом, м<sup>2</sup>.

Тогда коэффициент рабочей площади стрельчатой лапы сошника определится как:

$$k_S = \frac{S_{mp} - S_{cm}}{S_{mp}} = 1 - \frac{S_{cm}}{S_{mp}}. \quad (2.139)$$

Из рис. 2.23 находим

$$S_{mp} = 2(S_{ANCD} - S_{ABE}) = 2(S_{ANCD} - S_{ABE}),$$

где  $b_L$  – ширина лезвия стрельчатой лапы, м;

$\ell_L$  – длина лезвия стрельчатой лапы, м.

$$S_{ABE} = \frac{1}{2} b_L \lambda |AE|,$$

$$\text{при этом } |AE| = |AB| \cos \alpha = \ell_{cm} \cos \alpha,$$

где  $\ell_{cm}$  – длина стрельчатой лапы в месте нахождения стойки-ножа, м;

$\alpha$  – угол резания стрельчатой лапы, град.

Следовательно,

$$\begin{aligned} S_{mp} &= 2(b_L \ell_L - \frac{1}{2} b_L \ell_{cm} \cos \alpha) = 2b_L (\ell_L - \frac{1}{2} \ell_L \cos \alpha) = \\ &= b_L (2\ell_L \cos \alpha) \end{aligned} \quad (2.140)$$

Площадь стрельчатой лапы, занимаемая стойкой-ножом, определяется

$$S_{cm} = \ell_{cm} b_{cm}, \quad (2.141)$$

где  $b_{cm}$  – ширина стойки-ножа.

Подставив формулы (2.137) и (2.138) в формулу (2.136), получим:

$$k_S = 1 - \frac{\ell_{cm} b_{cm}}{b_L (2\ell_L - \ell_{cm} \cos \alpha)}. \quad (2.142)$$

Для разрабатываемого сошника размеры стрелчатой лапы и стойки-ножа следующие:

$$l_{cm} = 0,105 \text{ м}; b_{cm} = 0,02 \text{ м}; b_{cm} = 0,02 \text{ м}; b_{л} = 0,058 \text{ м}; \alpha = 16^\circ$$

При данных значениях коэффициент использования рабочей площади стрелчатой лапы предлагаемого сошника равен  $k_s = 0,91$ .

Сопrotивляясь деформации, почва скалывается от поверхности клина под углом  $\Psi$  (Листопад Г. Е., 1976), зависящим от угла подъема рабочей грани  $\alpha$ , угла трения почвы о металл  $\phi$ , угла внутреннего трения почвы  $\phi_n$ , скорости деформации  $v$  и других факторов. Различают угол вертикального скалывания почвы  $\Psi_b$  и горизонтального скалывания почвы  $\Psi_z$  (рис. 2.24).

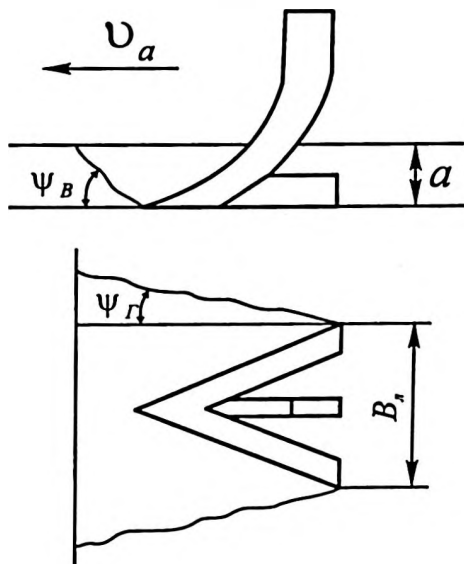


Рис. 2.24. Схема определения углов вертикального ( $\Psi_b$ ) и горизонтального ( $\Psi_z$ ) скалывания почвы

Согласно исследованиям В. А. Милюткина, с увеличением скорости с 1,39 до 3,34 м/с угол  $\Psi_b$  возрастает с  $38,7^\circ$  до  $63,5^\circ$ , а угол  $\Psi_z$  с  $40,5^\circ$  до  $50,2^\circ$  (Милюткин В. А., 1978).

При движении предлагаемого сошника линии скола почвы стойкой-ножом проецируются на фронтальную плоскость стрел-

чатой лапы. Следовательно, объем почвы, находящейся между линией скола (проходящей под углом  $\Psi_z$ ) и стойкой-ножом (рис. 2.23) уже находится в деформированном состоянии.

Таким образом, стрелчатая лапа деформирует почву не всей площадью, в связи с чем снижается составляющая сопротивления почвы движению стрелчатой лапы  $R_{\pi}^{\text{см}}$ . Следовательно, значение понижающего коэффициента блокировки стрелчатой лапы плотной почвой равно

$$k_6 = \frac{S_{\pi} - S_6}{S_{\pi}} = 1 - \frac{S_6}{S_{\pi}}, \quad (2.143)$$

где  $S_{\pi}$  – площадь фронтальной проекции стрелчатой лапы, м<sup>2</sup>;

$S_6$  – площадь фронтальной проекции части стрелчатой лапы, находящаяся между линией скола почвы и стойкой-ножом, м<sup>2</sup>.

Согласно рисунку 2.23, площадь равна  $S_6 = S_{ABE} = \frac{1}{2}|BE| \cdot |AE|$ , высота стрелчатой лапы  $|AE| = h_{\pi}$  и  $|BE| = |AE| \operatorname{tg} \Psi_z = h_{\pi} \operatorname{tg} \Psi_z$

$$\text{Следовательно, } S_6 = \frac{1}{2} h_{\pi}^2 \operatorname{tg} \Psi_z. \quad (2.144)$$

В тоже время площадь  $S_{\pi} = S_{ADCE} = \frac{|EC| \cdot |AD|}{2} |AE|$ , где  $|EC| = |AD| - |DF|$ ,  $|DF| = |CF| \operatorname{ctg} \beta$ .

При этом  $|AD| = \frac{B_{\pi} - b_{\text{см}}}{2}$ , а  $|AE| = |CF| = h_{\pi}$ .

$$\begin{aligned} \text{Тогда } S_{\pi} &= \frac{|AD| - |DF| + |AD|}{2} |AE| = (|AD| - |DF|) |AE| + |AE|^2 = \\ &= \left( \frac{B_{\pi} - b_{\text{см}}}{2} - h_{\pi} \operatorname{ctg} \beta \right) h_{\pi} \end{aligned} \quad (2.145)$$

Подставив выражения (2.144) и (2.145) в (2.143), получим

$$k_6 = 1 - \frac{h_{\pi}^2 \operatorname{tg} \Psi_z}{2h_{\pi} [0,5(B_{\pi} - b_{\text{см}}) - h_{\pi} \operatorname{ctg} \beta]},$$

$$\text{или } k_6 = 1 - \frac{h_{\text{л}} \operatorname{tg}^2 \Psi_z}{B_{\text{л}} - b_{\text{см}} - 2h_{\text{л}} \operatorname{ctg} \beta} \quad (2.146)$$

Анализ данного выражения показывает, что коэффициент  $k_6$ , а соответственно, и составляющая сопротивления почвы от ее деформации тем меньше, чем больше значение угла скалывания почвы  $\Psi_z$ , высоты  $h_{\text{л}}$  и угла крошения  $\beta$  стрелчатой лапы.

Для разрабатываемого сошника, изготовленного на базе универсальной стрелчатой лапы типа Лапа 5.1, рыхлительной долотообразной лапы типа Лапа 8.1, основные размеры следующие (ГОСТ 1343-76)

- высота лапы  $h_{\text{л}} = 0,032$  м;
- ширина стрелчатой лапы  $B_{\text{л}} = 0,270$  м;
- ширина стойки-ножа (долотообразной лапы)  $b_{\text{см}} = 0,02$  м;
- угол крошения стрелчатой лапы  $\beta = 28^\circ$ .

При варьировании значения угла скалывания почвы  $\Psi_z$  от  $40,5^\circ$  до  $50,2^\circ$  (при различных значениях скорости посева), значения коэффициента блокировки находятся в пределах:  $k_6 = 0,704 - 0,781$ , в связи с чем принимаем  $k_6 = 0,74$ .

Найдем составляющие сопротивления почвы движению стойки-ножа (долотообразной лапы), используя формулы (2.127), (2.132) и (2.133). Примем следующие исходные данные для проведения соответствующих расчетов (Мацелура В. М., 1975; Милоткин В. А., 1978):

- глубина посева  $a = 0,04 - 0,14$  м;
- коэффициент перемещения почвенных частиц  $m = 0,05 - 0,29$ ;
- длина почвообрабатывающего клина  $l_{\text{к}} = 0,098 - 0,189$  м;
- коэффициент вязкости почвы  $\kappa = (10,6 - 23,6) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;
- модуль упругости почвы  $E = 2 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>;
- коэффициент объемного смятия почвы  $q = 7,2 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;
- глубина смятия почвы  $\lambda = 0,05$  м;
- ширина клина  $b = 0,02$  м;
- угол резания долотообразной лапы  $\beta = 12^\circ$ ;
- угол трения «почва-металл»  $\varphi = 39,6^\circ$ ;
- плотность почвы  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;

- скорость агрегата  $v = 1,39-3,33$  м/с (5...12 км/ч).

Расчеты показали, что не зависящая от скорости движения сошника составляющая сопротивления почвы от веса почвенного пласта  $R_{\text{ав}}^{\text{ст}}$  и прямо пропорциональная глубина посева динамическая составляющая  $R_{\text{дх}}^{\text{ст}}$  намного меньше составляющей сопротивления почвы от ее деформации  $R_{\text{д}}^{\text{ст}}$ . Составляющая  $R_{\text{д}}^{\text{ст}}$  зависит как от глубины посева, так и от скорости движения. На ее долю приходится 93...98 % общего сопротивления почвы. Влияние составляющих от веса пласта  $R_{\text{ав}}^{\text{ст}}$  и динамической составляющей  $R_{\text{дх}}^{\text{ст}}$  на общее сопротивление почвы движению стойки-ножа незначительно.

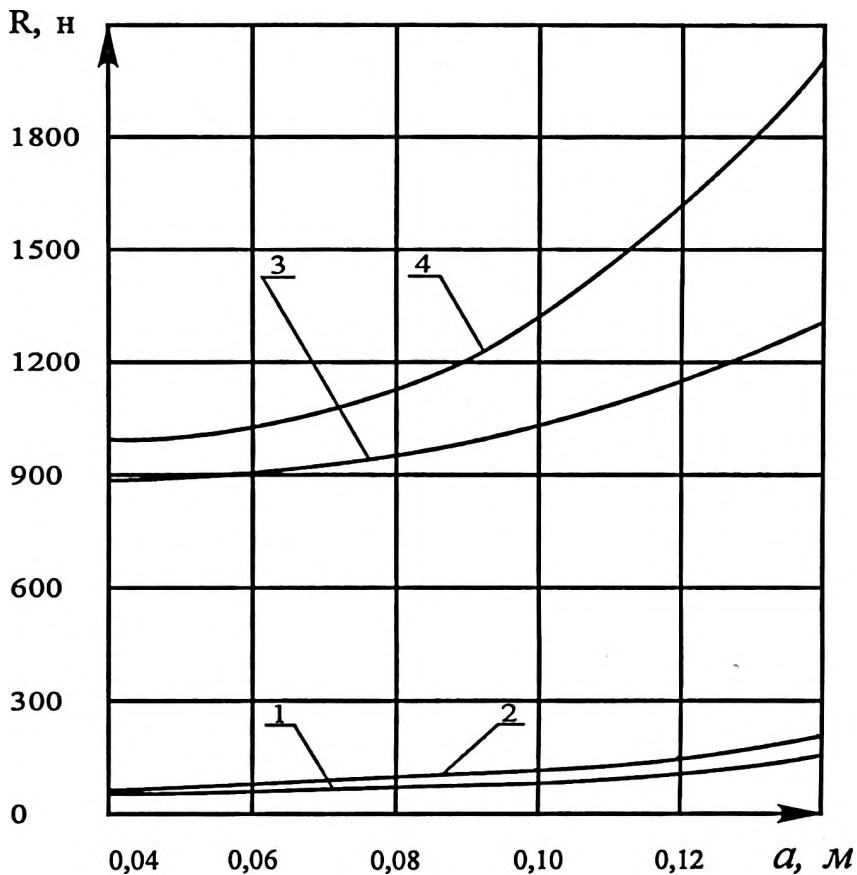
По формулам (2.135), (2.136) и (2.137) найдены составляющие сопротивления почвы движению стрелчатой лапы при следующих параметрах:

- угол резания стрелчатой лапы  $\beta = 16^\circ$ ;
- угол раствора стрелчатой лапы  $\gamma = 30^\circ$ ;
- ширина лезвия стрелчатой лапы  $b = 0,058$  м;
- длина лезвий лапы  $\ell = 0,52$  м.

Согласно представленных зависимостей видно, что основной составляющей сопротивления также является деформационная  $R_{\text{д}}^{\text{ст}}$ , на долю которой приходится 90,3...96,6 % общего сопротивления почвы. Соответственно, на долю составляющих  $R_{\text{дх}}^{\text{ст}}$  и  $R_{\text{ав}}^{\text{ст}}$  приходится 3,4...9,7 %.

Согласно представленным на рисунке 2.25 графикам видно, что значения сопротивления почвы движению стрелчатой лапы в 9,4...15,5 раз превышают значения сопротивления почвы движению стойки-ножа.

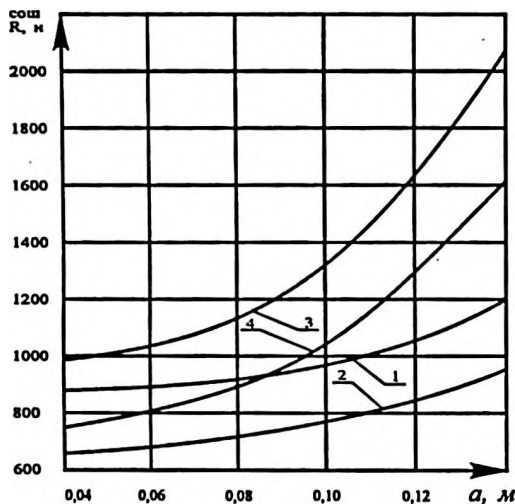
На глубине, необходимой для посева зерновых культур (0,04...0,06 м) зависимость  $R^{\text{ст}} = f(a)$  очень близка к линейной, причем со снижением скорости до 1,94 м/с данная зависимость практически линейна. При дальнейшем увеличении глубины (0,07...0,14 м) линейный характер зависимости нарушается, а сопротивление почвы движению  $R^{\text{ст}}$  резко возрастает, причем интенсивность его роста увеличивается с повышением скорости движения.



**Рис. 2.25.** Расчетные зависимости сопротивления почвы движению стойки-ножа и стрельчатой лапы от глубины посева

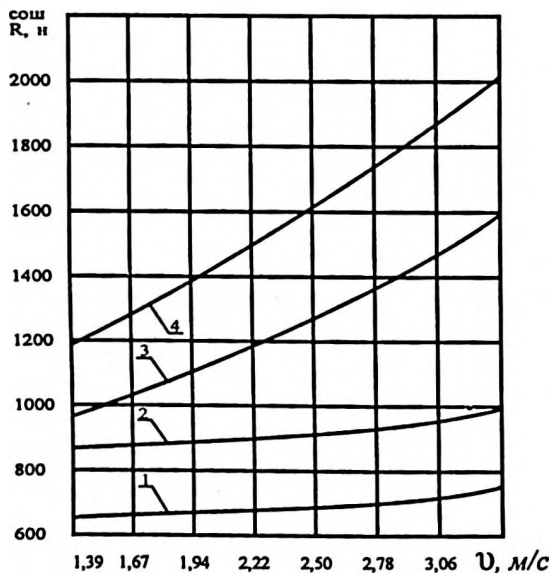
1 –  $R^c = f(a)$  при  $v_a = 1,94$  м/с; 2 –  $R^c = f(a)$  при  $v_a = 3,33$  м/с;  
 3 –  $R^{C.л.} = f(a)$  при  $v_a = 1,94$  м/с; 4 –  $R^{C.л.} = f(a)$  при  $v_a = 3,33$  м/с.

Найдем значения сопротивления почвы движению лаповых сошников с традиционной и предложенной компоновкой при глубине  $0,04 \dots 0,14$  м и скоростях движения  $1,39 \dots 3,33$  м/с, используя формулы (2.124), (2.125), (2.142) и (2.146). По полученным в результате расчетов значениям построены графики зависимостей  $R_m^c = f(a)$ ,  $R_3^c = f(a)$ ,  $R_m^c = f(v)$  и  $R_3^c = f(v)$  (рис. 2.26 и 2.27).



**Рис. 2.26.** Расчетные зависимости сопротивления почвы движению лапового сошника от глубины посева

1 –  $R_m^c = f(a)$  при  $v_a = 1,39$  м/с; 2 –  $R_g^c = f(a)$  при  $v_a = 1,39$  м/с;  
 3 –  $R_m^c = f(a)$  при  $v_a = 3,33$  м/с; 4 –  $R_g^c = f(a)$  при  $v_a = 3,33$  м/с.



**Рис. 2.27.** Расчетные зависимости сопротивления почвы движению лапового сошника от скорости движения

- 1 –  $R_3^c = f(v_a)$  при  $a=0,04$  м; 2 –  $R_m^c = f(v_a)$  при  $a=0,04$  м;  
 3 –  $R_3^c = f(v_a)$  при  $a=0,14$  м; 4 –  $R_m^c = f(v_a)$  при  $a=0,14$  м.

Анализ данных зависимостей  $K^c = f(a)$  (рис. 2.26) и  $K^c = f(v)$  (рис. 2.27) показывает, что с увеличением глубины посева величины сопротивления почвы возрастают, причем с увеличением скорости движения рост сопротивления почвы становится более интенсивным.

При равных условиях сопротивление почвы движению предложенного сошника меньше, чем сопротивление почвы движению сошника традиционной компоновки. Так, при скорости движения 1,39 м/с и глубине посева 0,04 м  $R_3^c = 650,8$  Н, а  $R_m^c = 871,2$  Н. При скорости 3,33 м/с и глубине 0,04 м  $R_3^c = 740,3$  Н, а  $R_m^c = 989,5$  Н.

С увеличением глубины обработки до 0,14 м значения сопротивления почвы составляют:

- при скорости 1,39 м/с  $R_3^c = 953,9$  Н, а  $R_m^c = 1191,8$  Н.
- при скорости 3,33 м/с  $R_3^c = 1603,7$  Н, а  $R_m^c = 2024,4$  Н.

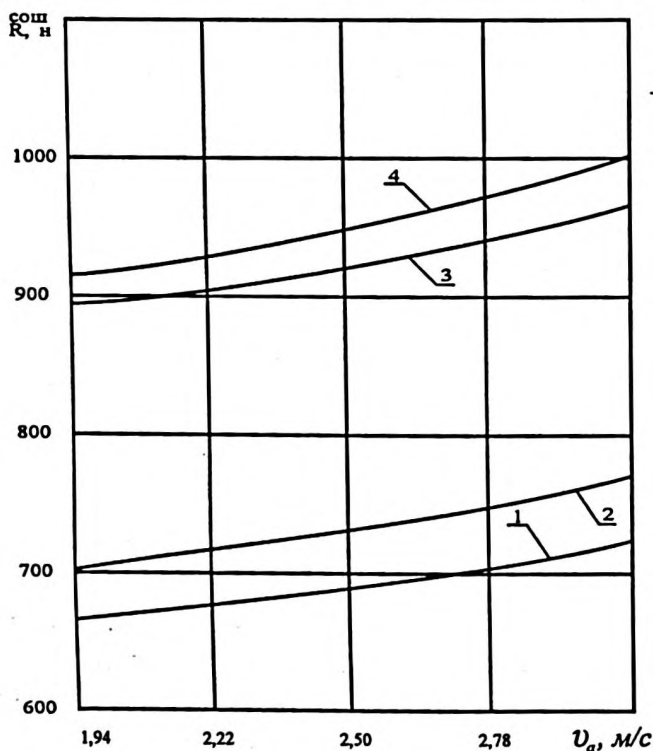
Таким образом, сделан вывод, что применение предложенного сошника позволяет снизить тяговое сопротивление на 19,9...25,4%.

Из рис. 2.28 видно, что в агротехнически допустимом для зерновых культур интервале глубины посева 0,044...0,06 м, характер зависимости сопротивления почвы от скорости движения близок к линейному.

Прирост сопротивления почвы при увеличении глубины посева, более ярко выражен у предложенного сошника. Так, в интервале скоростей 1,94... 3,06 м/с при изменении глубины посева с 0,04 до 0,06 м прирост сопротивления у предложенного сошника составляет 35,5...49,7 Н, в то время как у сошника традиционной компоновки – лишь 21,3...36,5 Н. Несмотря на это, абсолютная величина сопротивления почвы движению разработанного сошника в данных диапазонах (664,9...770,9 Н) гораздо ниже, чем у сошника традиционной компоновки (890,6...1002,2). Предложенный сошник обеспечивает снижение сопротивления почвы на 23,1...25,3%.

## **Обоснование технологических и конструктивных параметров машины многофункциональной**

Одним из основных требований, предъявляемых к посеву, является равномерность распределения семян по глубине. Этот качественный показатель во многом зависит как от конструкции сошника, так и от схемы расстановки сошников на сеялке. В данном подразделе использованы данные, изложенные в работах (Мунгалов В. А., 2010, с. 172–177; 276–277; 2009, с. 197–203; 230–235; Нормативы..., 1994).



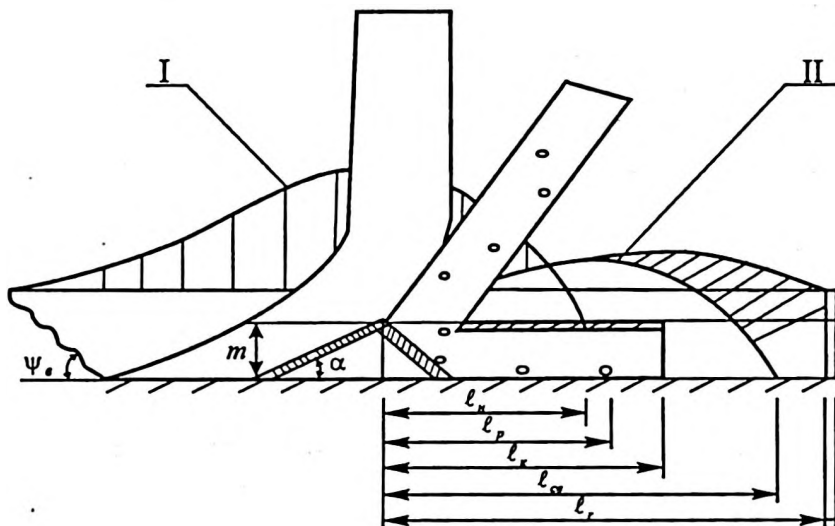
**Рис. 2.28.** Расчетные зависимости сопротивления почвы движению сошника, предложенной и традиционной компоновки  $R_{н}^{сум}$ , от скорости движения ( $v_a$ ) в агротехнически допустимом интервале глубины посева ( $a$ )

$$1 - R_{н}^c = f(v_a) \text{ при } a = 0,04 \text{ м; } 2 - R_{н}^c = f(v_a) \text{ при } a = 0,06 \text{ м;}$$

$$3 - R_{н}^c = f(v_a) \text{ при } a = 0,04 \text{ м; } 4 - R_{н}^c = f(v_a) \text{ при } a = 0,06 \text{ м.}$$

Для качественной заделки семян необходимо, чтобы слой почвы, сходящей с сошника, накрывал семена после того, как они прекратят перемещение внутри подсошниковых пространства.

При движении лапового сошника стойка-нож прорезает почвенный пласт. За счет подпора находящейся впереди сошника плотной почвы часть пласта поднимается по стойке-ножу и, достигнув максимальной точки подъема, сходит по направлению к крыльям стрелчатой лапы. Другая часть пласта, которая не попала на стойку-нож, движется по крылу лапы, а затем покидает его и ведет себя как тело, брошенное наклонно вперед. При этом между плоскостью посева и траекторией движения почвенных частиц образуется свободная зона, в которую и подаются семена. На рисунке 2.29 схематично показаны траектории частиц почвы, движущихся после схода со стойки-ножа и с крыльев стрелчатой лапы.



**Рис. 2.29.** Схема определения траектории движения частиц почвы, сходящих с сошника предложенной конструкции

- I — траектория движения частиц почвы, движущихся по стойке-ножу;
- II — траектория движения частиц почвы, движущихся по стрелчатой лапе

Согласно рисунку, видно, что необходимость установки козырька, закрывающего семена, возникает в том случае, если расстояние, на которое семена отскакивают от распределителя  $l_p$ , превышает длину пространства, свободного от почвы, сходящей с сошника  $l_{cb}$ .

Расстояние, на которое материал отскакивает от распределителя, согласно исследованиям (Сенин М. Ф., 1975) определяется из выражения

$$l_p = \frac{v_u^2 [(tg^2 \delta - R)tg(R+1)]}{g(1+tg^2 \delta)} + \sqrt{\left[ \frac{v_u^2 [(tg^2 \delta - R)tg(R+1)]}{g(1+tg^2 \delta)} \right]^2 + \frac{mtg\delta(R+1)2v_c^2}{g(1+tg^2 \delta)^2}},$$

где  $v_u$  – скорость падения материала на распределитель, м/с;

$\delta$  – угол наклона распределителя к почве, град;

$R$  – коэффициент восстановления материала при ударе о распределитель;

$m$  – высота распределителя, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Почву, сходящую с сошника, условно можно разделить на почву, сходящую со стрелчатой лапы и на почву, сходящую со стойки-ножа.

Движение почвы, сходящей со стрелчатой лапы, достаточно изучено в работах (Орехов Г. И., 2004). Длину пространства, свободного от почвы, сходящей со стрелчатой лапы, можно определить выражением

$$l_{\phi} = v \cos^2 \alpha (\sqrt{2H/g} - \sqrt{2(H-h)/g}), \quad (2.147)$$

где  $v$  – поступательная скорость движения агрегата, м/с;

$\alpha$  – угол наклона фронтальной плоскости стрелчатой лапы к плоскости почвы, град;

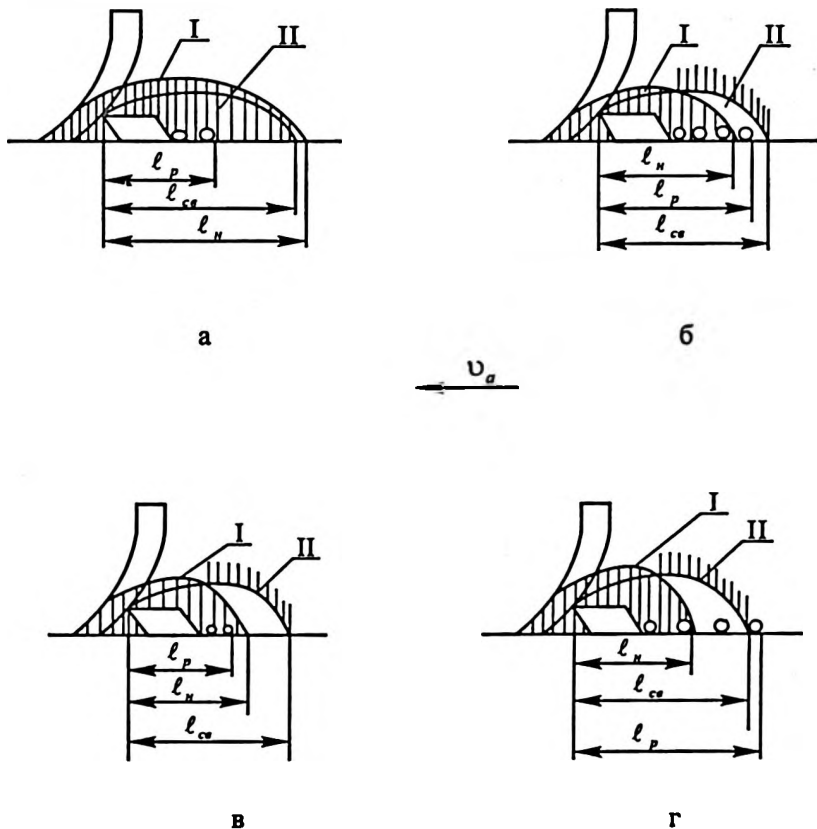
$H$  – глубина посева, м;

$h$  – высота стрелчатой лапы, м.

Почва, движущаяся по стойке-ножу, сходит с него не где-то в определенном месте, а по всей длине от носка до места максимального подъема. Из этого следует, что пространство, свободное от почвы, сходящей со стойки-ножа, будет находиться за тра-

екторией II движения частиц, движущихся по стойке-ножу, т. е. дальше расстояния  $l_n$ .

Таким образом, длину козырька  $l_k$  можно определить соотношением  $l_p$ ,  $l_{cb}$  и  $l_n$ . При этом возможны варианты, представленные на рисунке 2.30.



**Рис. 2.30. Схемы к обоснованию вариантов возможного взаиморасположения длины отскока семян от распределителя и траекторий движения частиц почвы, сходящих со стойки-ножа и стрелчатой лапы**

Согласно первому варианту,  $l_p < l_{cb} < l_n$ , т. е. траектория движения частиц, сходящих со стойки-ножа, перекрывает траекторию движения частиц, сходящих со стрелчатой лапы. В этом случае

длина прикрывающего козырька  $\ell_x$  определится длиной отскока семян от распределителя:  $\ell_x > \ell_p$ . На практике такой вариант маловероятен. Как правило, траектория I пересекает траекторию II (варианты б–г).

Второй вариант определяется соотношением  $\ell_n < \ell_p < \ell_{cb}$ . При этом отскочившие семена находятся внутри зоны, свободной от почвы, сходящей со стрельчатой лапы. Однако часть семян находится в зоне падения почвы, сходящей со стойки-ножа. В данном случае длина козырька  $\ell_x$  должна превышать длину зоны падения почвы  $\ell_n$ , но не должна превышать зоны, свободной от почвы  $\ell_{cb}$ . То есть, необходимая длина козырька должна быть в пределах  $\ell_{cb} > \ell_x > \ell_n$ . Данный вариант характерен для посева семян, обладающих высоким коэффициентом восстановления (соя, ячмень, пшеница) при работе на высоких скоростях (более 6 км/ч).

Третий вариант отличается от второго тем, что все семена находятся в зоне падения почвы, сходящей со стойки-ножа:  $\ell_p < \ell_{cb} < \ell_n$ . Такой вариант возможен при посеве семян с высоким коэффициентом восстановления на низких скоростях. Для качественной заделки семян необходимо выполнить условие превышения длины козырька над длиной отскока семян.

Для того, чтобы провести посев как семян, так и минеральных удобрений без перемешивания с почвой, длину козырька необходимо выбирать исходя из максимальной длины отскока  $\ell_p$ . Наиболее характерен для реальных условий вариант б, когда длина козырька находится в пределах  $\ell_{cb} > \ell_x > \ell_n$ . При этом, для удовлетворения условий варианта г достаточной длиной козырька будет расстояние отскока семян от распределителя  $\ell_x > \ell_p$ . Численное значение длины козырька будет определено в результате экспериментальных исследований.

При проходе лапового сошника за ним поднимается почвенный вал. Для нормальной работы сеялки необходимо, чтобы почва «успокаивалась» после прохода первого ряда сошников, а не подхватывалась сошниками второго ряда. В противном случае в

зоне между первым и вторым рядами сошников наблюдается постоянно нарастающий сплошной почвенный вал, нарушающий технологический процесс посева.

На возникновение почвенного вала влияет не только динамическое воздействие сошника на почву, но и возникающие деформации почвы впереди и по бокам сошника.

Технологическая схема сошниковой секции предполагает двухрядную расстановку сошников. Регулировка глубины посева осуществляется с помощью копирующего колеса. Для обеспечения высокой равномерности распределения семян по глубине необходимо, чтобы копирующее колесо посевной секции находилось вне зоны почвенных деформаций, возникающих вокруг сошников.

Согласно рисункам 2.31 и 2.32, расстояние между первым и вторым рядами сошников  $L_c$ , производящих посев семян на глубину  $a$ , должно быть не меньше суммы максимальной дальности полета частиц, сходящей со стрелчатой лапы почвы  $\ell_{л. max}$ , проекции на горизонтальную плоскость, расположенной под углом  $\psi_n$  линии скола почвы  $\Delta S_n$  и связанного с перекрытием сошников  $n$  расстояния  $\Delta \ell$ :

$$L_c = \ell_{л. max} + \Delta S_n + \Delta \ell \quad (2.148)$$

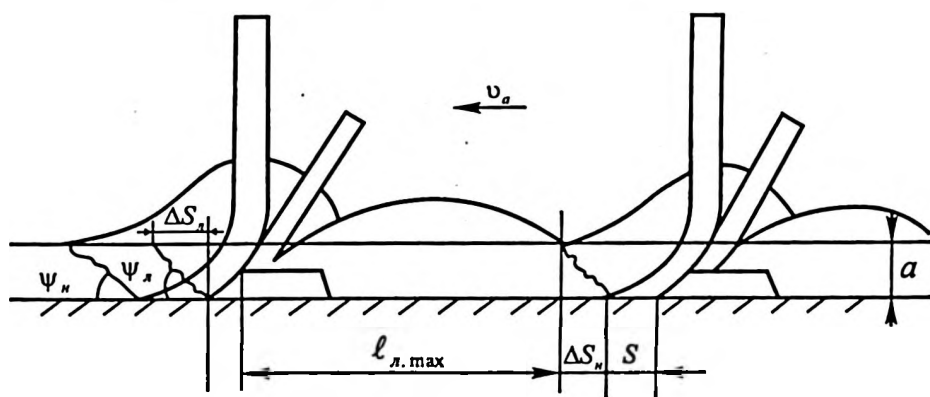
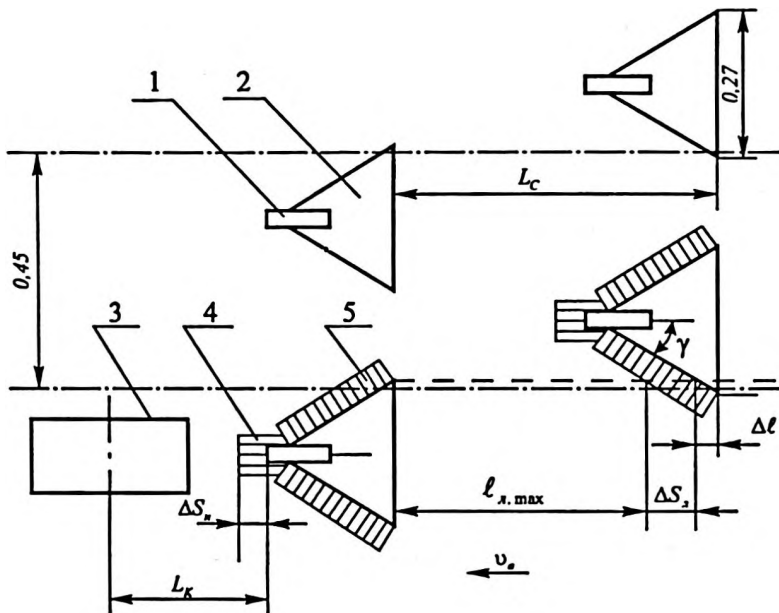


Рис. 2.31. Схема анализа процесса образования почвенного вала



**Рис. 2.32. Схема определения технологических параметров сошниковой секции**

1 – стойка-нож (долотообразная лапа); 2 – стрельчатая лапа; 3 – копирующее колесо; 4 – зона почвенной деформации от действия стойки-ножа; 5 – зона почвенной деформации от действия стрельчатой лапы

Для того, чтобы определить максимальную дальность полета частиц почвы, определим траекторию движения почвенных частиц. При этом воспользуемся положениями теоретической механики, представив частицу почвы на тело брошенное под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . Учитывая, что скорость полета относительно невелика, сопротивлением воздуха в данном случае можно пренебречь.

Тогда уравнения движения частиц почвы можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 \cos \alpha t, \\ y &= v_0 \sin \alpha t - gt^2 / 2 + H \end{aligned} \right\}, \quad (2.149)$$

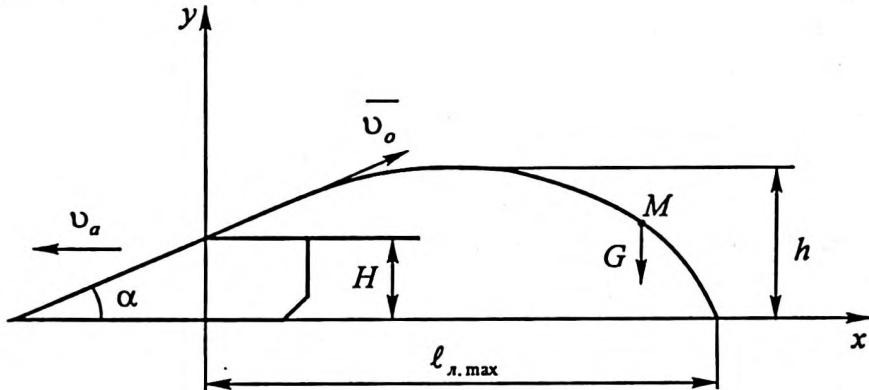
где  $\alpha$  – угол наклона фронтальной плоскости стрельчатой лапы к плоскости почвы, град;

$v$  – скорость движения частицы, м/с;

$t$  – время, с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – расстояние от почвенной подошвы до верхнего обреза стрельчатой лапы, м.



**Рис. 2.33.** Схема определения траектории полета частицы почвы после ее схода со стрельчатой лапы

Выразим из первого уравнения системы (2.149) время  $t$ :

$$t = x / v_0 \cos \alpha$$

Подставив выражение  $t$  во второе уравнение системы (2.149), получим уравнение траектории движения почвенной частицы

$$y = tg \alpha x - gx^2 / 2v_0^2 \cos^2 \alpha + H. \quad (2.150)$$

Для определения наибольшей высоты подъема  $h$  найдем экстремальные значения  $y$ , приравняв к нулю производную:

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0 \quad (2.151)$$

Следовательно,  $y$  достигает экстремума при  $t_1 = v_0 \sin \alpha / g$ .

Подставив полученное значение времени во второе уравнение системы (2.149), получим наибольшую высоту траектории полета почвенных частиц:

$$h = y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{g v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g^2} + H$$

$$h = v_0^2 \sin^2 \alpha / 2g + H$$

Умножим и разделим полученное уравнение на  $\cos^2 \alpha$

$$h = v_0^2 \cos^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha / 2g + H .$$

Полученное значение  $h$  определяет минимальную высоту крепления стойки сошника на грядиль сеялки.

Максимальная дальность полета почвенных частиц определится из уравнения траектории (2.150), если у приравнять к нулю:

$$\operatorname{tg} \alpha x - gx^2 / 2v_0^2 \cos^2 \alpha + H = 0 ,$$

$$\text{или } gx^2 / 2v_0^2 \cos^2 \alpha - x \operatorname{tg} \alpha - H = 0 .$$

Решая это квадратическое уравнение, получим:

$$x_{\max} = l_{\Pi} = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 2gHv_0^2 \cos^2 \alpha}}{g} v_0^2 \cos^2 \alpha .$$

Так как  $v_0 \cos \alpha = v_a$ , то

$$l_{\Pi} = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 2gHv_a^2}}{g} v_a^2 ,$$

$$h = v_a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha / 2g + H ,$$

где  $v_a$  – скорость агрегата, определяемая по выражению (2.124).

Для гарантированного заглубления сошников необходим определенный наклон стрелчатой лапы, когда линия хода носка лапы несколько ниже линии хода конца ее крыльев. Поэтому при вычислении длины полета и высоты подъема частиц почвы необходимо учитывать показатели предварительной регулировки сошников. Таким образом, получим окончательное выражение

$$l_A = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta) + 2g(H+n)/v_a^2}}{g} v_a^2 , \quad (2.152)$$

$$h = v_a^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \beta) / 2g + H + n , \quad (2.153)$$

где  $\beta$  – регулировочный угол наклона носка стрелчатой лапы,  $\beta = 4 \dots 5$  град.;

$n$  – разность глубины хода носка и концов крыльев лапы сошника,  $n = 0,012 \dots 0,015$  м.

Для определения границ возникающих почвенных деформаций воспользуемся зависимостью (2.150) (рис. 2.34)

$$\Delta S_{л} = atg(\alpha + \varphi), \quad (2.154)$$

где  $\varphi$  – угол трения почвы о металл, град.;

$\alpha$  – угол наклона фронтальной плоскости стрелчатой лапы к плоскости почвы, град.;

$a$  – глубина посева, м.

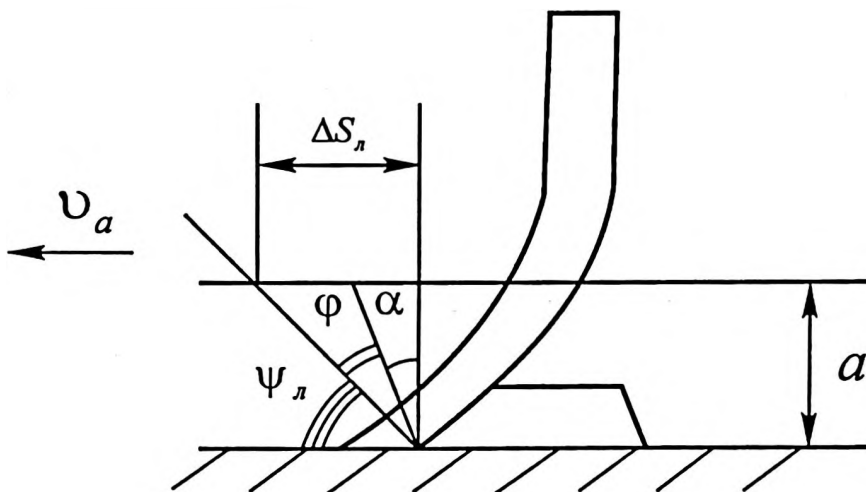


Рис. 2.34. Схема определения величины почвенных деформаций

Анализ зависимости (2.154) показывает, что величина зоны деформации  $\Delta S_{л}$  зависит как от физико-механических свойств почвы ( $\varphi$ ), так и от конструктивных параметров сошника ( $\alpha$ ). Для принятой стрелчатой лапы угол  $\alpha$  составляет  $16^\circ$ . Угол трения почвы о металл определен экспериментально  $\varphi = 39,6^\circ$ . Тогда при глубине посева  $0,04 \dots 0,06$  м величина зоны деформации почвы составляет

$$\Delta S = (0,04 \dots 0,06) \operatorname{tg}(16,0 + 39,6) = 0,058 \dots 0,088 \text{ м} .$$

Для дальнейших расчетов принята величина  $\Delta S = 0,088 \text{ м}$ .

Расстояние  $\Delta \ell$  определяется перекрытием сошников  $n$  и углом раствора стрелчатой лапы  $\gamma$ . Согласно рисунку 2.33, имеем

$$\Delta \ell = n \operatorname{ctg} \gamma .$$

Для принятых  $\gamma = 30^\circ$ ,  $n = 0,045 \text{ м}$ .

$$\Delta l = 0,045 \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ = 0,078 \text{ м} .$$

При средней скорости посева  $v_a = 10 \text{ км/ч}$  рассчитанная по формуле (2.152) максимальная длина полета частиц почвы составляет  $l_d = 0,714 \text{ м}$ . Тогда, согласно выражению (2.148), минимальное расстояние между рядами сошников должно составлять

$$L_c = 0,714 + 0,088 + 0,078 = 0,88 \text{ м} .$$

Минимальная высота крепления стойки сошника на грядиле сеялки составит

$$h = \frac{2,78^2 \operatorname{tg}^2(16 + 5)}{2 \cdot 9,81} + 0,032 + 0,015 = 0,2 \text{ м}$$

Расстояние между сошником и копирующим колесом определим из условия неналожения друг на друга зон деформации, создаваемых в почве ободом копирующего колеса и стойкой-ножом сошника (рис. 2.35).

Согласно рисунку 2.35 расстояние между сошником и копирующим колесом  $L_k$  должно удовлетворять условию

$$L_{k \min} = \Delta S_H + m / 2 ,$$

где  $\Delta S_H$  – зона почвенных деформаций, создаваемых стойкой-ножом, м;

$m$  – длина опорной поверхности копирующего катка,  $m \approx 0,14 \text{ м}$ .

Согласно формуле (2.154)  $\Delta S_H$  можно определить как  $\Delta S_H = a \operatorname{tg}(\alpha_H + \varphi)$ ,

где  $\alpha_H$  – угол наклона фронтальной плоскости стойки-ножа к плоскости почвы, град.

Так как начальный угол наклона фронтальной плоскости стойки-ножа ( $12^\circ$ ) меньше, чем у стрелчатой лапы, то применение

технологической схемы сошника с внесенной вперед стойкой-ножом дает возможность снизить угол вхождения в почву, а следовательно, уменьшить величину зоны деформации  $\Delta S_H$

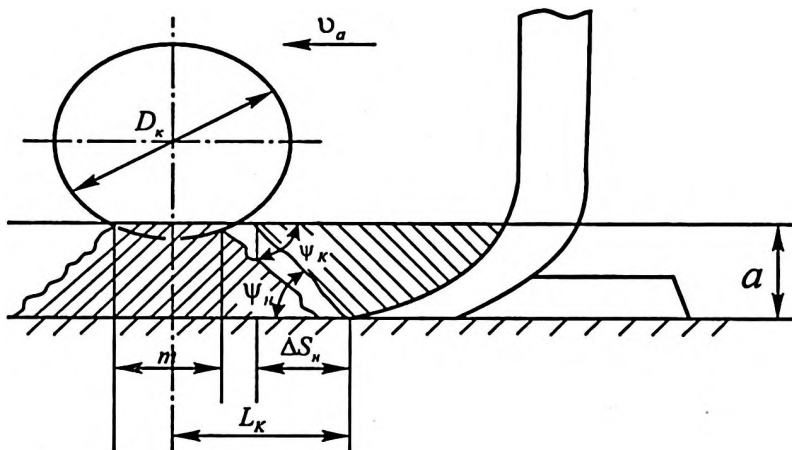


Рис. 2.35. Схема определения расстояния между сошником и копирующим колесом

Используя известные данные, получим

$$L_{K \min} = 0,05tg(12 + 39,6) + 0,14/2 = 0,133\text{м}.$$

Данные расчеты справедливы при условии постоянства глубины посева и равенства углов  $\Psi_k$  и  $\Psi_n$ . Учитывая неровности микрорельефа и возможность превышения угла  $\Psi_n$  над углом  $\Psi_k$ , можно принять  $L_K = 1,3L_{K \min}$ .

Тогда  $L_K = 1,3 \cdot 0,116 = 0,174\text{м}$ .

Для определения оптимальной формы рассеивающей поверхности распределителя семян исходим из зависимости (рис 2.36)

$$a = f(x) \quad (2.155)$$

где  $\alpha$  – угол наклона отражающей поверхности;

$x$  – дальность полёта частицы.

Рассмотрим процесс распределения семян сои в подсошниковом пространстве (рис. 2.36)

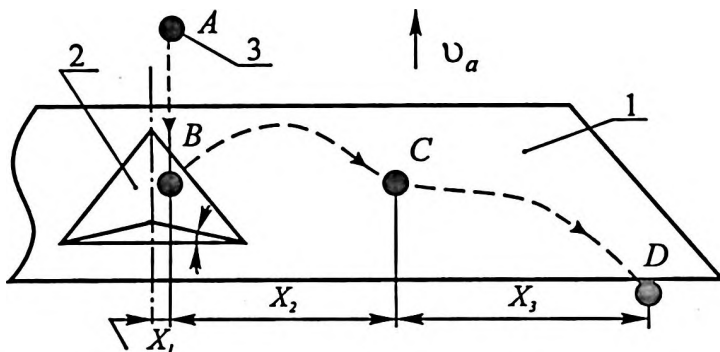


Рис. 2.36. Схема анализа движения семени в подсошниковом пространстве:

1 – пластина; 2 – пираминоидальный элемент; 3 – семя сои, принятое за материальную точку

Двигаясь по семяпроводу, семя 3 набирает скорость  $v_1$  (расстояние  $AB$ ) и ударяется о наклонённую под углом к пластине 1 плоскость пираминоидальной вставки 2, затем отскакивает со скоростью  $v_2$ , описывая в полёте траекторию  $BC$ , проходя при этом расстояние  $x_2$ . После падения в точку  $C$  со скоростью  $v_3$  продолжает движение, перекатываясь по пластине 1 (траектория  $CD$ ), проходя при этом расстояние  $x_3$ .

Таким образом, в процессе работы семя проходит расстояние

$$x = x_1 + x_2 + x_3, \quad (2.156)$$

где  $x_1$  – расстояние от оси падения семени до оси распределителя.

Выражение (2.156) описывает расстояние, проходимое семенем только по правой части распределителя семян (рис. 2.36), фактическая ширина рассева семян  $B$  будет равна

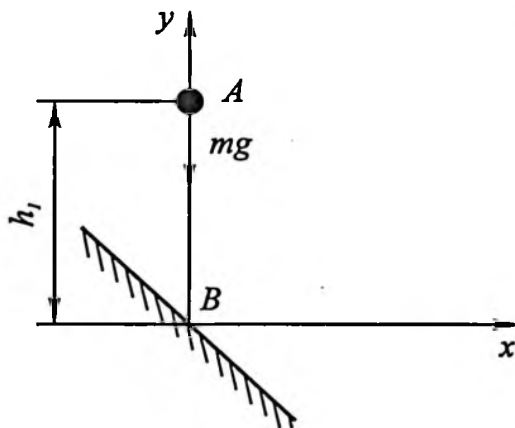
$$B = 2 \cdot x. \quad (2.157)$$

Рассмотрим динамику семени (материальной точки) на участках движения: до удара о плоскость пираминоидальной вставки распределителя семян  $AB$ ; после удара о плоскость пираминоидальной вставки распределителя семян  $BC$ ; по поверхности пластины распределителя семян  $CD$ .

Определим расстояние  $X_1$  от оси распределителя до точки со-

ударения семени сои с плоскостью пирамидоидальной вставки и скорость  $v_1$  во время соударения.

Схема движения материальной точки (семени) на участке  $AB$  до удара о наклонную плоскость вставки представлена на рисунке 2.37.



*Рис. 2.37. Схема движения семени сои на участке  $AB$  до удара о наклонную плоскость вставки*

Рассматривая движение, исходим из условий, что начальная скорость материальной точки равна  $v_0$ , и движется она, свободно падая с высоты  $h_1$ . При движении материальной точки (семени) силы, препятствующие падению, малы и потому не учитываются.

Положение семени в инерциальной системе отсчёта определяется ординатой  $y$ . Сила  $F$ , действующая на точку, может зависеть от положения точки, т. е. от ординаты  $y$ , скорости  $v = \frac{dy}{dt}$  точки и времени  $t$ . Уравнение динамики точки в общем виде (Алешкевич В. А., 1997; Бать М. И., 1991; Бутенин Н. В., 1979; Качалин А. Л., 2002)

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = F\left(y, \frac{dy}{dt}, t\right) \quad (2.158)$$

Данное равенство представляет собой физический закон, устанавливающий связь между массой точки, её ускорением и действующей на точку силой. Его можно рассматривать одновремен-

но и как дифференциальное уравнение, в котором ордината  $y$  является функцией, а время  $t$  – аргументом. Это уравнение является уравнением движения материальной точки в векторной форме.

Спроецировав основное уравнение динамики на оси координат, получим дифференциальные уравнения движения семени сои.

Приняв начальную скорость за  $v_0$ , а высоту за  $h_0$ , определим  $v_1$  и  $t_1$ .

Семя движется, свободно падая с высоты  $h_0$ .

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= 0 \\ m\ddot{y} &= \frac{-mg}{\mu} \end{aligned} \right\}, \quad (2.159)$$

где  $\ddot{x}$  и  $\ddot{y}$  – проекции ускорения точки на координатные оси;

$g$  – ускорение свободного падения семени;

$\mu$  – коэффициент, учитывающий все силы, препятствующие передвижению семян по семяпроводу.

Сократив массу  $m$  из уравнения (2.159) и представив в виде

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt}; \quad \ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt}$$

имеем

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\dot{x}}{dt} &= 0 \\ \frac{d\dot{y}}{dt} &= -\frac{g}{\mu} \end{aligned} \right\}, \quad (2.160)$$

Разделив переменные, а затем проинтегрировав их, получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= C_1; \\ \dot{y} &= -\frac{gdt}{\mu} + C_2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.161)$$

где  $\dot{x}$  и  $\dot{y}$  – проекции ускорения точки на координатные оси;

$C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определим, исходя из начальных условий в момент времени  $t = 0$ . Отсюда  $C_1 = 0$ ;  $C_2 = 0$ .

Подставив значения  $C_1$  и  $C_2$  в уравнение (2.161), получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= 0; \\ \dot{y} &= -\frac{gt_1}{\mu} \end{aligned} \right\} \quad (2.162)$$

Представив  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ ,  $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$  получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= 0; \\ \frac{dy}{dt} &= -\frac{gt_1}{\mu} \end{aligned} \right\} \quad (2.163)$$

Разделив переменные, а затем проинтегрировав функцию, получим

$$\left. \begin{aligned} x &= C_3; \\ y &= -\frac{gt_1^2}{2\mu} + C_4 \end{aligned} \right\}, \quad (2.164)$$

где  $C_3$  и  $C_4$  – постоянные интегрирования.

Для определения  $C_3$  и  $C_4$  используем начальные условия при  $t = 0$ ,  $x = 0$ ,  $y = h_1$ . Таким образом,  $C_3 = 0$ ,  $C_4 = h_1$ .

Отсюда уравнение движения семени до контакта с наклонной плоскостью вставки распределителя семян на участке АВ примет вид

$$\left. \begin{aligned} x &= 0; \\ y &= -\frac{gt_1^2}{2\mu} + h_1 \end{aligned} \right\}, \quad (2.165)$$

где  $h_1$  – расстояние от точки соприкосновения сои с плоскостью вставки до начального положения семени.

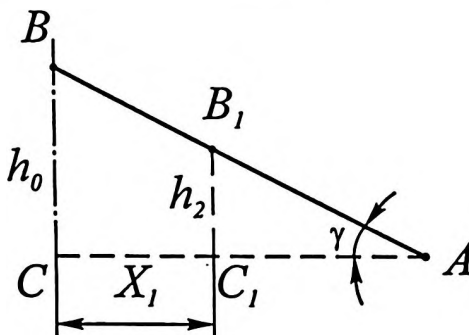
Подставив в уравнение (2.165) значение  $y = 0$ , вычислим время падения  $t$ , подставив которое в формулу (2.162), найдём скорость в момент соударения  $u_1$ .

Найдем расстояние от оси распределителя семян до точки удара семени о вставку  $X_1$  в соответствии с рисунком 2.38.

Исходя из первого признака подобия треугольников (Бермант А. Ф., 1966) угол  $ACB = AC_1B_1 = 90^\circ$ , угол  $B_1AC_1 = BAC = \gamma$ . Соответственно,  $\triangle ABC \sim \triangle AB_1C_1$ .

Из условия (рис. 2.38) известны  $h_2$ ,  $h_0$  и угол  $\gamma$ . Найдём  $CC_1 = X_1$ . Из подобия треугольников следует

$$\frac{BC}{B_1C_1} = \frac{AC}{AC_1}, \text{ откуда } AC = \frac{BC \cdot AC_1}{B_1C_1}.$$



*Рис. 2.38. Проекция пирамиоидального элемента с обозначением сторон*

В свою очередь  $AC_1 = B_1C_1 \cdot \text{ctg}\gamma$ , а  $AC = AC_1 + C_1C$ , подставив значения и выразив искомую  $CC_1 = X_1$ , получим

$$X_1 = (h_0 - h_2) \cdot \text{ctg}\gamma, \quad (2.166)$$

где  $h_0$  – расстояние от вершины пирамиоидального распределителя до плоскости пластины распределителя;

$h_2$  – расстояние от точки удара семени о пирамиоидальную вставку до плоскости пластины распределителя.

Определим зависимость угла наклона траектории  $\theta$ , скорости  $u_2$  и дальности  $X_2$  полёта семени сои после удара от угла наклона отражающей поверхности  $\gamma$  с учётом коэффициентов восстановления  $R$  и мгновенного трения  $\lambda$  (рис. 2.38).



Ударный импульс определяется следующим образом

$$\bar{S}_{уд} = \int_0^t \bar{F}_{уд} dt = m(v_2 - v_1), \quad (2.167)$$

где  $\bar{S}_{уд}$  – ударный импульс;

$\bar{F}_{уд}$  – ударная сила;

$t$  – время удара;

$m$  – масса времени;

$v_2$  и  $v_1$  – скорости семени в начале и конце удара соответственно.

Схема движения семени после отскока от плоскости пирамидоидальной вставки распределителя семян (участок *BC*) представлена на рисунке 2.39.

Скорость частицы после удара  $V_2$  и угол наклона траектории  $\theta$  являются функциями от  $\gamma$ ,  $R$  и  $\lambda$ .  $R$  – коэффициент восстановления скорости после удара, характеризующий упругие свойства частицы;  $\lambda$  – коэффициент мгновенного трения, характеризующий процесс удара, скользящий при  $\theta \neq 0$ , без скольжения – при  $\theta = 0$ . Коэффициент мгновенного трения в свою очередь является функцией угла  $\gamma$  и коэффициента  $R$  (рис.2.40).

Проекция скорости движения частицы после удара на нормаль (на ось  $n$ )

$$v_2^n = v_1^n \cdot R, \quad (2.168)$$

где  $v_1^n$  – проекция скорости до удара на ось  $n$ ;

$R$  – коэффициент восстановления скорости

$$v_1^n = v_1 \cos \gamma. \quad (2.169)$$

Проекция скорости движения частицы на ось  $\tau$  после удара

$$v_2^\tau = v_1^\tau (1 - \lambda'), \quad (2.170)$$

где  $v_1^\tau$  – проекция скорости до удара на ось  $\tau$ ;

$\lambda'$  – коэффициент мгновенного трения семени об отражающую поверхность.

$$v_1^\tau = v_1 \sin \gamma. \quad (2.171)$$

Согласно данным (Сенин, 1975) коэффициент мгновенного трения определяется как

$$\lambda' = \frac{v_1 \sin \gamma - f v_1 \cos \gamma (1 + R)}{v_1 \sin \gamma} = 1 - f \operatorname{ctg} \gamma (1 + R), \quad (2.172)$$

где  $f$  – коэффициент мгновенного трения семени сои о сталь.

Из выражения (2.172) определим  $\operatorname{ctg} \gamma$

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{1 - \lambda'}{f(R + 1)}; \quad (2.173)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{f(R + 1)}{1 - \lambda'}. \quad (2.174)$$

В свою очередь, угол отражения  $j$  можно определить как отношение скоростей

$$\cos j = \frac{v_2''}{v_2}; \quad (2.175)$$

$$\sin j = \frac{v_2'}{v_2}. \quad (2.176)$$

Скорость семени после удара об отражающую поверхность вставки распределителя семян определяется по формуле (Жегалов В. С., 1934)

$$v_2 = \sqrt{(v_2'')^2 + (v_2')^2} = \sqrt{v_1^2 R^2 \cos^2 \gamma + v_1^2 (1 - \lambda')^2 \sin^2 \gamma}. \quad (2.177)$$

Найдем уравнение траектории движения семени на участке  $BC$  (рис. 2.36).

Соевое семя со скоростью  $v_1$  ударяется о плоскость вставки, на высоте  $h_2$  отскакивает под некоторым углом  $\theta$ , летит со скоростью  $v_2$  по некоторой траектории в течение времени  $t_2$  и падает на пластину распределителя на расстоянии  $X_2$  от точки отскока.

Спроецировав движение семени сои на оси координат, получим

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{S \cdot \cos \theta}{t'}; \\ m\ddot{y} &= -mg + \frac{S \cdot \sin \theta}{t'} \end{aligned} \right\}, \quad (2.178)$$

где  $\ddot{x}$  – проекция ускорения на ось  $x$ ;

$\ddot{y}$  – проекция ускорения на ось  $y$ ;

$S$  – ударный импульс;

$t'$  – время (продолжительность) удара.

Исключив массу  $m$  из системы уравнений (2.175) и представив

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt}; \ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt}, \text{ имеем}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\dot{x}}{dt} &= \frac{S \cdot \cos\theta}{mt'}; \\ \frac{d\dot{y}}{dt} &= -g + \frac{S \cdot \sin\theta}{mt'} \end{aligned} \right\} \quad (2.179)$$

Разделив переменные, затем проинтегрировав их, получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{S \cdot \cos\theta}{mt'} t_2 + C_1; \\ \dot{y} &= -gt + \frac{S \cdot \sin\theta}{mt'} t_2 + C_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.180)$$

где  $\dot{x}$  и  $\dot{y}$  – проекции скорости на оси  $x$  и  $y$ ;

$C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определим, исходя из начальных условий в момент времени  $t = 0$ . Отсюда  $C_1 = v_2 \cos\theta$ ;  $C_2 = v_2 \sin\theta$ .

Подставив значения  $\dot{x}$  и  $\dot{y}$  в уравнение (2.180), получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{S \cdot \cos\theta}{mt'} t_2 + v_2 \cos\theta \\ \dot{y} &= -gt_2 + \frac{S \cdot \sin\theta}{mt'} t_2 + v_2 \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (2.181)$$

Представив  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ ,  $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$ , получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{S \cdot \cos\theta}{mt'} t_2 + v_2 \cos\theta \\ \frac{dy}{dt} &= -gt_2 + \frac{S \cdot \sin\theta}{mt'} t_2 + v_2 \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (2.182)$$

Разделив переменные, затем проинтегрировав их, получим

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{S \cdot \cos \theta}{mt'} \frac{t_2^2}{2} + v_2 \cos \theta t_2 + C_3; \\ y &= -\frac{gt_2^2}{2} + \frac{S \cdot \sin \theta}{mt'} \frac{t_2^2}{2} + v_2 \sin \theta t_2 + C_4 \end{aligned} \right\}, \quad (2.183)$$

где  $C_3$  и  $C_4$  – постоянные интегрирования.

Для определения  $C_3$  и  $C_4$  используем начальные условия при  $t_2 = 0, x = 0, y = h_2$ . Таким образом  $C_3 = 0, C_4 = h_2$ .

Отсюда уравнение (2.183) примет вид

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{S \cdot \cos \theta}{mt'} \frac{t_2^2}{2} + v_2 \cos \theta t_2; \\ y &= -\frac{gt_2^2}{2} + \frac{S \cdot \sin \theta}{mt'} \frac{t_2^2}{2} + v_2 \sin \theta t_2 + h_2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.184)$$

где  $h_2$  – расстояние от точки соударения сои с плоскостью вставки до пластины распределителя семян.

Из курса теоретической механики (Бать М. И., 1990) известно

$$S = mv_2 - mv_1. \quad (2.185)$$

После подстановки значения выражения (2.185) система уравнений (2.184) примет вид

$$\left. \begin{aligned} x &= (v_2 - v_1) \cos \theta \frac{t_2^2}{2t'} + v_2 \cos \theta t_2; \\ y &= -\frac{gt_2^2}{2} + (v_2 - v_1) \sin \theta \frac{t_2^2}{2t'} + v_2 \sin \theta t_2 + h_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.186)$$

Ввиду того, что продолжительность удара  $t'$  ничтожно мала, а скорость точки в течение этого промежутка времени имеет конечную величину, перемещение точки за время удара весьма мало и им можно пренебречь.

Решив систему уравнений относительно  $X$  и подставив значения, получим

$$x_2 = \frac{\left( \left( \sqrt{v_1^2 R^2 \cos^2 \gamma + v_1^2 (1 - \lambda')^2 \sin^2 \gamma} \right) - v_1 \right) \cos \theta t_2^2}{2} + \left( \frac{g t_2^2}{2} - \frac{\left( \left( \sqrt{v_1^2 R^2 \cos^2 \gamma + v_1^2 (1 - \lambda')^2 \sin^2 \gamma} \right) - v_1 \right) \sin \theta t_2^2}{2} - h_2 \right) C \operatorname{tg} \theta \quad (2.187)$$

В полученном выражении учитывается удар частицы со скольжением, коэффициент мгновенного трения отличен от нуля. Таким образом, минимальный угол наклона отражающей поверхности пирамидоидального элемента к пластине распределителя семян  $\gamma_{\min}$ , при котором формула теряет смысл, определим из выражения

$$\operatorname{tg} \gamma = f(R+1), \quad (2.188)$$

где  $f$  — коэффициент трения семени о сталь;

$R$  — коэффициент восстановления семени после удара о стальную поверхность.

В нашем случае

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,3(0,6733 + 1) = 0,5020$$

$$\gamma_{\min} = 26^\circ 40'.$$

Для  $\gamma < \gamma_{\min}$  уравнение (2.183) примет вид

$$x_2 = \frac{\left( \left( \sqrt{v_1^2 R^2 \cos^2 \gamma + v_1^2 \sin^2 \gamma} \right) - v_1 \right) \cos \theta t_2^2}{2} + \left( \frac{g t_2^2}{2} - \frac{\left( \left( \sqrt{v_1^2 R^2 \cos^2 \gamma + v_1^2 \sin^2 \gamma} \right) - v_1 \right) \sin \theta t_2^2}{2} - h_2 \right) C \operatorname{tg} \theta \quad (2.189)$$

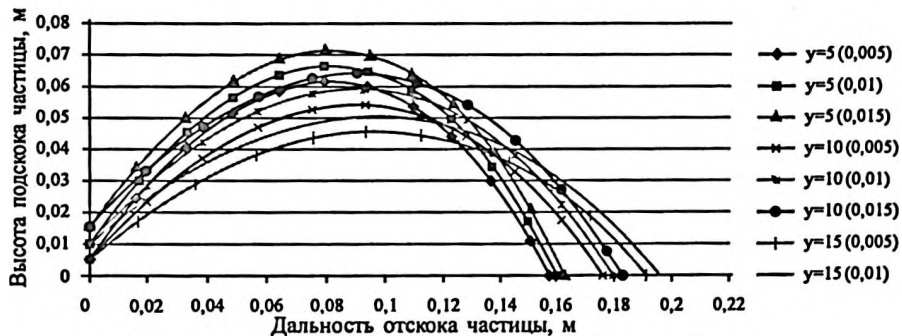
Так как при  $\gamma = \frac{\pi}{2}$ ;  $\operatorname{tg} \gamma = 0$ .

Определив предел для  $x = f(\gamma)$  при  $\gamma \Rightarrow \frac{\pi}{2}$ , получим

$$\lim_{\gamma \Rightarrow \frac{\pi}{2}} f(\gamma) = 0.$$

Таким образом, при  $\gamma \Rightarrow \frac{\pi}{2}$  дальность полёта  $x$  частицы стремится к нулю. Отсюда следует, что при вертикально установленной плоскости рассеивания частиц не происходит.

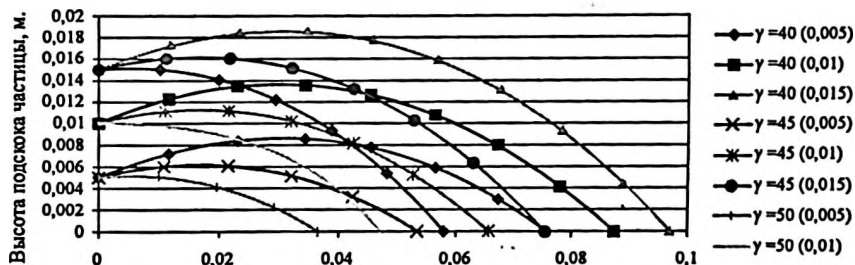
Траектории движения семян сои после удара при  $\gamma < \gamma_{min}$ , рассчитанные по формуле (2.189) представлены на рисунке 2.41.



*Рис. 2.41. Схема к обоснованию траектории движения семян после удара при  $\gamma < \gamma_{min}$*

Траектории движения семян сои после удара при  $\gamma > \gamma_{min}$  рассчитаны по формуле (2.187) и представлены на рисунке 2.42.

Исходными требованиями на сошник для широкополосного посева сои установлено расстояние от плоскости резания стрельчатой лапы до пластины сошника равным 0,02 м.



*Рис. 2.42. Схема обоснования траектории движения семян после удара при  $\gamma < \gamma_{min}$*

Исходя из анализа полученных траекторий, следует, что оптимальный, удовлетворяющий требованиям угол наклона плоскости вставки относительно пластины распределителя, должен находиться в пределах  $45 \pm 5^\circ$ .

Для обоснования скорости семени в момент падения на пластину  $v_3$ , траектории движения и зависимости расстояния пройденного семенем  $X_3$  от угла наклона пластины распределителя  $\alpha$ , рассмотрено движение на участке  $CD$  (рис. 2.43). Примем, что в начальный момент движения вектор скорости ортогонален направлению линии наибольшего ската.

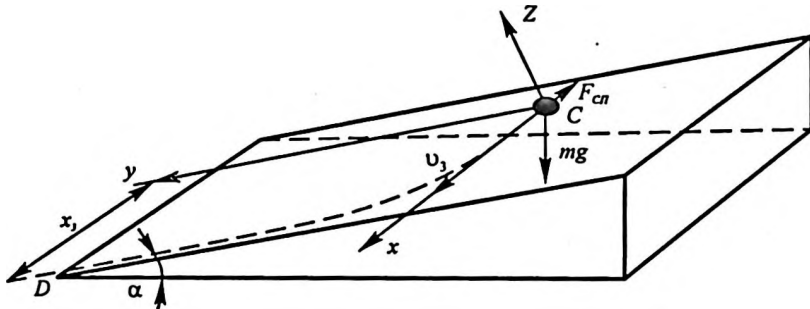


Рис. 2.43. Схема движения семени по поверхности пластины распределителя семян на участке  $CD$

Пролетев расстояние  $X_2$ , семя сои (материальная точка) падает на пластину, наклонённую под углом  $\alpha$  к почвенному ложу, в точке  $C$  и продолжает движение со скоростью  $v_3$ . Во время движения по пластине описывает некоторую траекторию  $CD$ , проходя при этом расстояние  $X_3$ .

Скорость  $v_3$  определим из следующего выражения

$$v_3 = \sqrt{x_c^2 + y_c^2} . \quad (2.190)$$

Подставив значения уравнений (2.178) и (2.132), получим

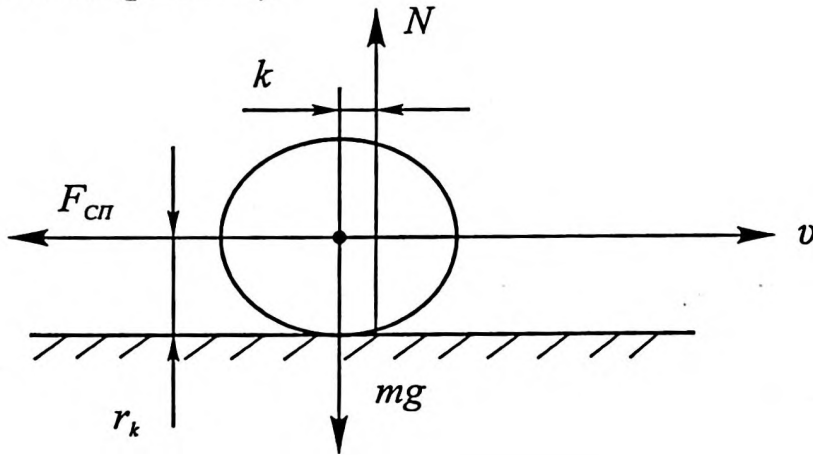
$$v_3 = \sqrt{\left( \frac{(v_2 - v_1) \cos \theta t_2}{t'} \right)^2 + \left( -gt_2 + \frac{(v_2 - v_1) \sin \theta t_2}{t'} + v_2 \sin \theta \right)^2} \quad (2.191)$$

Рассмотрим силы, действующие на семя при движении по ровной стальной поверхности (рис. 2.44)

Из курса теоретической механики (Бать М. И., 1990) известно

$$F_{сп} = \frac{N \cdot k}{r_k} \quad (2.192)$$

Рассмотрим движение семени сои по плоскости пластины распределителя (рис. 2.44).



**Рис. 2.44.** Схема силы, действующих на семя (материальную точку) при перекатывании по ровной стальной поверхности где  $v$  – скорость движения;  $N$  – реакция опоры;  $k$  – коэффициент трения качения;  $r_k$  – радиус семени;  $F_{сп}$  – сила сопротивления перекатыванию;  $mg = P$  – вес тела

Спроецировав движение на оси координат, получим

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= -F_{сп}; \\ m\ddot{y} &= -mg \cdot \sin \alpha; \\ m\ddot{z} &= -mg \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.193)$$

где  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$  – проекции ускорения на оси  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно. Сократив массу  $m$  из уравнения (2.193) и представив в виде

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt}; \ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt}, \text{ имеем}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\dot{x}}{dt} &= -F_{cn}; \\ \frac{d\dot{y}}{dt} &= -mg \cdot \sin \alpha; \\ \frac{d\dot{z}}{dt} &= -mg \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.194)$$

Разделив переменные, затем проинтегрировав их, получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= -\frac{F_{cn}}{m}t_3 + C_1; \\ \dot{y} &= gt_3 \cdot \sin \alpha + C_2; \\ \dot{z} &= -gt_3 \cdot \cos \alpha + C_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.195)$$

где  $\dot{x}$  и  $\dot{y}$  – проекции скорости на оси  $x$  и  $y$ ;  
 $C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определим, исходя из начальных условий в момент времени  $t = 0$ . Отсюда  $C_1 = v_3$ ;  $C_2 = 0$ ;  $C_3 = 0$ .

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= -\frac{F_{cn}}{m}t_3 + v_3; \\ \dot{y} &= gt_3 \cdot \sin \alpha; \\ \dot{z} &= -gt_3 \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.196)$$

Представив  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ ,  $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$ , получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -\frac{F_{cn}}{m}t_3 + v_3; \\ \frac{dy}{dt} &= gt_3 \cdot \sin \alpha; \\ \frac{dz}{dt} &= -gt_3 \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.197)$$

Разделив переменные, а затем проинтегрировав их, получим

$$\left. \begin{aligned} x &= -\frac{F_{\text{сн}}}{2m} t_3^2 + v_3 t_3 + C_4; \\ y &= \frac{g t_3^2}{2} \cdot \sin \alpha + C_5; \\ z &= -\frac{g t_3^2}{2} \cdot \cos \alpha + C_6. \end{aligned} \right\} \quad (2.198)$$

где  $C_3$  и  $C_4$  – постоянные интегрирования.

Для определения  $C_3$  и  $C_4$  используем начальные условия при  $t_2 = 0, x = 0, y = h_2$ . Таким образом  $C_4 = 0, C_5 = 0; C_6 = 0$ .

Отсюда уравнение (2.198) примет вид

$$\left. \begin{aligned} x &= -\frac{F_{\text{сн}}}{2m} t_3^2 + v_3 t_3; \\ y &= \frac{g t_3^2}{2} \cdot \sin \alpha; \\ z &= -\frac{g t_3^2}{2} \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.199)$$

Таким образом, система уравнений (2.199) описывает движение семени сои по наклонной плоскости.

Найдём значения координату  $y$  и  $z$  в момент встречи семени с почвой (рис. 2.45).

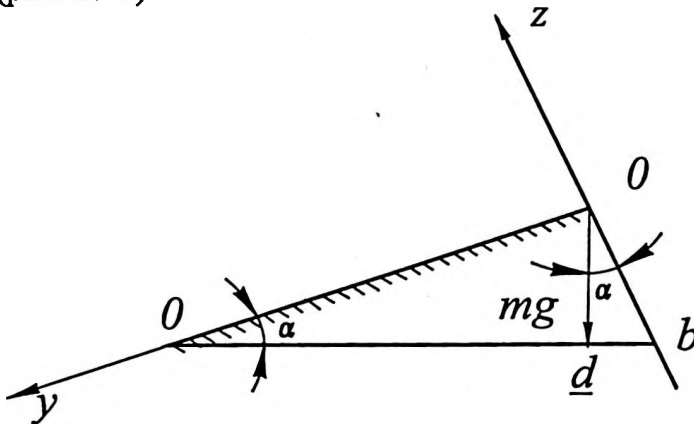


Рис. 2.45. Схема определения координат  $y$  и  $z$

Примем линию наибольшего ската  $a_o=0,025\text{м.}$ , угол наклона пластины распределителя  $\alpha = 35^\circ$ , тогда

$$od = a_o \cdot \sin \alpha, \text{ а } ob = \frac{od}{\cos \alpha}. \quad (2.200)$$

отсюда

$$od = 0,025 \cdot \sin 35 = 0,014\text{ м}, \text{ а } ob = \frac{0,014}{\cos 35} = 0,024\text{ м}.$$

Таким образом, при значениях  $y = 0,014$  и  $z = -0,024$  семя сои достигнет поверхности почвы.

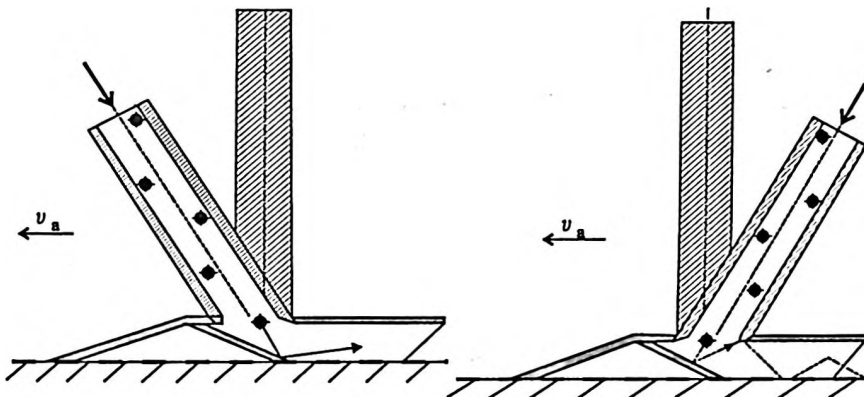
Следовательно,  $X_{\text{теор}}$  для  $h_2$  0,005; 0,01; 0,015 м соответственно равны 0,108; 0,118; 0,125 м, или изменяется от 0,10 до 0,12 м. Ширина полосы посева семян ( $B$ ) должна изменяться от 0,20 до 0,22 м. Однако, ввиду особенностей агротехники культуры, конструкцией сошника ширина полосы посева семян была ограничена подсошниковым пространством, обеспечивающим ширину полосы 0,18...0,22 м.

На основе опытных данных принята конструкция распределителя семян для равномерного посева семян, которая обеспечивает площадь питания каждому семени не менее  $0,0225 \text{ м}^2$  площади.

Отличительными признаками предложенного сошника по сравнению с известными является то, что:

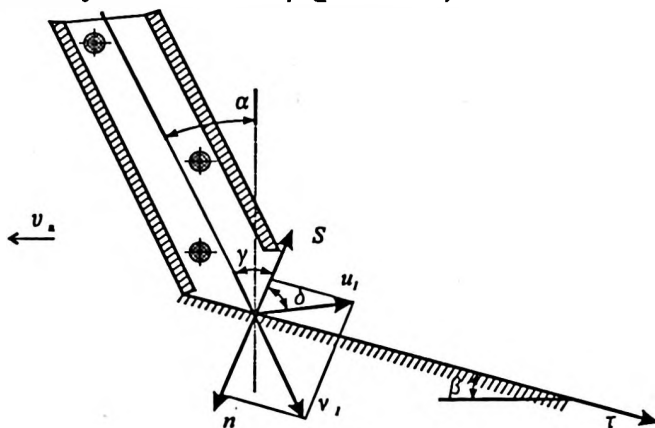
- семяпровод обеспечивает попадание семян на пластину распределителя по касательной, чем обеспечивается целостность семени после его контакта с препятствием;
- семена после контакта с пластиной распределителя имеют направления движения непосредственно для выхода их на полосу.

При угле наклона семяпровода по отношению к пластине распределителя, менее  $90^\circ$  вектор скорости движения семени направлен в сторону движения сошника, в идеальном случае угол падения равен углу отражения. Так происходит движение семян в подсошниковой полости, отрицательно влияющее на качественные показатели заделки семян по глубине и ширине полосы (рис. 2.46).



*Рис. 2.46. Схема анализа движения семян в полости сошника*

Рассмотрим удар семени сои о поверхность пластины распределителя в случае, когда скорость семени образует с нормалью к поверхности угол падения  $\gamma$  (рис. 2.47).



*Рис. 2.47. Схема анализа движения семян при попадании на пластину распределителя*

Спроектируем вектор скорости  $\vec{v}_i$  на нормаль и касательную в этой плоскости. При отсутствии трения реакция поверхности направлена по нормали и её проекция на ось  $\tau$  равна нулю. На основании теоремы о проекции количества движения (Buchner W., 1986).

$$mu_{1r} - mv_{1r} = 0, \quad (2.201)$$

где  $m$  – масса семени;

$u_{1r}$  – скорость центра тяжести семени в конце удара;

$v/\tau$  – скорость центра тяжести в начале удара.

Изменение нормальной составляющей скорости при ударе происходит согласно формуле  $\vec{u}_1$  и  $\vec{v}_1$

$$R = \frac{|u_n|}{|v_n|}, \quad (2.202)$$

где  $|u_n|$  и  $|v_n|$  – абсолютные значения проекций скоростей, определим скорость;

$R$  – коэффициент восстановления семени после удара о пластину распределителя.

Модуль скорости семени после удара о пластину распределителя семян определим из следующего выражения

$$u_1 = \sqrt{u_{1r}^2 + v_{1r}^2} = \sqrt{v_{1r}^2 + R^2 v_{1n}^2} = \sqrt{(v_1 \cdot \sin(90^\circ - \gamma))^2 + (R \cdot v_1 \cdot \cos \gamma)^2}, \quad (2.203)$$

отсюда

$$u_1 = v_1 \sqrt{\sin^2(90^\circ - \gamma) + R^2 \cdot \cos^2 \gamma}. \quad (2.204)$$

Подставив в выражение (2.204)  $\gamma = 90^\circ - (90^\circ - \alpha - \beta) = \alpha + \beta$ , получим

$$u_1 = v_1 \sqrt{\sin^2(90^\circ - (\alpha + \beta)) + R^2 \cdot \cos^2(\alpha + \beta)}. \quad (2.205)$$

Скорость  $v_1$  определяется по формуле

$$v_1 = \frac{gt}{\mu}, \quad (2.206)$$

где  $\mu = (1,05...1,15)$  – коэффициент, учитывающий все силы, препятствующие передвижению семян по семяпроводу;

$t$  – время падения семени сои, м.

Время падения семян сои определяется из выражения

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}, \quad (2.207)$$

где  $H$  – высота падения частицы, м;

$g$  – ускорение свободного падения семени сои, м/с<sup>2</sup>.

Окончательно уравнение 2.205 примет вид

$$u_1 = \frac{\sqrt{2Hg(\sin^2(90^\circ - (\alpha + \beta)) + R^2 \cdot \cos^2(\alpha + \beta))}}{\mu}, \quad (2.208)$$

где  $h$  – высота падения семян (расстояние от катушки до пластины распределителя по вертикали;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий препятствия передвижению семян по семяпроводу;  $R$  – коэффициент восстановления семени после удара о пластину распределителя.

Связь между углом падения и углом отражения описывается следующим выражением (Buchner W., 1986).

$$\text{tg}(90^\circ - \delta) = \frac{1}{R} \text{tg}(90 - \gamma), \quad (2.209)$$

где  $R$  – коэффициент восстановления семени после удара о пластину распределителя.

## 2.7. Обоснование параметров бороны с пружинно-пальцевыми зубьями

В принятой нами для исследования системе процесс боронования характеризуется прежде всего как процесс рыхления субстрата, с целью активации ВВТ режима с одновременным разрушением уже имеющихся там частиц БУМК, а также находящихся там корней сорняков (рис. 2.48).

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

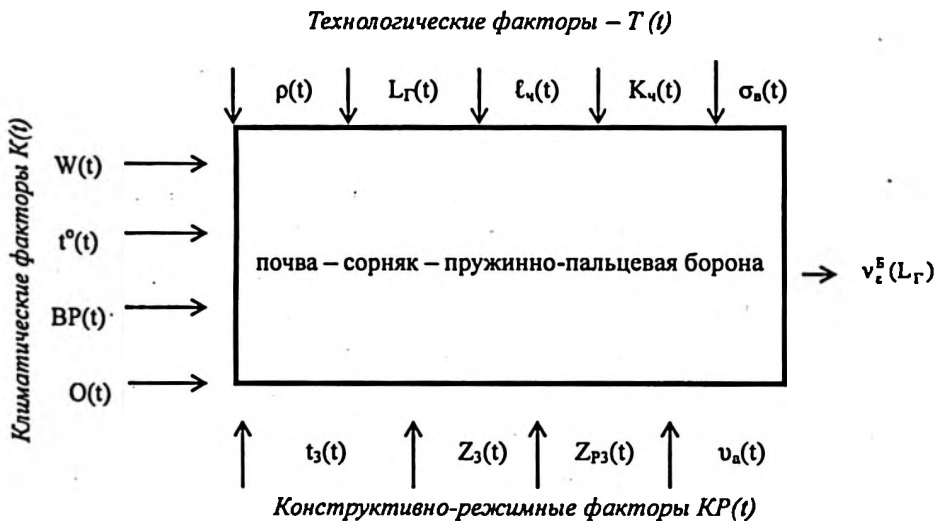
$$v_e^B = f(W_{II}; \rho_{n+2}; \rho_{n+3}; d_3; v_a; \dots) \rightarrow opt \quad (2.210)$$

где  $W_{II}$  – влажность почвы;

$\rho_{n+2}; \rho_{n+3}$  – плотность субстрата (почвы) до и после обработки;

$d_3$  – диаметр пружинно-пальцевого зуба бороны;

$v_a$  – скорость агрегата.



**Рис. 2.48.** Формализованная модель взаимодействия элементов системы почва → сорняк → пружинно-пальцевая борона

Для данного процесса справедливо следующее уравнение баланса

$$\frac{V_{n+2} \cdot \rho_{n+2} \cdot B \cdot L_G}{S_8 \cdot T_a} = \frac{\varepsilon_B \cdot \varepsilon_{II} \cdot V_{n+3} \cdot \rho_{n+3} \cdot v_a \cdot t_3 \cdot Z_3 \cdot Z_{P3}}{S_8}, \quad (2.211)$$

где  $V_{n+2}$ ;  $V_{n+3}$  – объемы разрыхляемого (разрушаемого) субстрата;

$B$  – ширина агрегата;

$L_G$  – длина гона;

$S_8$  – обрабатываемая площадь;

$T_a$  – время работы;

$t_3$  – шаг установки зубьев бороны;

$Z_3$  – число зубьев бороны;

$Z_{P3}$  – число рядов зубьев;

$\varepsilon_B$ ,  $\varepsilon_{II}$  – степень рыхления почвы при бороновании и посеве.

Решение данного уравнения относительно скорости движения агрегата дает следующее выражение

$$v_a = \frac{V_{n+2} \cdot \rho_{n+2} \cdot B \cdot L_G}{\varepsilon_B \cdot V_{n+3} \cdot \rho_{n+3} \cdot t_3 \cdot Z_3 \cdot Z_{P3}} \leq [v_a], \quad (2.212)$$

где  $[v_a]$  – допустимая скорость движения агрегата.

### **Обоснование параметров пружинно-пальцевой бороны**

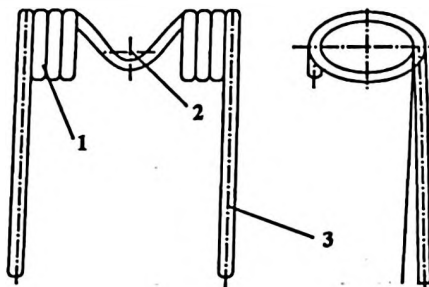
Несмотря на различия технологических процессов, производимых почвообрабатывающими машинами, предназначенными для основной, предпосевной и послепосевной обработки почвы, расчетные модели этих машин как динамических систем имеют много общего. При обосновании параметров пружинно-пальцевой бороны (ППБ) (рис. 2.49) использованы данные, изложенные в научных работах и опытах (Чепурин А. С., 1998; Челецкая Г. А., 1980; Черепанов Г. Г., 1987).

Известно, что боронование – это прием обработки почвы устройством, обеспечивающим крошение, рыхление и выравнивание поверхности поля, а также уничтожение проростков, всходов сорняков и сохранение влаги в почве. Его применяют в системе предпосевной обработки почвы или по уходу за посевами культур, парами, пастбищами и многолетними травами.

В результате боронования в верхнем слое почвы нарушаются капиллярные связи, создается мульчирующий слой, который защищает почву от испарения из нее влаги и дает возможность почве приобретать воду из воздуха.

В кинематическом отношении зубья бороны представляют собой колеблющиеся стержни, закрепленные на одной оси.

Зубья в процессе работы участвуют одновременно во вращательном, за счет изгиба зубьев от сопротивления о почву (с угловой скоростью  $\omega$ ) и поступательном (со скоростью  $v$ ) движениях.



**Рис. 2.49. Общий вид спаренных зубьев бороны:**

*1 – пружина кручения; 2 – место крепления спаренных зубьев; 3 – стержень зуба.*

Рассмотрим случай, когда зуб установлен вертикально. В этом случае угол атаки зуба  $\beta_1=90^\circ$ , а угол наклона оси вращения к горизонтали  $\beta_2=0$ .

Для вывода уравнения движения любой точки зуба расположим его в системе координат  $XOY$  так, чтобы центр координатных осей проходил через верхнюю точку зуба. Тогда уравнения для случая, когда зуб (точка  $O$ ) перемещается по ходу часовой стрелки, запишутся со следующими допущениями:

- зуб совершает вынужденные колебания вдоль оси  $X$  под действием силы упругости  $\bar{F}$  и возмущающей силы  $\bar{S}$ .
- колебания происходят относительно точки крепления зуба (рис. 2.50)

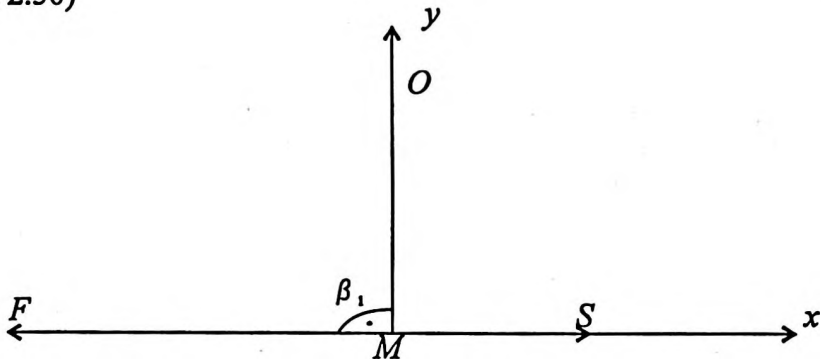


Рис. 2.50. Схема к выводу уравнения движения точки зуба

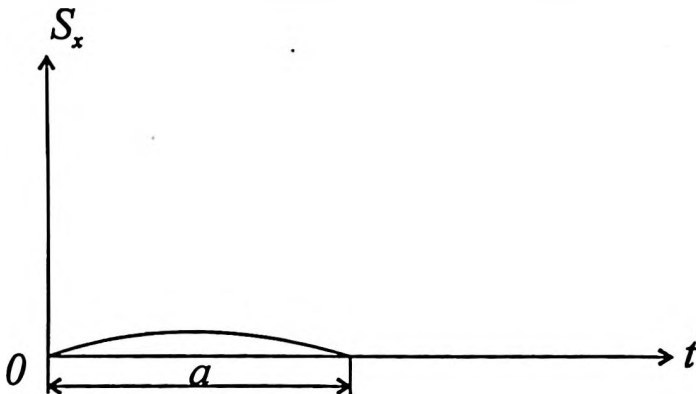


Рис. 2.51. Схема к определению проекции силы и времени

Проекция сил  $\bar{F}$  и  $\bar{S}$  на ось  $X$  равны:  $F_x = -cx$ ; где  $c$  – коэффициент упругости;  $S_x$  – проекция силы, необходимой для разбивания комка:  $S_x = at - t^2$ , где  $a$  – постоянная.

Запишем дифференциальное уравнение в проекции на ось  $x$  в течение промежутка времени ( $t$ ):  $0 < t < a$

$$m\ddot{x} = F_x + S_x$$

Используя выражение для  $F_x$  и имеем:  $\ddot{x} + k^2x = \frac{1}{m} f(t)$ . (2.213)

где  $k^2 = \frac{c}{m}$ ;  $f(t) = \begin{cases} at - t^2, & \text{при } 0 \leq t \leq a \\ 0, & \text{при } t \geq a \end{cases}$ . (2.214)

При  $t > a$  возмущающая сила отсутствует.

Начальные условия движения точки  $M$ :

при  $t = 0$ ;  $x = 0$ ;  $\dot{x} = 0$ . (2.215)

Общее решение уравнения (2.213) имеет вид:  $x = x_1 + x_2$ ; где  $x_1$  – общее решение соответствующего однородного уравнения, т. е.  $x_1 = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt$ ; а  $x_2$  – частное решение неоднородного уравнения. Однако при производном законе изменения возмущающей силы  $S = f(t)$  отыскание частного решения дифференциального уравнения (2.213) подбором представляет значительные трудности.

Применим для решения этой задачи метод вариации производных постоянных. Ищем решение уравнения (2.213) в виде:

$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt \quad (2.216)$$

аналогично общему решению однородного уравнения. Однако теперь будем считать  $C_1$  и  $C_2$  некоторыми функциями времени, подлежащими последующему определению. Так как вместо одной неизвестной функции ввели две, то имеем право наложить на  $C_1$  и  $C_2$  дополнительное условие. Вычислим предварительно  $\dot{x}$ , воспользовавшись формулой (2.216).

Получим:  $\dot{x} = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt + \dot{C}_1 \cos kt + \dot{C}_2 \sin kt$ . (2.217)

В качестве дополнительного условия для упрощения возьмем:

$$\dot{C}_1 \cos kt + \dot{C}_2 \sin kt = 0 \quad (2.218)$$

Тогда формула (2.217) примет вид:

$$\dot{x} = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt \quad (2.219)$$

Вычислим вторую производную  $x$ :

$$\ddot{x} = -C_1 k^2 \cos kt - C_2 k^2 \sin kt - \dot{C}_1 k \sin kt + \dot{C}_2 k \cos kt \quad (2.220)$$

Подставив  $x$  из формулы (2.216) и  $\ddot{x}$  из формулы (2.220) в дифференциальное уравнение (2.213), получим второе соотношение, связывающее функции  $C_1$  и  $C_2$ :

$$-\dot{C}_1 k \sin kt + \dot{C}_2 k \cos kt = \frac{1}{m} f(t). \quad (2.221)$$

Решив систему уравнений (2.219) и (2.221) относительно  $\dot{C}_1$  и  $\dot{C}_2$ , находим:

$\dot{C}_1 = -\frac{1}{km} f(t) \sin kt$ ;  $\dot{C}_2 = \frac{1}{km} f(t) \cos kt$ , т. к. производная от определенного интеграла с переменным верхним пределом равна подинтегральной функции от верхнего предела. Тогда  $C_1$  и  $C_2$  можно записать в виде определенного интеграла с переменным верхним пределом:

$$C_1 = -\frac{1}{km} \int_0^t f(\tau) \sin k\tau d\tau + \bar{C}_1;$$

$$C_2 = \frac{1}{m} \int_0^t f(\tau) \cos k\tau d\tau + \bar{C}_2.$$

Подставив эти значения функции  $C_1$  и  $C_2$  в уравнение (2.216), получим:

$$\begin{aligned} x = & \bar{C}_1 \cos kt + \bar{C}_2 \sin kt - \frac{1}{km} \cos kt \int_0^t f(\tau) \sin k\tau d\tau + \\ & + \frac{1}{mk} \sin kt \int_0^t f(\tau) \cos k\tau d\tau \end{aligned} \quad (2.222)$$

или, применив формулу тригонометрии, получим:

$$x = \bar{C}_1 \cos kt + \bar{C}_2 \sin kt + \frac{1}{km} \int_0^t f(\tau) \sin k(t - \tau) d\tau \quad (2.223)$$

Для определения постоянных интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  вычислим:

$$\dot{x} = -\bar{C}_1 k \sin kt + \bar{C}_2 + \frac{1}{m_0} \int_0^t f(\tau) \cos k(t - \tau) d\tau. \quad (2.224)$$

Подставив в (2.223)  $t = 0$ ;  $x = x_0$ , а в (2.224)  $t = 0$ ;  $\dot{x} = \dot{x}_0$ , имеем:

$$\bar{C}_1 = x_0; \bar{C}_2 = \frac{\dot{x}_0}{k}.$$

Внеся значения постоянных интегрирования  $\bar{C}_1$  и  $\bar{C}_2$  в уравнение (2.223), получим уравнение движения зуба:

$$x = x_0 \cos kt + \frac{\dot{x}_0}{k} \sin kt + \frac{1}{km_0} \int_0^t f(\tau) \sin k(t - \tau) d\tau. \quad (2.225)$$

Первые два слагаемых формулы (2.225):  $x_0 \cos kt + \frac{\dot{x}_0}{k} \sin kt$  определяют колебание зуба, которые он совершает при отсутствии возмущающей силы  $S = f(t)$ . Последнее слагаемое этого уравнения определяет колебание зуба с частотой свободных колебаний, вызванных возмущающей силой, а так же вынужденные движения зуба под действием возмущающей силы  $S = f(t)$ .

Приняв во внимание (2.214), имеем:

$$x = \frac{1}{km_0} \int_0^t (a\tau - \tau^2) \sin k(t - \tau) d\tau. \quad (2.226)$$

Воспользовавшись интегрированием по частям, получим:

$$x = \frac{1}{k^2 m} \left[ (a\tau - \tau^2) \cos k(t - \tau) + \frac{a - 2\tau}{k} \sin k(t - \tau) + \frac{2}{k^2} \cos k(t - \tau) \right]_0^t, \quad (2.227)$$

$$\text{т. е. } x = \frac{1}{k^2 m} \left[ \frac{2}{k^2} (1 - \cos kt) - \frac{a}{k} \sin kt + at - t^2 \right] \quad (2.228)$$

Данное уравнение описывает вынужденные колебания зуба в интервале времени  $0 \leq t \leq \alpha$ .

Оно справедливо для всех значений  $t > 0$ , поэтому уравнение колебаний зуба по окончании действия возмущающей силы  $\bar{S}$  можно непосредственно найти из формулы (2.220). Для этого разобьем

промежуток интегрирования  $[0, t]$  на два промежутка  $[0, \alpha]$  и  $[\alpha, t]$ .

$$x = \frac{1}{km} \int_0^t (\alpha - \tau^2) \sin k(t - \tau) d\tau = \frac{1}{km} \int_0^\alpha (\alpha - \tau^2) \sin k(t - \tau) d\tau + \\ + \frac{1}{km} \int_\alpha^t (\alpha - \tau^2) \sin k(t - \tau) d\tau \quad (2.229)$$

На основании выражения (2.214), при  $t > \alpha$  функция  $\alpha t - \tau^2 = 0$ , поэтому второй интеграл обращается в нуль и формула (2.229) принимает вид:

$$x = \frac{1}{km} \int_0^\alpha (\alpha - \tau^2) \sin k(t - \tau) d\tau. \quad (2.230)$$

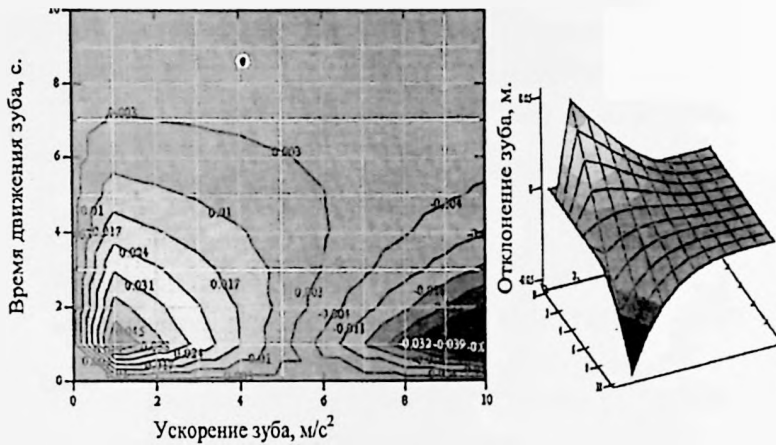
Выражения (2.226) и (2.230) тождественны и отличаются только верхними пределами интегрирования. Поэтому, заменив в формуле (2.227) верхний предел интегрирования  $t$  на  $\alpha$ , получим:

$$x = \frac{1}{k^2 m} \left[ -a \sin k(t - a) + \frac{2}{k} \cos(t - a) - a \sin kt - \frac{2}{k} \cos kt \right]. \quad (2.231)$$

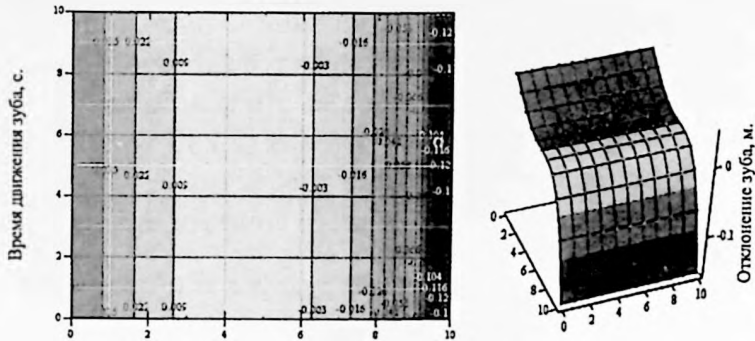
Вычислив синусы и косинусы разностей  $k(t - \alpha)$  и собрав члены, содержащие  $\sin kt$  и  $\cos kt$ , заменим искомое уравнение свободных колебаний зуба по окончании действия возмущающей силы, т. е.  $t \geq \alpha$ , в виде:

$$x = \frac{1}{k^2 m} \left\{ \left[ \frac{2}{k} \sin k\alpha - \alpha(1 + \cos k\alpha) \right] \sin kt - \right. \\ \left. - \left[ \frac{2}{k} (1 - \cos k\alpha) - \alpha \sin k\alpha \right] \cos kt \right\}. \quad (2.232)$$

Вынужденные колебания зуба при  $0 \leq t \leq \alpha$  (момент разрушения комка) описываются уравнением (2.228) (рис. 2.51), а свободные колебания точки (момент движения между комками) – уравнением (2.232) (2.52) (рис. 2.52 и 2.53.).



**Рис. 2.52.** К обоснованию параметров вынужденных колебаний зуба при  $0 \leq t \leq \alpha$  (момент разрушения комка)



**Рис. 2.53.** К обоснованию параметров свободных колебаний точки зуба при  $t \geq \alpha$  (момент движения между комкам)

Функциональный этап начинается с углубления зуба в почву, что приводит к его деформации и накоплению потенциальной энергии. Разрыхляя грунт при движении, зуб преодолевает сопротивление перемещению в среде, характеризующейся сухим и вязким трением:

$$R = R_C + R_b. \quad (2.233)$$

Сила сухого трения направлена против движения зуба и характеризуется определенным устойчивым значением  $R_C$  (Н). Сила

вязкого трения зависит от скорости перемещения зуба и направлена против движения:

$$R_b = k_b \cdot v_a, \quad (2.234)$$

где  $k_b$  – коэффициент вязкого трения (Н·с/м),  $v_a$  – скорость движения зуба (м/с), определяемая по выражению (2.225).

Характеристики  $R_c$ ,  $k_b$  определяются экспериментально. Кроме того, деформированный усилием  $R$  зуб при движении может попасть на участки с уменьшенным сопротивлением перемещению (в таком случае накопленная потенциальная энергия деформации высвободится) или, столкнувшись с растением, получить дополнительное сопротивление (в данном случае прирост деформации приведет к вырыванию растения). Рост или уменьшение сопротивлений на зуб при движении на отдельных промежутках траектории создает в системе «зуб–почва–растение» автоколебания. Однако, статистически – вероятностный характер вышеупомянутых факторов позволяет лишь экспериментальным путем исследовать эти колебания.

Следовательно, кроме сопротивления (2.233), определяя жесткость упругой системы, необходимо учесть также усилия удаления растений сорняков  $R_c$ , т. е. для общего сопротивления перемещению зуба получим:

$$R_x = R + R_c. \quad (2.235)$$

Важно, чтобы жесткость пружинного зуба обеспечила возникновение усилия  $R_x$  при незначительных деформациях, причем рассматривать приближенно усилия  $R_x$  необходимо как квазистатические (силы инерции отсутствуют  $v = const$ ).

Этап разгрузки (выглубления из почвы) характеризуется высвобождением потенциальной энергии деформации и возникновением свободных колебаний, которые положительно влияют на процесс очистки зуба от растительных остатков и налипших частиц грунта.

### *Разработка модели процесса удаления растений*

Зуб бороны работает в естественной системе «растение – корешок – почва». Под термином «растение» подразумевается стебель

разнообразных растений – культурных, например, сои, и всходы сорняков. При движении в этой системе тонкого стержня – назовем его зубом, происходит следующее. Почва разрыхляется, а на корни зуб действует следующим образом:

а) вырывает те растения, которые попали непосредственно в зону действия зуба;

б) обрывает корешки тех растений, которые попали в зону деформации грунта от зуба и не оказывают значительного сопротивления этой деформации;

в) не затрагивает те растения, которые остались вне зоны деформации грунта от зуба.

Чтобы обеспечить выборочное удаление всходов растений, необходимо выявить различия между свойствами растений и их корешков в почве, установить меру этих различий и согласно этой мере наделить зуб необходимым уровнем упругости (Божидарник В. В., 1994).

Таким образом, в названную естественную систему добавляется пружинный зуб с соответствующим уровнем упругости, в результате чего естественно-техническая система приобретет следующий вид: «пружинный зуб – растение – корешок – грунт». Такая система приобретает способность реализовать выборочное удаление растений. Предпосылкой избирательности являются различия между стеблями и корешками всходов сои и сорняков (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Средняя величина усилий вырывания из почвы всходов сои и сорняков, а также разрыва их корешков**

Название растения	Стадия всходов	При динамическом приложении усилия		Величина усилия разрыва корешка, Н
		угол подъема груза, град	величина усилия выравнивания, Н	
Соя	первая пара листьев	49	4,8	4,2
Куриное просо	одна-две пары листков	28	2,7	1,0
Лебеда	два-четыре листа	19	1,9	0,8

Эквивалентная схема пружинного зуба представлена на рис. 2.54. Он представляет собой сравнительно тонкий упругий вертикальный стержень, верхняя часть которого уходит в виток пружины, и является продолжением этого стержня, а нижняя часть стержня является рабочей.

Позиция I зуба является исходным положением его, то есть без приложения силы. Позицию II занимает зуб при воздействии на его рабочий участок сил, суммарная проекция которых на ось  $x$  изображена как  $\Sigma P_x$ .

Под действием  $\Sigma P_x$  стержень отклоняется от вертикального положения на некоторое расстояние, которое с достаточной точностью можно считать прямолинейным.

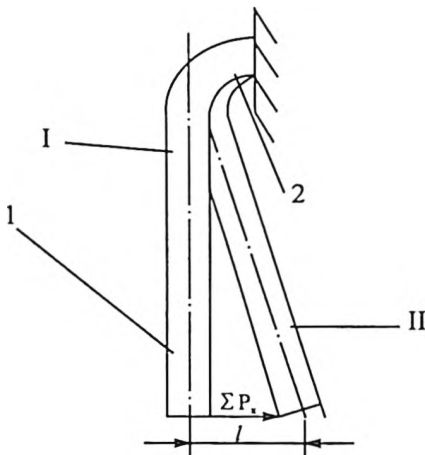


Рис. 2.54. Эквивалентная схема пружинного зуба:  
1 – стержень; 2 – виток пружины

Простейшей формой зуба для разрыхления является стержень с круглым сечением небольшого диаметра. Зуб расположен вертикально или под некоторым углом к горизонтальной плоскости.

При поступательном движении пружинного зуба в почве при сопротивлении почвы и благодаря упругости зуба он отклонится от вертикального положения, и угол  $\beta$  приобретет значение больше  $90^\circ$  (рис. 2.55а). При этом рабочая площадка зуба действует на

долю почвы силой  $R$ , равной геометрической сумме нормальной силы и доли силы трения по площадке. Участок грунта, который попал на площадку, будет втискиваться вниз.

В этом случае реакция почвы  $R'$  препятствует углублению рабочего элемента. Сила  $R'$  имеет две составляющие: силу  $R'_x$ , параллельную оси  $x$ , которая вместе с реакцией комочки почвы с корешками растений  $T'$  определяет тяговое сопротивление зуба, и сумму  $R'_z$ , которая стремится вытолкнуть зуб из почвы.

Поперечное сечение борозды имеет форму трапеции (рис. 2.55 б), основание которой содержится на дне борозды и по размеру равно диаметру зуба, а боковые стороны образуют с горизонтальной плоскостью угол  $\Theta = 30\text{--}60^\circ$ , величина которая зависит от механического состава и влажности почвы.

При  $\beta > 90^\circ$  отделение комочков от монолита происходит путем сдвига.

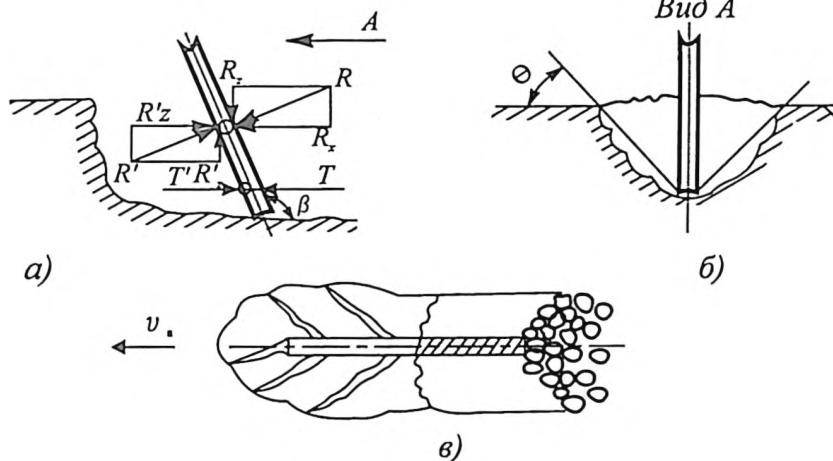


Рис. 2.55. Схема воздействия на почву рыхлительного пружинного зуба

При деформации сдвига комочков почвы растения, корешки обрываются и не могут закрепиться в разрыхленном слое грунта. В связи с этим начинается усиленное увядание, а затем и засыхание листьев и растения в целом.

Чтобы добиться выборочного удаления всходов растений, необходимо обеспечить такое условие: оборвать корешки сорняков и не повредить корешки всходов сои. Это условие, согласно данным проф. М. М. Хелемендика (Хелемендик М. М., 2001) имеет вид:

$$(R'_x + T'_g) < \ell c < (R'_x + T'_p), \quad (2.236)$$

где  $R'_x$  – проекция силы сопротивления грунта на ось  $x$ ;

$T'_g$  – сопротивление сдвигу комочков почвы с корешками сорняков;

$T'_p$  – сопротивление сдвигу комочков почвы с корешками всходов сои;

$\ell$  – величина отклонения зуба в направлении, противоположном его движению под действием сил;

$c$  – суммарная жесткость при изгибе зуба.

Величину силы  $R'_x$ , как правило, определяют динамометрированием. Она возрастает при увеличении ширины  $b$  захвата и глубины  $\alpha$  обработки. Аналитически ее можно определить следующей зависимостью:

$$R'_x = kab, \quad (2.237)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий способность почвы сопротивляться воздействию рабочего органа (т. е. удельное сопротивление).

Сопротивление грунта  $T$  зависит от внутреннего трения грунта, пропорционального нормальной нагрузке и взаимного сцепления частиц грунта.

Сопротивление сдвигу  $T$  почвы подчиняется уравнению Кулона:

$$T = f'F_n + C_m, \quad (2.238)$$

где  $f'$  – коэффициент внутреннего трения грунта (за внутреннее трение принимаем сопротивление движению грунта по грунту);

$F_n$  – сила нормального давления;

$C_m$  – сила сцепления частиц грунта, приходящаяся на единицу площади.

Эта сила зависит от взаимного сцепления его частиц, при оп-

ределенном состоянии почвы и изменяется от величины нормального давления, механического состава, структуры, плотности, влажности почвы.

Кроме того, эта сила зависит от сопротивления разрыву корней растений, содержащихся в почве.

В связи с тем, что сила  $C_m$  зависит от многих факторов, которые можно разделить на две группы, считаем целесообразным разделить эту силу на две составляющие:

$$C = Q_1 + Q_2, \quad (2.239)$$

где  $Q_1$  – сила, необходимая для отрыва и перемещения определенного объема грунта по грунту, примерно равной массе грунта, сдвигаемого зубом при своем действии;

$Q_2$  – сила разрыва корешков растений, находящихся в данном объеме почвы.

Сила  $Q_2$  может быть силой сопротивления разрыву корешков сорняков и в другом случае – силой сопротивления разрыву корешков всходов сои, которые обозначим соответственно  $Q_6$  и  $Q_p$ . Тогда формула (2.238) примет вид:

$$\text{для сорняков} - T_6 = fFn + Q_1 + Q_6, \quad (2.240)$$

$$\text{для сои} - T_p = fFn + Q_1 + Q_p. \quad (2.241)$$

Неравенство (2.236) примет вид:

$$(kab + fFn + Q_1 + Q_6) < lc < (kab + fFn + Q_1 + Q_p). \quad (2.242)$$

Следовательно, необходимо определить суммарную жесткость изгиба пружинного зуба, т.е. жесткость системы «пружина – зуб», исходя из изложенных в (2.242) условиях.

Жесткость оценивается коэффициентом жесткости: коэффициент жесткости есть  $C = P/l$ , где  $P$  – сила, приложенная к системе,  $l$  – максимально допустимое расстояние, на которое конец зуба (рабочий участок) отклоняется от вертикального положения. Проведем расчеты по неравенству (2.242). Значения показателей (Слесарев В. Н., 1996; Цыбань А. А., 2012):

$$k = 0,018, \alpha = 0,04\text{м}, b = 0,006\text{ м}, f' = 0,5, Fn = 9,42\text{ Н}, Q_1 = 5,1\text{ Н}, Q_6 = 1\text{ Н}, Q_p = 4,2\text{ Н}.$$

Получаем неравенство:

$$(4,4 + 4,7 + 5,1 + 1) < \ell c < (4,4 + 4,7 + 5,1 + 4,2)$$

Итак,  $15,2 \text{ Н} < \ell c < 18,4 \text{ Н}$ .

Учитывая, что пружинный зуб является системой стержень – пружина, перемещение конца этой системы для каждой оси будет состоять, согласно методу Мора, из суммы деформаций самого стержня (собственно зуба) и пружины от двух деформаций, а именно деформации изгиба (для стержня и пружины) и кручения (для пружины). То есть, для оси  $OX$  перемещения системы будет иметь вид:

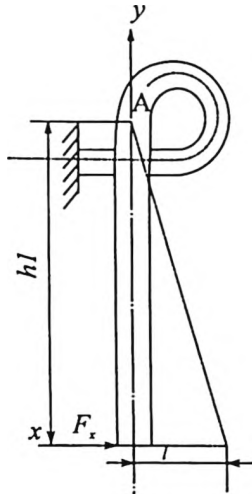
$$\delta_x = \delta^3 + \delta'' + \delta''_{кр}, \quad (2.243)$$

$$\text{или } l = \delta^3 + \delta'' + \delta''_{кр}$$

Приняв, что стержень зуба связан с пружиной в точке А (рис. 2.56) жестко, определим, что изгибающий момент в точке А равен:

$$M = F_x h_1, \quad (2.244)$$

где  $h_1$  – длина стержня зуба.



*Рис. 2.56. Схема системы «зуб-пружина» для аналитического определения перемещения конца зуба*

Степенью изгиба зуба, при приложении нагрузки, может служить кривизна его упругой линии. Радиус кривизны  $R$  упругой

линии для балок любого сечения и имеет такой вид (Беляев Н. М., 1965):

$$R = EJ / M, \quad (2.245)$$

где  $E$  – модуль упругости материала зуба;

$J$  – момент инерции поперечного сечения зуба;

$M$  – изгибающий момент для полного сечения зуба, в нашем случае для конца зуба.

Выражение для радиуса кривизны имеет следующий вид (Пономарёв К. К., 1962):

$$R = 1 / x'' \quad (2.246)$$

На основе формулы (2.245) и (2.246) получаем дифференциальное уравнение упругой линии зуба:

$$\frac{1}{x''} = EJ / M(x), \quad (2.247)$$

или  $x'' = M(x) / EJ$

Произведение модуля упругости  $E$ , который характеризует механические свойства материала зуба, на момент инерции сечения  $J_x$ , характеризующий форму и размеры сечения, является жесткостью зуба на изгиб.

Следовательно, жесткость при изгибе характеризует способность зуба из данного материала, заданных форм, размеров, поперечного сечения сопротивляться действию изгибающего момента.

Формулу (2.247) можно записать следующим образом:

$$d^2 x / dy^2 = F_x y / EJ \quad (2.248)$$

Дважды интегрируя уравнение (2.248) как уравнения типа  $y'' = const$ , соответственно получаем:

$$\begin{aligned} dx / dy &= -F_x y / EJ \int dy = -F_x / EJ \cdot y^2 / 2 + C_1; \\ x &= F_x / EJ \cdot y^3 / 6 + C_1 / 2 \cdot y^2 + C_2. \end{aligned} \quad (2.249)$$

Константы  $C_1$  и  $C_2$  получаем из начальных условий на закрепленном конце зуба (рис. 2.56) при  $y = 0$ ,  $x = 0$ ,  $dx/dy = 0$ , отсюда получаем:

$$0 = C_2, 0 = C_1 \quad (2.250)$$

Система уравнений (2.250) дает следующие значения неизвестных:

$$0 = C_2, 0 = C_1, C_1 = C_2 = 0$$

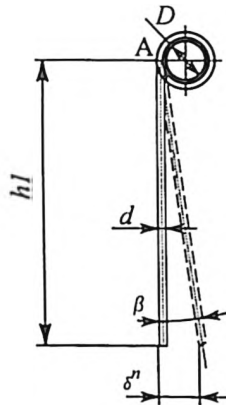
Подставляя значения  $C_1$  и  $C_2$  в уравнение (2.249), получаем уравнение упругой линии зуба:

$$x = Fxy^3 / 6EJ \quad (2.251)$$

Прогибом зуба является абсцисса упругой линии в рассматриваемом сечении. Величину прогиба зуба на конце его получим из уравнения (2.5.10) при  $y = h_1$ :

$$\delta^3 = F_x h_1^3 / 6EJ \quad (2.252)$$

Для определения перемещения конца зуба  $\delta''$  от деформации изгиба пружины и перемещения конца зуба  $\delta''_{кр}$  от деформации кручения пружины воспользуемся классическими методами определения деформации пружины под действием нагрузок сжатия или растяжения пружины. Для этого примем, что пружина под действием нагрузки изгиба одной стороной сжимается, а противоположным – растягивается (рис. 2.57).



*Рис. 2.57. Схема определения перемещения конца зуба под действием деформации изгиба пружины*

Определим прогиб одного витка пружины (в нашем случае сжатие) под действием рабочей нагрузки (Пономарёв С. Д., Андреева Л. Е., 1980):

$$f_2 = C^3 F_x k_2 / 1000 d, \quad (2.253)$$

где  $C$  – индекс пружины,  $C = D_2/d$ ;  $D_2$  – средний диаметр пружины,  $D_2 = D - d$ ;  $d$  – диаметр крутка пружины;  $k_2$  – коэффициент.

Анализируя геометрию пружинно-пальцевого зуба (рис. 2.57), перемещения конца зуба под действием деформации изгиба пружины определим по формуле:

$$\delta^n = h_1 \cdot f_2 n / D_2. \quad (2.254)$$

Определим сжатие под действием деформации кручения витка пружины:

$$f = 64 F_x \left( \frac{D_2}{2} \right)^3 n / G d^4, \quad (2.255)$$

где  $G$  – модуль сдвига.

По аналогии с предыдущим случаем (формула 2.254), перемещение конца зуба под действием деформации кручения пружины определяем по формуле:

$$\delta_{кр}^n = h_1 \cdot f / D_2. \quad (2.256)$$

Принимаем следующие значения соответствующих параметров:

длина зуба –  $h_1 = 0,24$  м, количество витков пружины –  $n = 5$ ,

диаметр пружины –  $D_2 = 0,038$  м, радиус пружины –  $R = \frac{D_2}{2} = 0,019$  м,

сила нагрузки на зуб –  $F_x = 18,4$  Н, модуль упругости –  $E = 2,11 \cdot 10^5$

МПа (ГОСТ 1050-74), момент инерции сечения –  $J = \frac{\pi d^4}{64}$ , диа-

метр зуба –  $d = 0,006$  м.

Выполняем расчеты:  $\delta^3 = 0,002$  м,  $\delta^n = 0,013$  м,  $\delta_{кр}^n = 0,0015$  м.

Следовательно, для оси  $OX$  перемещение конца зуба равно:  $\ell = 0,002 + 0,013 + 0,0015 = 0,0165$  м.

В соответствии с теорией клина (Дьяков В. П., 1988) при движении на зуб бороны действуют нормальная сила  $F_n$  и сила трения  $F_{тр}$ .

Сумма проекций этих сил дает сопротивление  $Q$  почвы перемещению зуба:

$$Q = F_n + F_{mp} . \quad (2.257)$$

$$\text{Здесь } F_{mp} = f_{mp} F_n = F_n \operatorname{tg} \varphi , \quad (2.258)$$

где  $f_{mp}$ ,  $\varphi$  – коэффициент и угол трения почвы о металл.

Коэффициент для разных почв колеблется от 0,25 до 0,90, угол трения от  $14^\circ$  до  $42^\circ$ . Для ориентировочных расчетов принимают  $f_{mp} = 0,5$ , что соответствует  $\varphi = 26^\circ 30'$  (Лурье А. Б. [и др.], 1991).

Нормальная сила  $F_n$  складывается из статической  $F_{nc}$  (сопротивление почвы горизонтальному смятию) и динамической  $F_{nd}$  (обусловлена инерцией почвы) сил:

$$F_n = F_{nc} + F_{nd} . \quad (2.259)$$

Сила  $F_{nc}$  представляет собой сопротивление почвы смятию в горизонтальном направлении, а  $F_{nd}$  – обусловлена инерцией перемещаемой зубом почвы при сообщении ей некоторой скорости.

Статическую нормальную силу можно определить по формуле

$$F_{nc} = qS = qha , \quad (2.260)$$

где  $q$  – удельное давление от сопротивления почвы смятию, которое колеблется в пределах 0,018...0,020, МПа (Фатеев М. Н., 1974);

$S$  – лобовая поверхность зуба, погруженного в почву, м ;

$h$  – глубина хода зуба, 0,04 м;

$\alpha$  – ширина захвата, 0,006 м.

Из этой формулы следует, что статическая нормальная сила, действующая на зуб, зависит от его параметров, глубины хода и свойств почвы.

Динамическая нормальная силы  $F_{nd}$  определяется массой почвы, перемещаемой лобовой поверхностью зуба в единицу времени, которая, в свою очередь зависит от его параметров, глубины хода и скорости движения.

Если запишем, что увеличение нормальной силы на поверхность зуба с повышением скорости движения обусловлено только сообщением живой силы частицам почвы и что последние получают такую же скорость, как частицы, соприкасающиеся с рабочей поверхностью зуба, то величину  $F_{nd}$  можно найти, пользуясь теоремой об изменении количества движения. Уравнение, выра-

жающее закон изменения количества движения перемещаемой лобовой поверхностью зуба почвы массой  $dm$  по направлению перпендикулярному поверхности зуба, имеет вид:

$$F_{nd} dt = (v - v_{no}) dm, \quad (2.261)$$

где  $v$  – скорость зуба бороны;

$v_{no}$  – начальная скорость частиц почвы.

Так как начальная скорость  $v_{no} = 0$ , то уравнение примет вид:

$$F_{nd} = v_n dm / dt. \quad (2.262)$$

Масса почвы, перемещаемой зубом в единицу времени, равна:

$$\frac{dm}{dt} = f_n v \gamma_n / 2, \quad (2.263)$$

где  $f_n = h^2 tg \theta$  – площадь рыхления почвы зубом в сечении, перпендикулярном к направлению движения ( $\theta$  – угол бокового скалывания почвы  $33^\circ$ );  $v$  – скорость движения;  $\gamma_n$  – удельная масса почвы, для среднетяжелосуглинистых почв  $2000 \text{ кг/м}^3$ .

Подставляя значение  $dm/dt$  формулу:

$$F_{nd} = h^2 tg \theta v^2 \gamma_n / 2. \quad (2.264)$$

Фактически абсолютная скорость большинства частиц почвы, перемещаемых зубом, будет меньше, чем скорость частиц, соприкасающихся с рабочей поверхностью зуба. Поэтому равенство запишем в следующем виде:

$$F_{nd} = (h^2 \gamma_n / 2) v^2 \sigma tg \theta, \quad (2.265)$$

где  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий скорость частиц, не соприкасающихся с поверхностью зуба  $0,55 \dots 0,6$  (Лурье А. Б. [и др.], 1991).

С увеличением скорости движения сила  $F_{nd}$  возрастает, а, следовательно, возрастает и сопротивление почвы перемещению зуба.

Подставляя значение  $F_{nc}$  и  $F_{nd}$  в формулу (2.259), а затем в (2.257), получим:

$$Q = (f_{mp} (qha + (h^2 \gamma_n / 2) v^2 \sigma tg \theta) + (qha (h^2 \gamma_n / 2) v^2 \sigma tg \theta)). \quad (2.266)$$

Эта формула справедлива для вертикально установленного зуба, то есть для зуба с углом вхождения  $\alpha = 90^\circ$ .

Как видно из этой формулы, сопротивление почвы перемеще-

нию зуба зависит от его параметров, глубины хода и скорости движения, а также физико-механических свойств почвы, от которых в свою очередь зависят  $q$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  и  $\gamma_n$ .

Подставляя численные значения получим, что при  $h = 0,040$  м в пределах скоростей движения  $v = 1,9...3,2$  м/с расчетное сопротивление почвы перемещению зуба равно  $10...17,3$  Н.

Для определения тягового сопротивления бороны воспользуемся формулой:

$$P = fG + nQ, \quad (2.267)$$

где  $f$  – коэффициент, учитывающий протаскивания бороны массой  $G$ , для колесных опор равен  $0,1... 0,15$ ;

$n$  – количество зубьев бороны;

$Q$  – сопротивление почвы перемещению зуба, Н.

Таким образом, на основании комплексного анализа совокупности факторов, влияющих на биологическое улучшение плодородия почвы в 3-польном звене севооборота предложена зависимость прироста гумуса от наличия исходной биологической массы сидерата. На основе данного подхода обоснована продолжительность биотехнологической трансформации питательных веществ исходной биомассы в питательные вещества почвы, с учетом степени механического разрушения стеблей и степени биологического разрушения получаемых частиц.

С учетом данного подхода разработана экономико-математическая модель оценки технологии и технических средств в системе короткоротационного 3-польного звена севооборота при возделывании сои и зерновых культур.

Обоснованы параметры процесса механического разрушения биологической массы исходного стебельного сырья в системе почва → стебель и корень растения → машина. Получена энергетическая модель данного процесса, учитывающая как исходные характеристики сырья, так и их изменение в процессе биотехнологической трансформации. На основе полученной модели обоснована скорость агрегатирования таких технических средств, как ро-

торное орудие с активным рабочим органом, сеялка-культиватор с лаповым сошником, а также пальцево-пружинная борона, учитывающая их энергетические и конструктивно-режимные параметры.

Рассмотрение процесса возделывания сои и зерновых культур с учетом необходимости активации водно-воздушного и температурного режимов в определенные агротехнические сроки позволило обосновать подходы к разработке оценочных показателей качества процессов измельчения, заделки и получения почвенно-травяного субстрата, посева, боронования и культивации (рыхления) почвы с помощью предложенных технических средств, учитывающие их случайный характер, описываемый случайными корреляционными функциями.

На основании разработанных методологических и технологических подходов аналитически обоснованы конструктивно-режимные параметры предложенных технических средств – роторного орудия с активными рабочими органами, машины многофункциональной универсальной, а также пружинно-пальцевой бороны.

### ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ТРЁХПОЛЬНОМ СЕВООБОРОТЕ

#### 3.1. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию параметров роторного орудия с активным рабочим органом

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

- угловая скорость вращения сферических дисков –  $\omega_g, C^{-1} (x_1)$ ;
- угол атаки –  $\alpha$ , град ( $x_2$ );
- шаг установки дисков –  $t_n$ , м ( $x_3$ ).

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

Факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 3.1, а результаты по 15 опытам – в таблице 3.2.

Таблица 3.1

#### Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Факторы		
	$\omega_g, C^{-1}$	$\alpha$ , град	$t_n$ , м
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхний уровень	220	26	0,25
Основной уровень	200	18	0,20
Нижний уровень	180	10	0,15
Интервал варьирования	20	8	0,05

После реализации данного трёхуровневого плана эксперимента и получения значений критериев оптимизации для соответствующих условий, проведена математическая обработка резуль-

татов, а также регрессионный анализ полученных результатов для  $Y_{1-3} = f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min$  (табл. 3.3-3.5).

Таблица 3.2

**Матрица полного факторного эксперимента  
по обоснованию параметров дискового плуга**

№ п/п	Угловая скорость вращения дисков	Угол атаки	Шаг установки дисков	Критерий оптимизации – $v_p$ , %		
	$\omega_p, C^{-1}$	$\alpha, (x_2),$ град	$t_p, (x_3),$ м	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	-1	-1	+1	12,0	10,0	11,0
2	+1	-1	-1	7,0	7,0	8,0
3	-1	+1	-1	11,0	10,0	9,5
4	+1	+1	+1	7,0	6,0	7,0
5	-1	-1	-1	10,0	9,0	8,0
6	+1	-1	+1	8,0	8,0	9,0
7	-1	+1	+1	9,0	7,0	8,5
8	+1	+1	-1	10,0	9,0	9,0
9	-1,215	0	0	8,0	7,0	7,5
10	+1,215	0	0	7,0	6,5	6,5
11	0	-1,215	0	8,5	6,5	7,0
12	0	+1,215	0	7,0	5,5	6,0
13	0	0	-1,215	8,0	5,5	5,5
14	0	0	+1,215	7,0	6,0	7,0
15	0	0	0	5,0	3,0	4,0

Таблица 3.3

**Регрессионный анализ зависимости  $Y_1 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$**

		Шаг анализа				
		1	2	3	4	5
Кoeffициент модели	$a_0$	5,54934	5,54934	5,54934	5,54934	5,54934
	$a_1$	-1,02397	-1,02397	-1,02397	-1,02397	-1,02397
	$a_2$	-0,16640	-	-	-	-
	$a_3$	-0,29354	-0,29354	-0,29354	-	-
	$a_{12}$	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	-
	$a_{13}$	-0,25000	-0,25000	-	-	-
	$a_{23}$	-1,00000	-1,00000	-1,00000	-1,00000	-1,00000
	$a_{11}$	1,19928	1,19928	1,19928	1,19928	1,19928
	$a_{22}$	1,36863	1,36863	1,36863	1,36863	1,36863
$a_{33}$	1,19928	1,19928	1,19928	1,19928	1,19928	
Стандартное отклонение		2.9263	3.2296	3.7296	4.6733	6.6733
R-корреляция		0,96830	0,96496	0,95942	0,94887	0,92613
F-критерий		7.5138	9.0152	10.129	10.327	9.0423

Таблица 3.4

Регрессионный анализ зависимости  $Y_2 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$ 

		Шаг анализа			
		1	2	3	4
Кoeffициент модели	$a_0$	3,65123	3,65123	3,65123	3,65123
	$a_1$	-0,60329	-0,60329	-0,60329	-0,60329
	$a_2$	-0,29354	-0,29354	-0,29354	-
	$a_3$	-0,30975	-0,30975	-0,30975	-0,30975
	$a_{12}$	0,25000	0,25000	-	-
	$a_{13}$	0,00000	-	-	-
	$a_{23}$	-1,00000	-1,00000	-1,00000	-1,00000
	$a_{11}$	1,95436	1,95436	1,95436	1,95436
	$a_{22}$	1,44631	1,44631	1,44631	1,44631
$a_{33}$	1,27696	1,27696	1,27696	1,27696	
Стандартное отклонение		2.5170	2.5170	3.0170	3.9608
R-корреляция		0,97447	0,97447	0,96932	0,95952
F-критерий		9.4192	12.559	13.606	13.265

Таблица 3.5

Регрессионный анализ зависимости  $Y_3 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$ 

		Шаг анализа		
		1	2	3
Кoeffициент модели	$a_0$	4,27463	4,27463	4,27463
	$a_1$	-0,47615	-0,47615	-0,47615
	$a_2$	-0,29354	-0,29354	-0,29354
	$a_3$	0,25771	0,25771	-
	$a_{12}$	0,00000	-	-
	$a_{13}$	-0,37500	-0,37500	-0,37500
	$a_{23}$	-0,87500	-0,87500	-0,87500
	$a_{11}$	1,78513	1,78513	1,78513
	$a_{22}$	1,44642	1,44642	1,44642
$a_{33}$	1,27707	1,27707	1,27707	
Стандартное отклонение		0.85377	0.85377	1.5811
R-корреляция		0,98989	0,98989	0,98119
F-критерий		24.350	32.467	22.606

Методом пошагового анализа установлены значения стандартного отклонения, коэффициентов корреляции, а также определены расчетное и табличное значения критерия Фишера –  $F_R$  и  $F_T$  (табл. 3.6).

Расчет дисперсий откликов  $Y_{1-3}$ , а также проверка их однород-

ности показали, что дисперсии  $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$  однородны, а дисперсии параллельных опытов сравнимы между собой.

Полученные математические модели представлены в виде следующих уравнений регрессии:

- в кодированном виде:

$$Y_1 = 5,549 - 1,023x_1 + 0,500x_1 * x_2 - 1,000x_1 * x_2 + 1,199x_1^2 + 1,368x_2^2 + 1,199x_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 3,651 - 0,603x_1 - 0,293x_2 - 0,309x_1 - 1,000x_2 * x_3 + 1,954x_1^2 + 1,446x_2^2 + 1,276x_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.2)$$

$$Y_3 = 4,274 - 0,476x_1 - 0,293x_2 - 0,375x_1 * x_3 - 0,875x_2 * x_3 + 1,785x_1^2 + 1,446x_2^2 + 1,277x_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.3)$$

- в раскодированном виде:

$$v_c^T = 164,08 - 1,306\omega_g - 0,894\alpha - 146,88t_n + 0,003\omega_g * \alpha - 2,500\alpha * t_n + 0,0029\omega_g^2 + 0,021\alpha^2 + 479,7t_n^2 \rightarrow \min; \quad (3.4)$$

$$v_c^* = 225,77 - 1,984\omega_g - 0,350\alpha - 165,51t_n - 2,50\alpha * t_n + 0,0048\omega_g^2 + 0,025\alpha^2 + 510,78t_n^2 \rightarrow \min; \quad (3.5)$$

$$v_c^c = 192,06 - 1,733\omega_g - 0,412\alpha - 84,803t_n - 0,375\omega_g t_n - 2,187\alpha * t_n + 0,004\omega_g^2 + 0,022\alpha^2 + 510,83t_n^2 \rightarrow \min. \quad (3.6)$$

Результаты регрессионного анализа данных уравнений представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

**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  $R_1 = 0,969$  и  $P_1 = 0,95$
- для  $Y_3 = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min F_R > F_T = 32,467 > 4,15$  при  $R_1 = 0,989$  и  $P_1 = 0,95$

Для полученных зависимостей  $Y_{1-3} = f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min$  определены области экстремальных значений параметров, которые представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

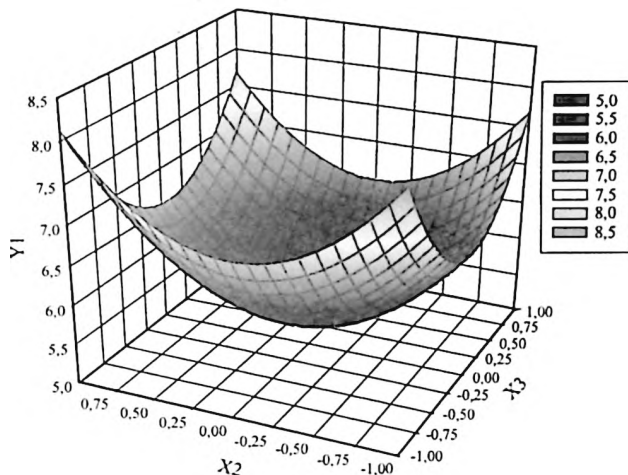
**Области экстремальных значений параметров по изучению процесса получения почвенно-травяного субстрата**

$$Y_i = f(x_1; x_2; x_3) \rightarrow \min$$

Критерий	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
$Y_1 - \min$	0,44	-0,10	-0,04	5,321
	0,46	-0,10	-0,04	5,321
	0,44	-0,08	-0,04	5,321
	0,44	-0,10	-0,06	5,321
	0,44	-0,08	-0,02	5,321
	0,46	-0,10	-0,06	5,321
	0,44	-0,10	-0,02	5,321
	0,46	-0,08	-0,04	5,321
	0,46	-0,10	-0,02	5,321
	0,46	-0,12	-0,06	5,321
$Y_2 - \min$	0,16	0,16	0,18	3,552
	0,16	0,18	0,20	3,552
	0,16	0,16	0,20	3,552
	0,14	0,16	0,18	3,552
	0,16	0,18	0,18	3,552
	0,14	0,18	0,20	3,552
	0,14	0,16	0,20	3,552
	0,14	0,18	0,18	3,552
	0,16	0,16	0,16	3,552
	0,16	0,14	0,18	3,552
$Y_3 - \min$	0,12	0,08	-0,06	4,225
	0,14	0,08	-0,06	4,225
	0,12	0,08	-0,04	4,225
	0,12	0,10	-0,04	4,225
	0,14	0,08	-0,04	4,225
	0,12	0,10	-0,06	4,225
	0,14	0,10	-0,04	4,225
	0,14	0,10	-0,06	4,226
	0,12	0,08	-0,08	4,226
	0,12	0,06	-0,06	4,226

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 (рис. 3.1–3.9).

$$Y_1 = f(x_1=0,44, x_2, x_3)$$



$$Y_1 = f(x_1=0,44, x_2, x_3)$$

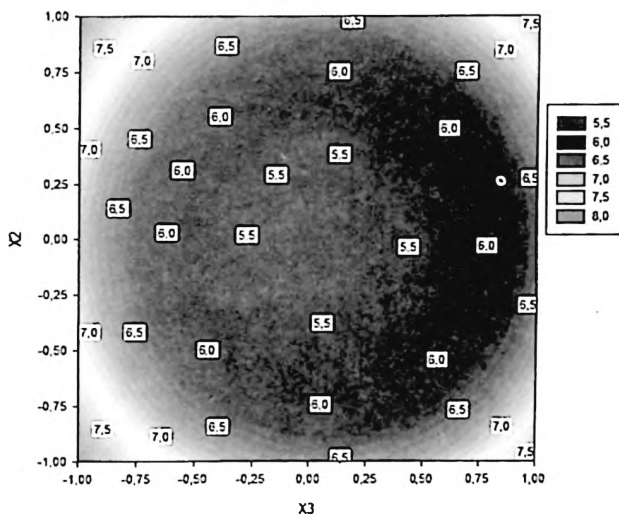
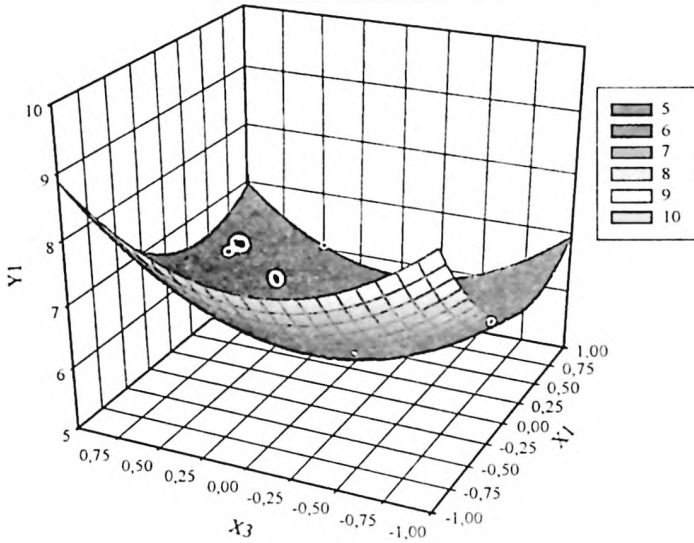


Рис. 3.1. Поверхность отклика  $Y_1 = f(x_1=0,44, x_2, x_3) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_1 = f(x_1, x_2 = -0,1, x_3)$$



$$Y_1 = f(x_1, x_2 = -0,1, x_3)$$

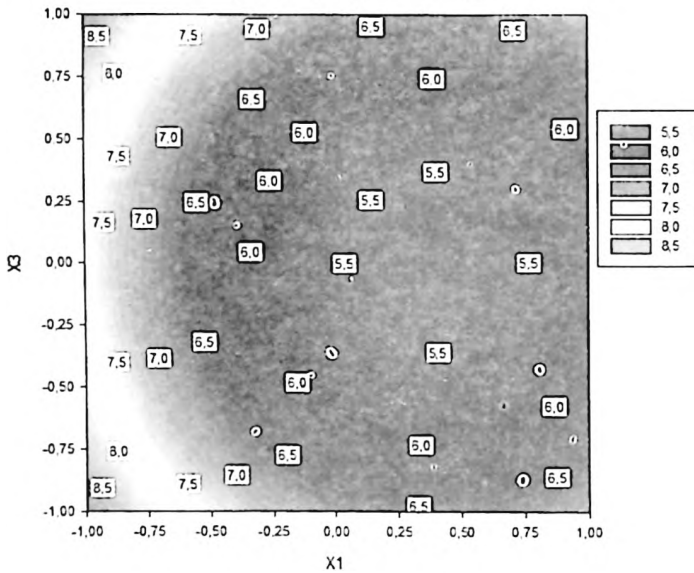
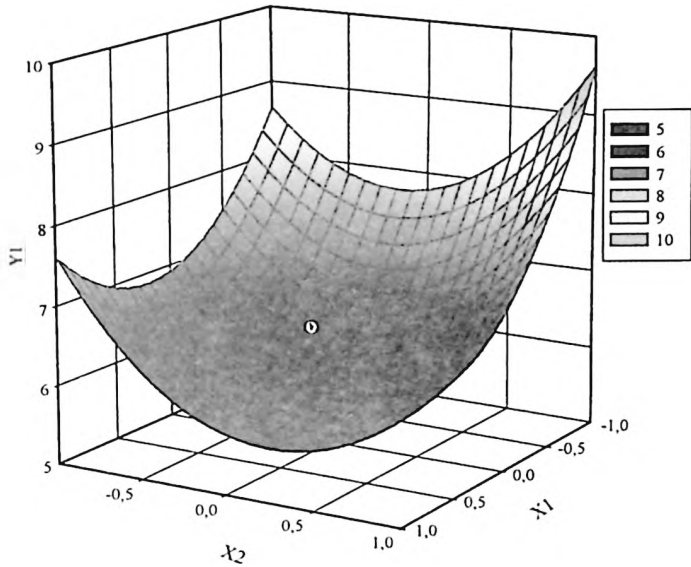


Рис. 3.2. Поверхность отклика  $Y_1 = f(x_1, x_2 = -0,1, x_3) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_1 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,04)$$



$$Y_1 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,04)$$

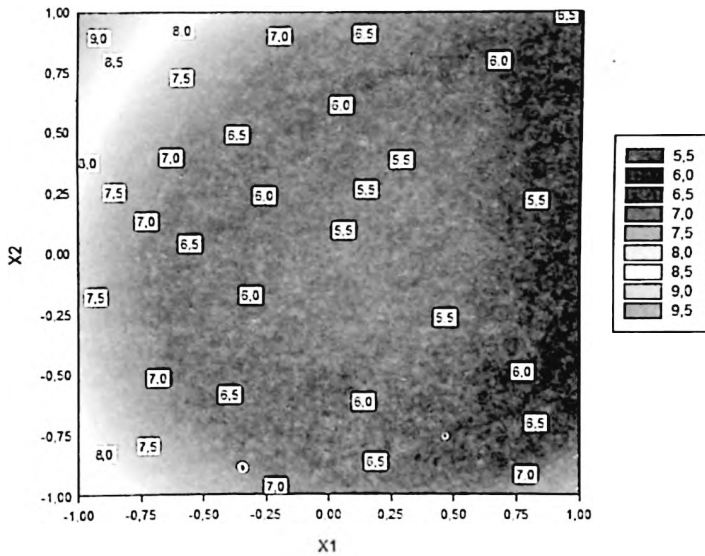
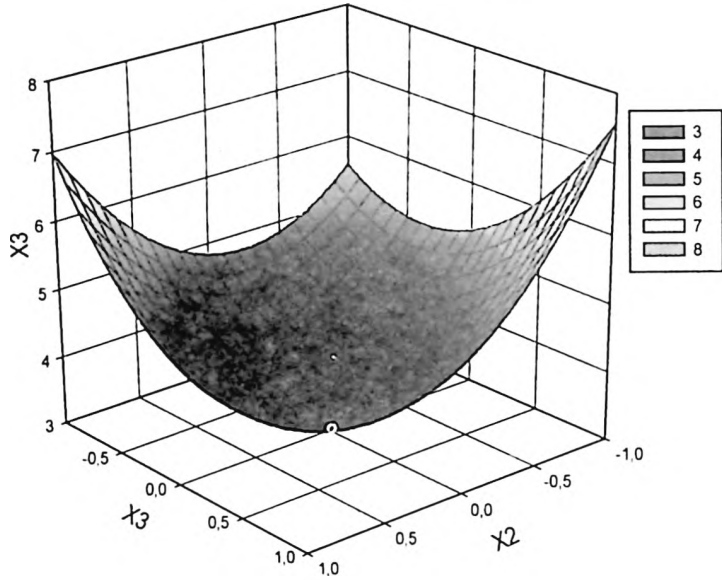


Рис. 3.3. Поверхность отклика  $Y_1 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,04) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_2 = f(x_1 = 0,16, x_2, x_3)$$



$$Y_2 = f(x_1 = 0,16, x_2, x_3)$$

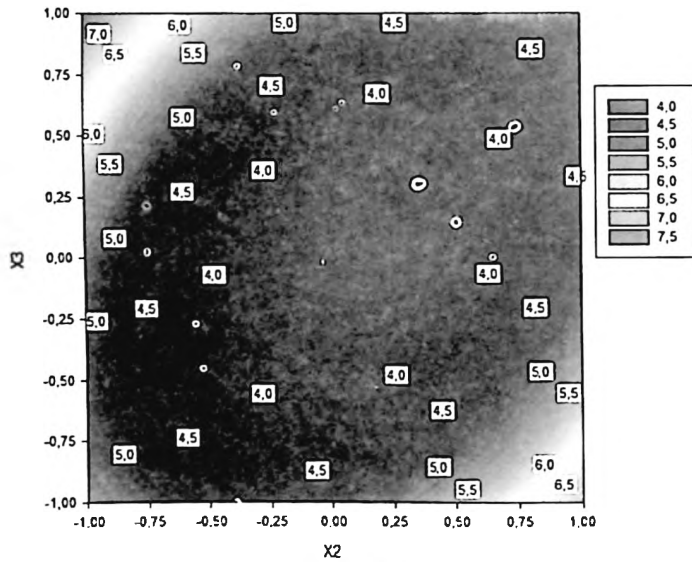
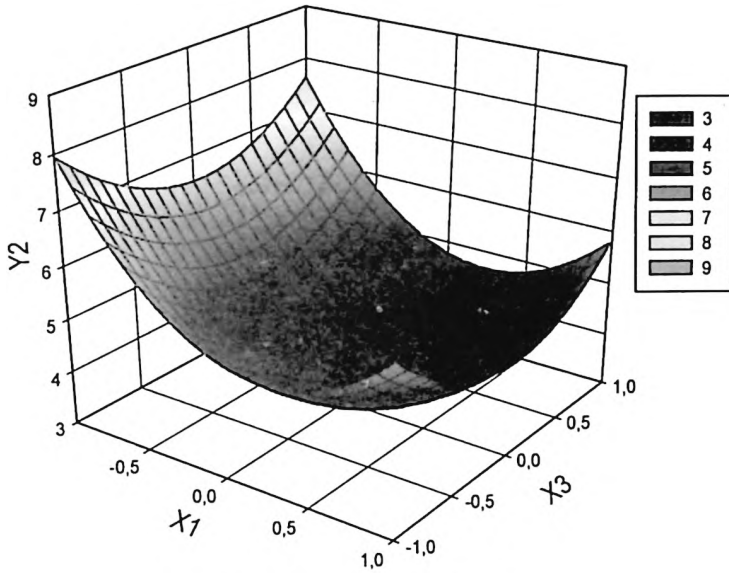


Рис. 3.4. Поверхность отклика  $Y_2 = f(x_1 = 0,16, x_2, x_3) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_2 = f(x_1, x_2 = 0,16, x_3)$$



$$Y_2 = f(x_1, x_2 = 0,16, x_3)$$

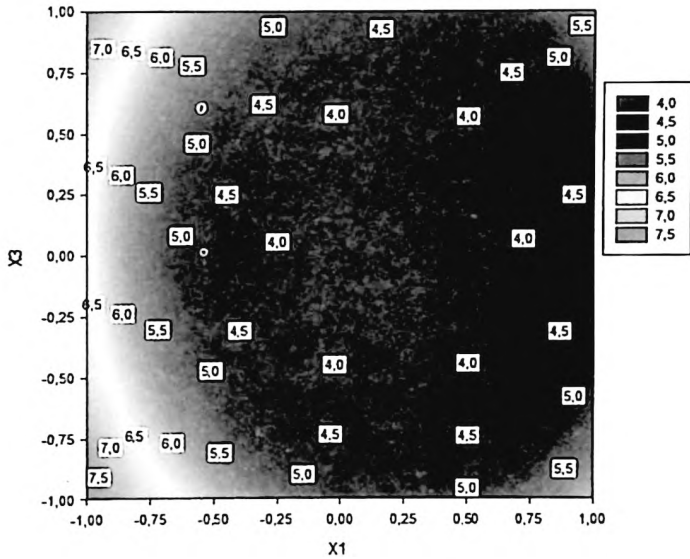
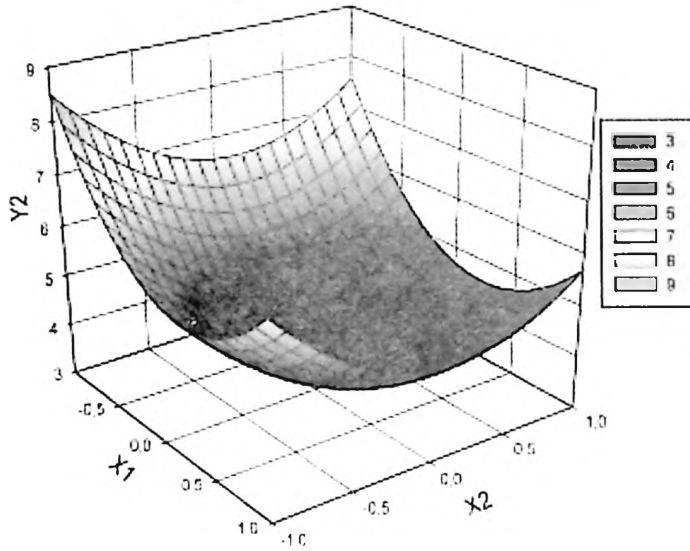


Рис. 3.5. Поверхность отклика  $Y_2 = f(x_1, x_2 = 0,16, x_3) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_2 = f(x_1, x_2, x_3 = 0,18)$$



$$Y_2 = f(x_1, x_2, x_3 = 0,18)$$

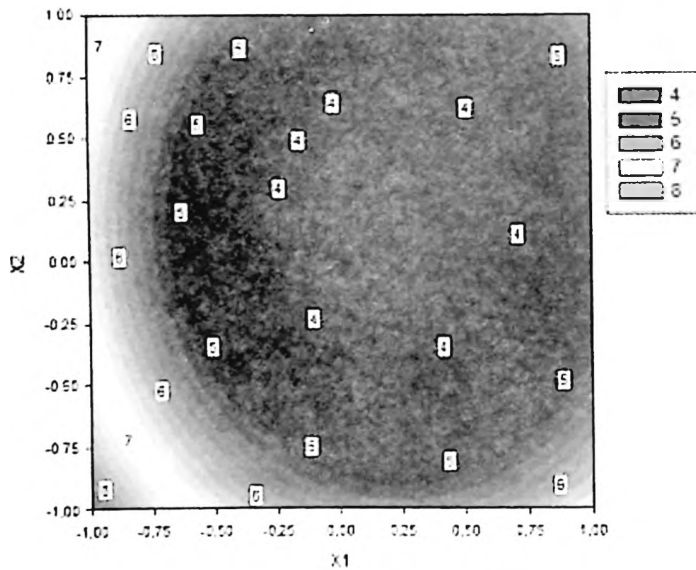
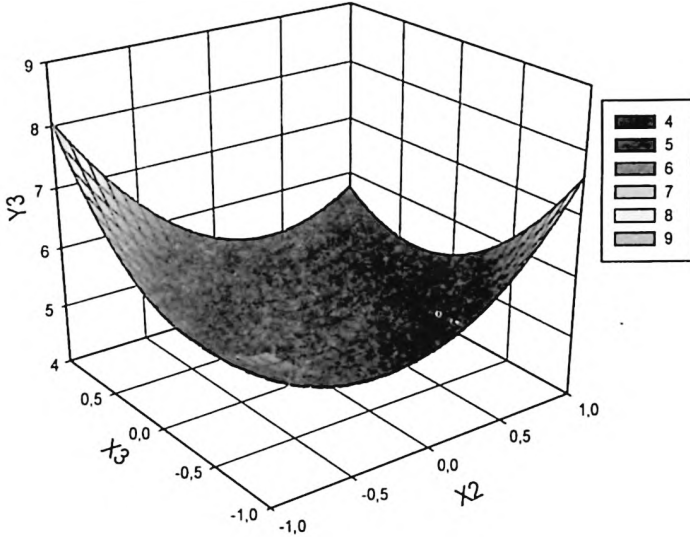


Рис. 3.6. Поверхность отклика  $Y_2 = f(x_1, x_2, x_3 = 0,18) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_3 = f(x_1 = 0,12, x_2, x_3)$$



$$Y_3 = f(x_1 = 0,12, x_2, x_3)$$

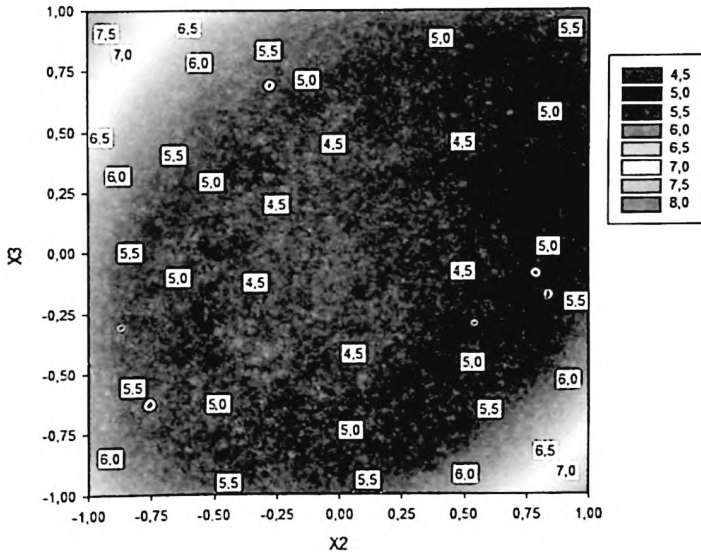
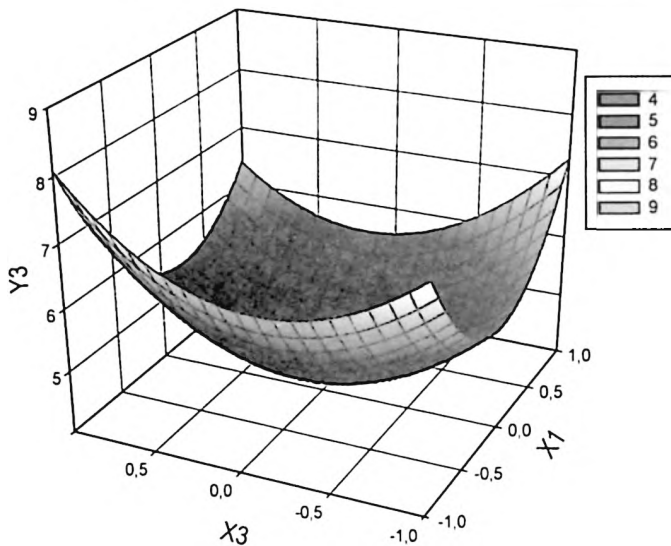


Рис. 3.7. Поверхность отклика  $Y_3 = f(x_1 = 0,12, x_2, x_3) \rightarrow \text{min}$  и ее сечения

$$Y_3 = f(x_1, x_2 = 0,08, x_3)$$



$$Y_3 = f(x_1, x_2 = 0,08, x_3)$$

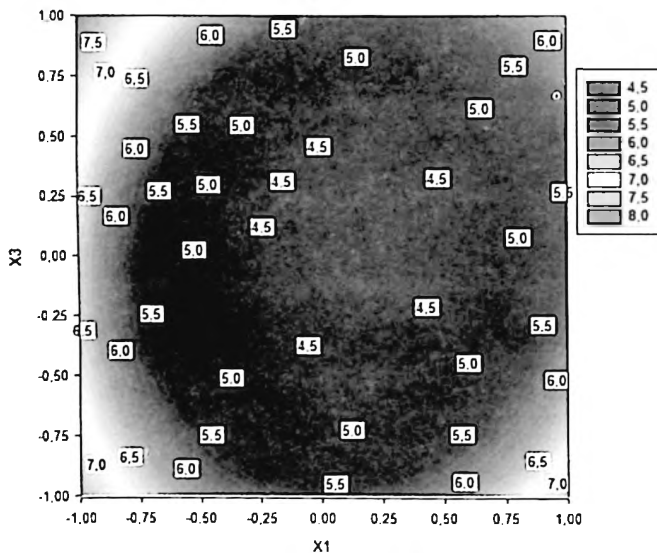
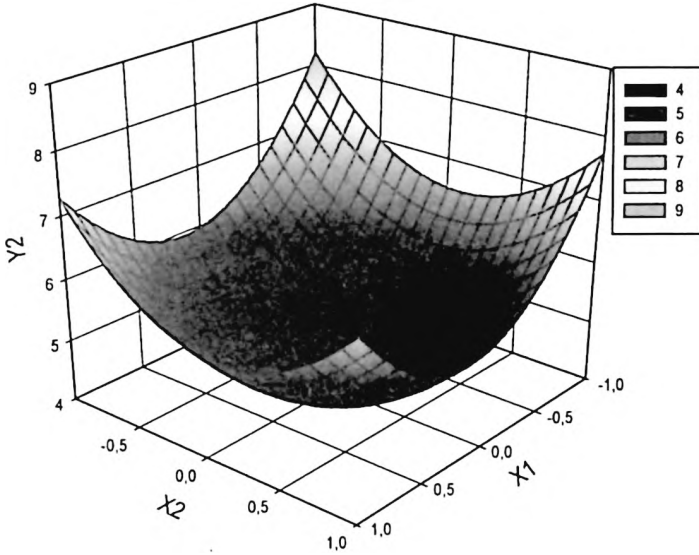


Рис. 3.8. Поверхность отклика  $Y_3 = f(x_1, x_2 = 0,08, x_3) \rightarrow \min$  и ее сечения

$$Y_3 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,06)$$



$$Y_3 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,06)$$

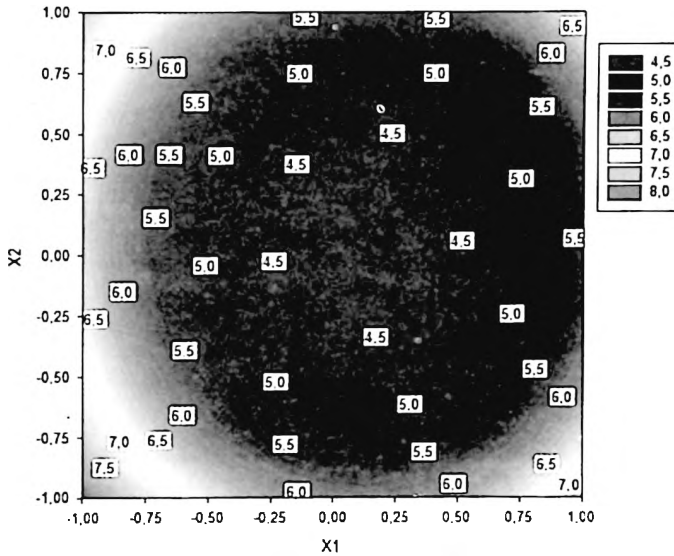


Рис. 3.9. Поверхность отклика  $Y_3 = f(x_1, x_2, x_3 = -0,06) \rightarrow \min$  и ее сечения

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

-  $\omega_g = 202,4-208,8 \text{ с}^{-1}$ ; -  $\alpha = 17,20-19,28$  град.; -  $t_n = 0,197-0,209$  м.

При данных значениях параметров критерии равны:

$$v = 3,55-5,32 \text{ \%}$$

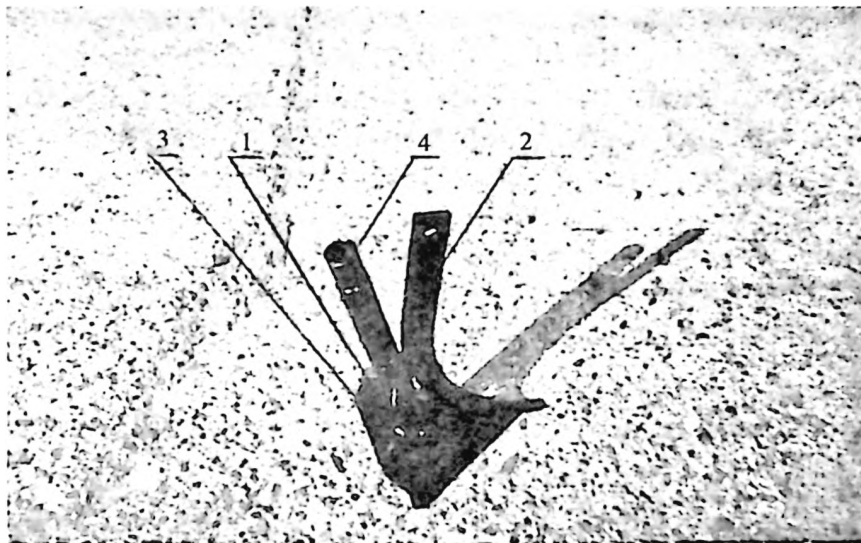
На данное почвообрабатывающее орудие получено от Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) решение о выдаче патента на изобретение по Заявке № 2010143187/13 (062118) от 12.01.2012 г.

### **3.2. Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления почвенного субстрата во время посева зерновых культур**

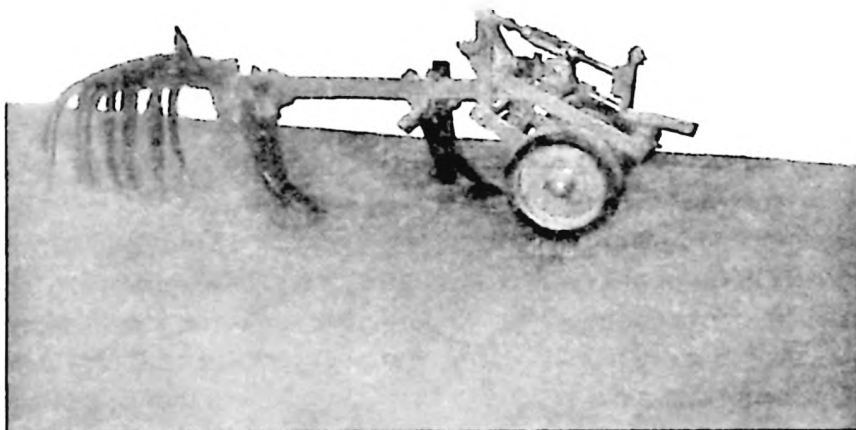
#### ***Посевная секция и сошник для посева зерновых культур по стерне сои***

На основании проведенных теоретических исследований разработаны и изготовлены экспериментальные сошники (рис. 3.10) для посева зерновых культур по стерне сои (патент РФ № 2219696 «Сошник стерневой сеялки»), а также посевные секции (рис. 3.11) для проведения посева, как зерновых культур, так и сои.

Разработанный экспериментальный сошник представляет собой стрельчатую лапу 1 шириной 270 мм, своей фронтальной поверхностью крепящуюся заклепочным соединением к рыхлительному зубу (долотообразной лапе) подкормочного приспособления культиватора-растение питателя КРН-5,6. Сверху на стрельчатую лапу установлен защитный козырек 3, на который крепится семяпровод 4. Под защитным козырьком установлен рассеиватель семян.



*Рис. 3.10. Общий вид экспериментального сошника для посева зерновых культур*



*Рис. 3.11. Общий вид посевной секции*

Посевная секция изготовлена на базе серийной секции от пропашного культиватора КРН-5,6, грядиль которого удлинен на 400 мм.

### Результаты лабораторных исследований

В лабораторных условиях определяли максимальное расстояние, на которое высеваемый материал отскакивает от распределителя сошника  $\ell_p$ ; ширина ленты рассева и равномерность распределения по ширине высеваемого материала.

Расстояние  $\ell_p$  определяли на экспериментальной посевной секции, установленной на почвенном канале при опущенных на почву рабочих органах. В качестве высеваемого материала выступали аммиачная селитра, овес, пшеница, ячмень и соя (табл. 3.8).

Таблица 3.8

#### Расстояния отскока материала от распределителя экспериментального сошника

Материал	аммиачная селитра	овес	пшеница	ячмень	соя
Длина отскока $\ell_p$ , м	0,020	0,050	0,075	0,080	0,11

Максимальная длина отскока от распределителя наблюдается у сои – 0,11 м, поэтому на основании теоретических исследований предварительно принимаем длину козырька  $\ell_k=0,12$  м. Для сравнения принятой длины козырька  $\ell_k$  с длиной свободного пространства  $\ell_{св}$  по ф. (77) построен график зависимости  $\ell_{св} = f(v_a)$ .

Для принятой стрелчатой лапы типа Лапа 5.1. (ГОСТ 1343-76) угол наклона фронтальной плоскости к плоскости почвы  $L=16^\circ$ . Высота лапы  $h=0,032$  м график построен для глубины посева 0,040 м; 0,060 м; 0,12 м.

Из графика зависимости  $\ell_{св} = f(v_a)$  (рис. 3.12) видно, что при одинаковой скорости движения сошника с увеличением глубины посева длина свободного от почвы пространства уменьшается. Принятая длина козырька  $\ell_k=0,12$  м обеспечивает защиту семян от перемешивания с почвой при глубине заделки 0,04 м на скоростях до 2,58 м/с (9,3 км/ч), при глубине заделки 0,06 м – до 3,78 м/с (13,6 км/ч). При более высоких скоростях движения сеялки длина свободного пространства увеличивается, а, следовательно, необходимости увеличения длины козырька не возникает.

Ширина ленты рассева и равномерность распределения по ширине высеваемого материала изучали на изготовленной лабораторной установке (рис. 3.13).

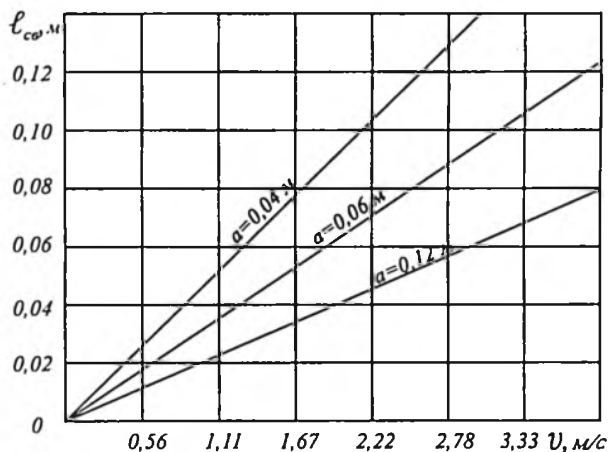


Рис. 3.12. Графики экспериментальных зависимостей длины пространства, свободного от сходящей со стрельчатой лапы почвы ( $\ell_{св} = f(v_*)$ )

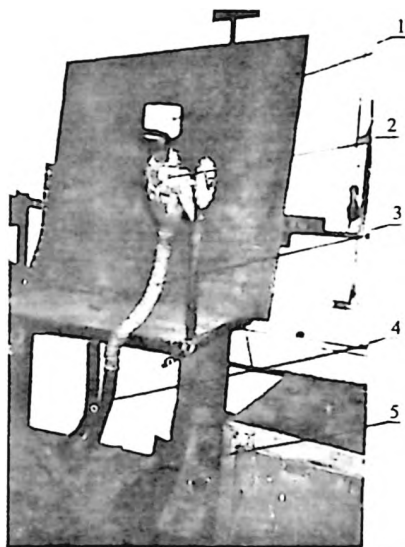


Рис. 3.13. Общий вид лабораторной установки для определения равномерности распределения высеваемого материала по ширине ленты

Лабораторная установка состоит из бункера 1, высевающего аппарата 2, семяпровода 3, сошника 4 и кюветы 5.

На рисунке 3.14–3.17 представлены гистограммы распределения семян и гранул аммиачной селитры по ширине ленты посева. Из рисунка видно, что, при ширине захвата 270 мм, лаповый сошник производит посев пшеницы, ячменя и аммиачной селитры на 240 мм (12 ячеек x 20 мм = 240 мм), а сои на 260 мм (13 ячеек x 20 мм = 260 мм). Однако ширина посева с удовлетворяющей агротребованиям неравномерностью посева 5 % составляет для пшеницы, ячменя и сои 120 мм, аммиачной селитры – 140 мм. Так, для зерновых культур и сои на ширину 120 мм приходится 76...79,9 % всей массы семян, а для аммиачной селитры на ширину полосы 140 мм приходится более 90 % массы гранул.

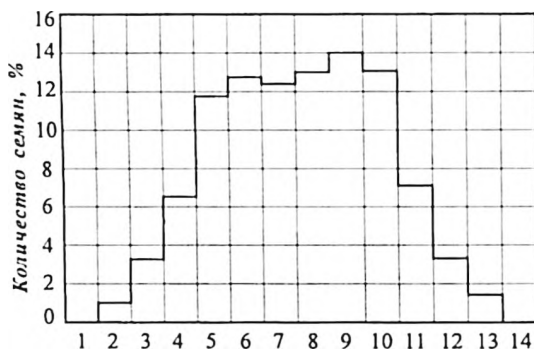


Рис. 3.14. Диаграмма распределения семян пшеницы по ширине ленты

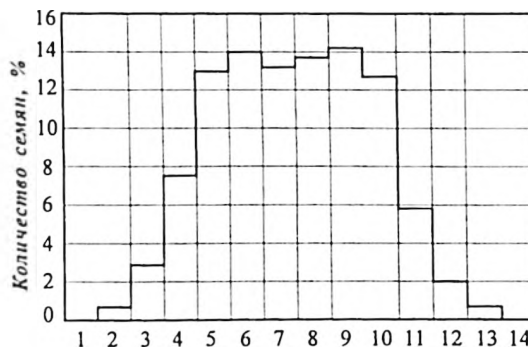
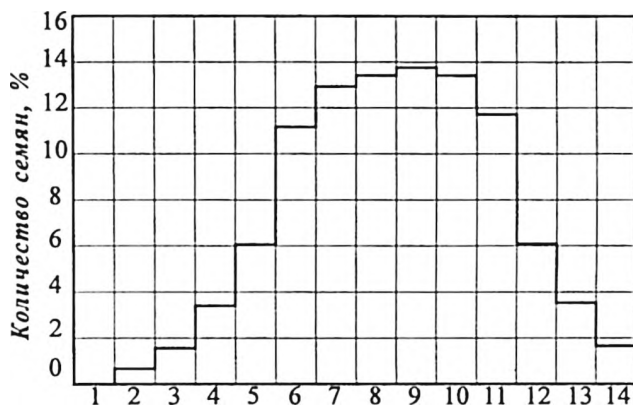
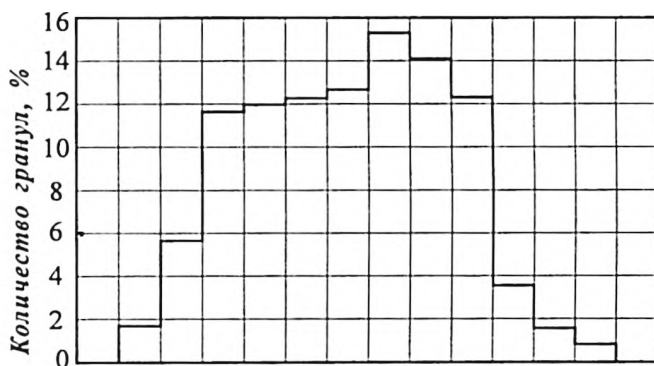


Рис. 3.15. Диаграмма распределения семян ячменя по ширине ленты



*Рис. 3.16. Диаграмма распределения сои по ширине ленты*



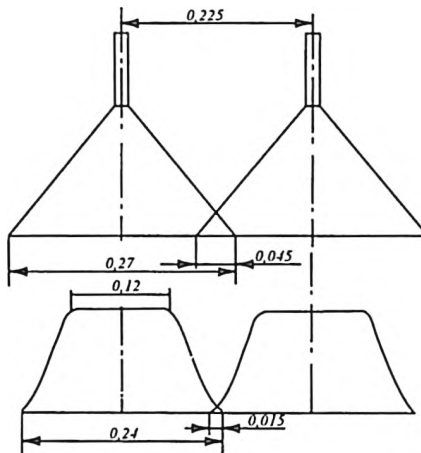
*Рис. 3.17. Диаграмма распределения гранул аммиачной селитры по ширине ленты*

При расстановке сошников с расстоянием между ними 0,225 м ширина перекрытия будет составлять 0,045 м (рис. 3.18). Тогда перекрытие высеваемых полос зерновых культур и сои составит 0,015 м, аммиачной селитры – 0,025 м.

Так как высев осуществляется на всю ширину сеялки, то междурядье в данном случае – понятие условное и растения в нем будут находиться, но посевы будут изрежены. При ширине полосы посева 0,12 м ширина междурядья составит 0,105 м.

При наклоне сошника в поперечно-вертикальной плоскости на

угол  $\alpha = \pm 10^\circ$  наблюдается концентрация семян и частиц удобрений в той области, куда наклонена стойка-нож. Изменение распределения семян по ширине ленты незначительно. У сои при наклоне сошника в области наклона концентрируется 60,2...60,6 % семян, у зерновых культур – 21,8...53,5 % семян, а у аммиачной селитры 61,2...62,4 % гранул. Ширина ленты рассева у зерновых культур и сои при этом не изменяется, а у селитры снижается до 120...130 мм.



*Рис. 3.18. Схема к определению ширины полосы и ширины междурядья при посеве зерновых культур*

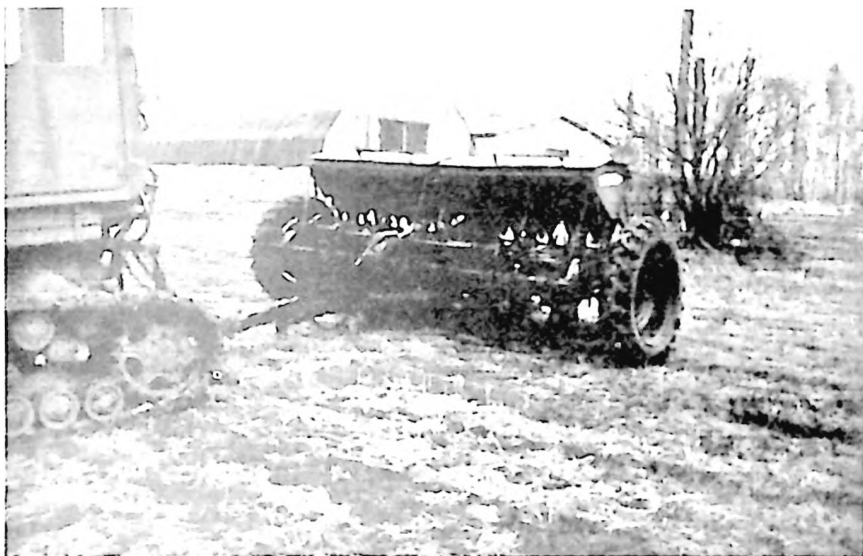
### 3.3. Результаты лабораторно-полевых исследований

#### *Макетный образец экспериментальной сеялки*

Лабораторно-полевые исследования рабочего процесса сеялки для прямого посева зерновых культур проводили на полях ООО «Амурское» Ивановского района и на Амурской МИС. При проведении исследований экспериментальная сеялка агрегатировала с тракторами классов 1,4 и 2.

Макетный образец экспериментальной сеялки (рис. 3.19) выполнен на базе сеялки СЗ-3,6, в передней части которой установлен брус 140x140 от культиватора КРН-5,6. На брус закреплены

секции рабочих органов (8 штук), разработанные на основании проведенных теоретических исследований. Расстояние между секциями составляет 0,45 м. На каждую секцию устанавливаются по два экспериментальных сошника. Расстояние между сошниками в поперечной плоскости составляет 0,225 м, в продольной плоскости – 0,9 м.



*Рис. 3.19. Общий вид макетного образца сеялки для прямого посева зерновых культур*

### *Экспериментальная проверка длины козырька*

Для того, чтобы убедиться, что принятая длина козырька экспериментального сошника удовлетворяет условию  $\ell_k \leq \ell_n$ , был поставлен эксперимент по определению зависимости длины расстояния, на которое сходит почвы со стойки-ножа  $\ell_n$  от скорости движения агрегата –  $v_a$ . Для этого вместо сошников в секции рабочих органов были установлены долотообразные лапы подкормочного приспособления культиватора-растениепитателя КРН-5,6. Процесс схода почвы со стойки-ножа фиксировался на видеокамеру на фоне неподвижного шаблона, крепящегося на посевной

секции. Эксперимент проведен на трех агрофонах и на четырех скоростях движения агрегата. Результаты экспериментальных исследований сведены в таблицу 3.9.

Регрессионный анализ экспериментальных данных показывает, что зависимость расстояния схода почвы со стойки-ножа от скорости движения агрегата имеет полиномиальный характер и аппроксимируется следующими зависимостями:

Таблица 3.9

**Зависимость расстояния схода почвы со стойки-ножа от скорости движения агрегата**

№ п/п	Условия проведения эксперимента	$\ell_{н1}, \text{ м}$	$\ell_{н2}, \text{ м}$	$\ell_{н3}, \text{ м}$	$\ell_{н4}, \text{ м}$
1	Агрофон – стерня сои Глубина обработки 0,04 м Скорости движения: $v_1=5,3 \text{ км/ч}; v_2=9,1 \text{ км/ч};$ $v_3=10,8 \text{ км/ч}; v_4=12,7 \text{ км/ч}.$	0,015	0,030	0,045	0,070
2	Агрофон – почва, подготовленная под посев сои Глубина обработки 0,06 м Скорости движения: $v_1=6,0 \text{ км/ч}; v_2=8,6 \text{ км/ч};$ $v_3=9,9 \text{ км/ч}; v_4=11,2 \text{ км/ч}.$	0,015	0,035	0,055	0,090
3	Агрофон – пахота Глубина обработки 0,12 м Скорости движения: $v_1=6,2 \text{ км/ч}; v_2=8,0 \text{ км/ч};$ $v_3=9,2 \text{ км/ч}; v_4=10,1 \text{ км/ч}.$	0,010	0,015	0,020	0,025

- на стерневом фоне:

$$\ell_{н} = 4E - 0,5v_a^3 - 0,092v_a^2 - 8e - 0,5v_a + 0,0145 \quad (3.7)$$

- на почве, подготовленной под посев сои:

$$\ell_{н} = 0,0005 v_a^3 - 0,0096 v_a^2 + 0,0719 v_a - 0,1716 \quad (3.8)$$

- на пахоте:

$$\ell_{н} = 5E - 0,5v_a^3 - 0,0007v_a^2 + 0,005v_a - 0,0075 . \quad (3.9)$$

Из рис. 3.12 и 3.20 видно, что в диапазоне рабочих скоростей агрегата расстояние схода почвы со стойки-ножа не превышает

длины пространства, свободного от сходящей со стрелчатой лапы почвы, а принятая длина козырька  $\ell_k = 0,12$  м удовлетворяет условию  $\ell_k > \ell_{II}$ .

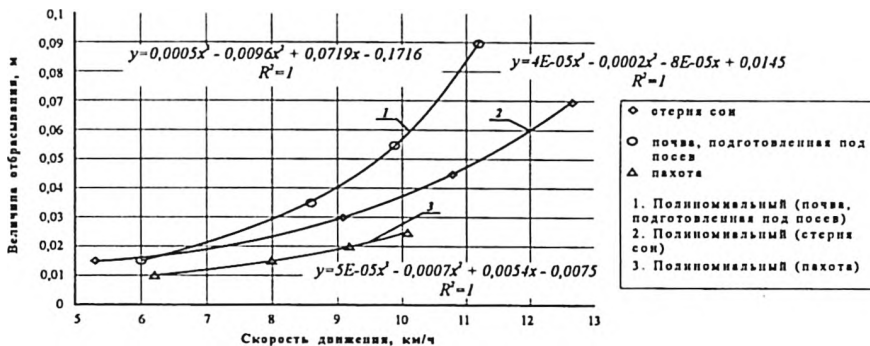


Рис. 3.20. Зависимость величины отбрасывания почвы стойкой-ножом от скорости движения агрегата  $v_a$

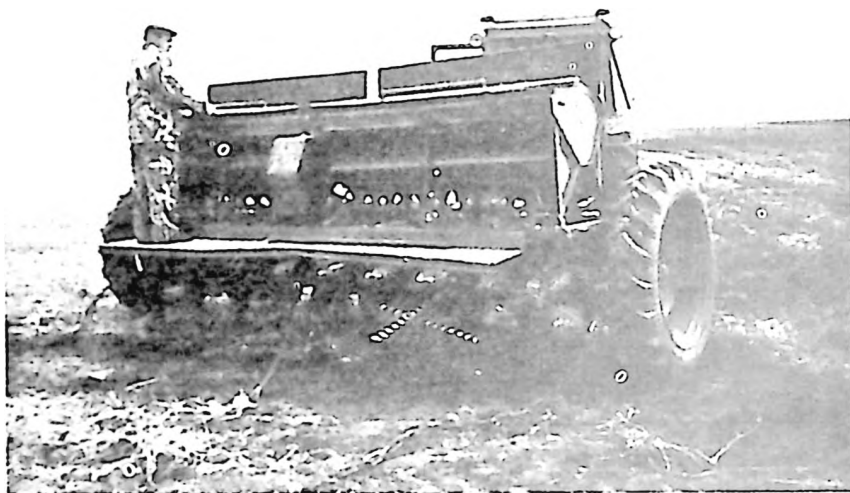
### Определение размеров почвенного вала, сходящего с лапового сошника

Перед определением размеров почвенного вала были определены физико-механические свойства почвы. Посев пшеницы осуществляли по соевой стерне, средняя высота которой составляла 11,8 см, а масса – 110,1 г/м<sup>2</sup>. Влажность почвы в слое 0...5 см – 29,5 %, твердость – 1,02 кг/см<sup>2</sup>. Почва к этому времени оттаяла на глубину более 12 см. Определенная с помощью твердомера конструкции Ревякина глубина смятия почвы составила  $\lambda = 0,046$  м, а коэффициент объемного смятия почвы –  $q = 7,3 \times 10^3$  н/м<sup>3</sup>. Коэффициент трения скольжения «металл-почва» –  $f = 0,843$ .

При посеве сои влажность почвы в слое 0...5 см составила 21,3%, в слое 5...10 см – 29,3 %. Твердость почвы в слоях 0...5 см и 5...10 см составила по 0,43 кг/см<sup>2</sup>. Глубина смятия почвы –  $\ell_n \lambda = 0,093$  м, коэффициент объемного смятия почвы –  $q = 3,2 \times 10^5$  Н/м<sup>3</sup>, а коэффициент трения «металл-почва» –  $f = 0,587$ .

При определении размеров почвенного вала на посевную сек-

цию экспериментальной сеялки крепился неподвижный шаблон, представляющий собой три соединенные линейки (рис. 3.21).



*Рис. 3.21. Общий вид экспериментальной сеялки, оборудованной шаблоном для определения размеров почвенного вала*

При движении агрегата процесс образования почвенного вала снимался на видеокамеру. Также проводилась видеосъемка экспериментальных сошников с нанесенной на них шкалой. Покадровый просмотр видеозаписи позволил определить длину, ширину и высоту образуемого почвенного вала. Так, при допустимой по агротехническим показателям скорости движения 11 км/ч ширина почвенного вала за рабочим органом в среднем составила 10 см; длина почвенного вала при посеве зерновых культур по соевой стерне – 55 см, при посеве сои – 70 см; высота почвенного вала при стерневом посеве зерновых – 18 см, при посеве сои – 12 см.

Из приведенных данных видно, что на более плотном фоне (стерня сои) почвенный вал имеет тенденции в большей степе-

ни к увеличению высоты, а на предварительно обработанной более рыхлой почве к увеличению длины. На ширину почвенного вала вид агрофона влияет незначительно.

### *Определение тягового сопротивления сошников*

Перед проведением экспериментальных исследований по определению тягового сопротивления сошников нами были получены физико-механические показатели почвы, приведенные в табл. 3.10.

Таблица 3.10

### **Физико-механические показатели почвы при определении тягового сопротивления сошников**

Показатель	Среднеарифметическое значение показателя	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Показатель точности опыта
		$\sigma$	$v_n$	$S_x - \%$
Влажность почвы в слое 0–5 см, %, А.С.В.	27,1	2,27	0,084	3,7
Твердость почвы в слое 0–5 см, кг/см <sup>2</sup>	1,5	0,14	0,093	4,2
Плотность почвы, кг/м <sup>3</sup>	1100	118	0,107	4,8
Глубина смятия почвы, м	0,05	0,004	0,08	3,6
Коэффициент объемного смятия почвы, Н/м <sup>3</sup>	$7,2 \times 10^5$	$6,5 \times 10^4$	0,09	4,1
Коэффициент трения скольжения «металл-почва»	0,827	0,09	0,11	4,9

Тяговое сопротивление сошников определяли согласно методике лабораторно-полевых исследований. Глубина посева составила 5 см, при  $\sigma = \pm 0,4$ ;  $v_n = 0,08$ ;  $S\% = 3,6\% \bar{x}$

Полученные при тензометрировании и математически обработанные данные тягового сопротивления сошников подтверждают результаты проведенных теоретических исследований (рис. 3.22).

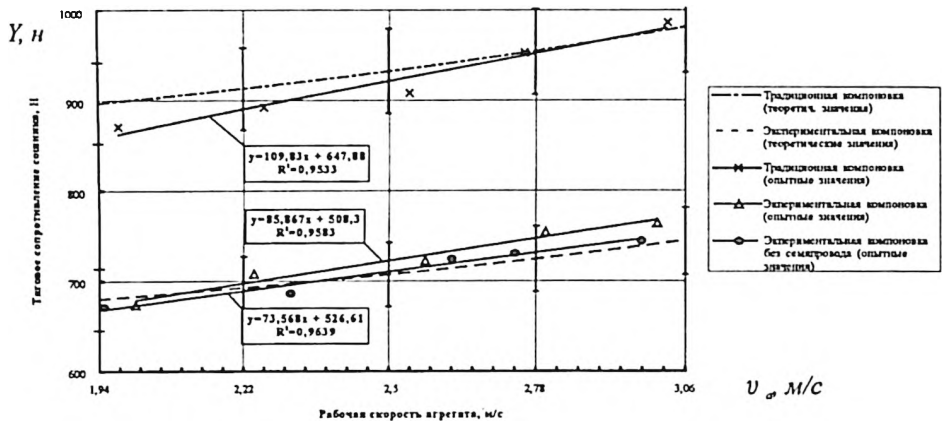


Рис. 3.22. Зависимости тягового сопротивления лаповых сошников от рабочей скорости агрегата  $v_a$

Аппроксимацию экспериментальных данных проводили на ПЭВМ по линейной зависимости. Коэффициент корреляции, показывающий тесноту связи полученных зависимостей с опытными значениями тягового сопротивления, имеет достаточно высокие значения  $R^2 = 0,95-0,96$ .

Полученные экспериментальные зависимости находятся в 5 %-м доверительном интервале соответствующих теоретических зависимостей.

Из рис. 3.22 видно, что тяговое сопротивление сошника экспериментальной компоновки на 22,7 % ниже, чем тяговое сопротивление сошника традиционной компоновки.

Проведенные опыты с экспериментальным сошником показали, что наличие или отсутствие семяпровода на тяговое сопротивление влияет незначительно. Хотя значение тяговых сопротивлений сошника со снятым семяпроводом несколько ниже аналогичных значений полнокомплектного сошника, экспериментальные зависимости  $R_{\text{сош.экс.}} = f(v_a)$  находятся в доверительном интервале соответствующей теоретической зависимости. Проведенный покадровый просмотр видеозаписи процесса движения экспериментального сошника по стерне показал, что сходящая со стойки ножа почва не задевает находящийся за стойкой семяпровод.

Таким образом, для практических целей величину сопротивления почвы движению семяпровода можно не учитывать и пользоваться выведенными теоретическими зависимостями.

### 3.4. Результаты производственной проверки

#### *Условия производственной проверки*

Производственную проверку макетного образца разработанной сеялки проводили на прямом посеве ячменя, овса и пшеницы по соевой стерне, на предпосевной обработке почвы с одновременным локально-ленточным внесением основной дозы минеральных удобрений под посев сои и на посеве сои на полях Амурской МИС и ООО «Амурское» Ивановского района Амурской области в 2003–2004 гг. Условия проведения производственной проверки приведены в таблице 3.11.

На каждом опытном поле был отведен участок для настройки и регулировки агрегата. Ширина участка составляла 16 м, длина – 200 м. Загрузка экспериментальной сеялки семенами и удобрениями осуществлялась вручную.

Перед проведением производственной проверки определяли эксплуатационная масса сеялки, составившая 1800 кг, минимальный радиус поворота (5,6 м), ширина колеи (4,24 м) и необходимая ширина поворотной полосы (16 м).

Таблица 3.11

#### **Условия проведения производственной проверки**

Показатель	Значение показателя				
	на посеве				на внесении минеральных удобрений
	ячменя	пшеницы	овса	сои	
Место проведения испытаний	ООО «Амурское»	Амурская МИС			
Объем работ, га	11	16	12	70	100
Энергосредство	Т-70С	МТЗ-82			
Сорт (наименование)	Ача	Амурская-75	Сельма	ВНИИС-1	Аммофос
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	688	768	604	763	990

Тип почвы и название по механическому составу	Луговые черноземовидные маломощные тяжелосуглинистые				
Рельеф	Ровный				
Микрорельеф	Ровный	Волнистый			
Влажность почвы, % А.С.В. по слоям, см:					
0-5	21,20	28,17	28,21	20,91	30,6
5-10	не определ.	29,31	28,78	29,12	31,15
10-15	не определ.	29,18	29,19	29,84	31,18
Твердость почвы, кг/см <sup>2</sup> по слоям, см:					
0-5	0,83	1,12	0,98	0,41	0,63
5-10	1,87	2,58	2,71	1,11	1,42
1-15	4,66	4,51	4,82	1,61	2,11
Число сорняков, шт/м <sup>2</sup>	-	30	19	-	-
Высота сорняков, см	-	2,9	3,1	-	-
Масса стерни, г/м <sup>2</sup>	237,8	109,1	94,5	-	-
Высота стерни, см	12,2	12,4	11,2	-	-
Предшествующая обработка почвы	Стерня из-под сои			Предпосевная культивация	Боронован. зяби
Глубина выровненного слоя, см	-	-	-	17,1	16,4

### *Результаты агротехнической оценки*

Макетный образец экспериментальной сеялки на каждой культуре был настроен на необходимую норму высева. Отклонение фактического высева от заданного составило на посеве ячменя 1,4 %, пшеницы 1,6 %, овса – 0,8 %, сои – 1 %, аммофоса – 2 %.

Машину при работе испытывали на скоростях 6,8...12 км/ч. Регулировка глубины заделки семян обеспечивается в пределах 0,024...0,082 м. Предпосевную обработку почвы с одновременным внесением удобрений можно проводить на глубину до 0,1 м.

Производственная проверка показала, что при скоростях движения до 11,0 км/ч экспериментальная сеялка качественно выполняла технологические процессы, как предпосевной обработки, так и посева. Семян и гранул удобрений, не заделанных в почву (в том числе и по следу колес агрегата), не наблюдалось. Высота гребней после прохода агрегата на прямом посеве зерновых культур составила 0,028...0,031 м, на предпосевной обработке с внесени-

ем удобрений – 0,026 м, на посеве сои – 0,025 м, что соответствует агротехническим требованиям.

Необходимо отметить высокое качество распределения высеваемого материала по глубине заделки. Посев пшеницы производился на глубину  $h=48$  мм, при этом среднеквадратическое отклонение от глубины заделки составило  $\sigma=8,5$  мм, а коэффициент вариации  $v - 5,6$  %, посев овса:  $h=57$  мм,  $\sigma=3,3$  мм,  $v - 5,7$ %, посев сои:  $h=60$  мм,  $\sigma=0,9$  мм,  $v - 15$ %, внесение удобрений:  $h=96$  мм,  $\sigma=1,07$  мм,  $v - 11,3$ %. Количество семян и удобрений, заделанных в предусмотренном агротребованиями слое на этих операциях составило 91...94 %, что свидетельствует о правильности выбора, как способа подвески сошников, так и конструктивных параметров сошника и посевной секции.

При увеличении скорости движения до 12 км/ч качество выполнения технологического процесса ухудшается: повышается неравномерность глубины заделки, не выдерживается ширина стыковых междурядий. Таким образом, рабочую скорость посевного агрегата следует ограничить пределом в 11 км/ч. При этом наблюдается полное подрезание сорных растений.

### *Результаты энергетической оценки*

Энергетическую оценку сеялки для прямого посева проводили в соответствии с ОСТ 10.2.2-2002 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки».

Энергетическую оценку разрабатываемой машины проводили на Амурской МИС при прямом посеве пшеницы по соевой стерне и при посеве сои. Условия проведения оценки соответствуют данным таблице 3.11.

Целью энергетической оценки являлось определение тягового сопротивления, создаваемого рабочими органами (сошниками) машины, влияние скорости поступательного движения агрегата на энергетические показатели энергосредства, а также определение удельных энергозатрат при выполнении технологических процессов посева зерновых по стерне и сои по подготовленной почве.

Макетный образец машины агрегатировали (рис. 3.23) с трактором МТЗ-82, оборудованном датчиками путеизмерительного и ведущих колес, тензометрическими полуосями, счетчиком и датчиком расхода топлива ИП-197, тяговым тензозвеном, а также измерительной и регистрирующей аппаратурой ЭПА-ПМ.



*Рис. 3.23. Экспериментальная сеялка в агрегате с трактором, оборудованным тензометрической аппаратурой*

Результаты энергетических испытаний приведены в таблице 3.12.

*Таблица 3.12*

**Энергетические показатели предложенной сеялки**

Наименование показателя	Значение показателя						
	По ТЗ	по данным испытаний					
		посев зерновых (по стерне)			посев сои		
Дата проведения испытаний	нет данных	10.05.2003 г.			04.06.2003 г.		
Режим работы:							
Скорость поступательного движения, м/с	1,94–3,3	2,54	3,01	3,22	2,38	2,76	3,14
Рабочая ширина захвата, м	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6

Глубина хода рабочих органов, см	(4-7)±1	5,8	4,9	4,8	6	6	6
Производительность за время основной работы, га/ч	3,6	3,29	3,9	4,18	3,08	3,57	4,07
Расход топлива за время основной работы, кг/ч	нет данных	10,36	11,95	12,96	10,2	11,7	12,45
Энергетические показатели:							
- тяговое сопротивление машины, кН	тоже	12,11	12,24	12,48	4,54	5,66	5,92
- мощность, затрачиваемая машиной на преодоление тягового сопротивления, кВт	-"	41,0	50,5	53,7	34,21	41,9	44,49
- потребляемая мощность агрегата, кВт	-"	42,4	53,0	56,5	36,51	45,13	48,2
- удельные энергозатраты, кВт.ч/га	-"	12,9	13,6	13,5	11,85	12,64	11,84
- удельное тяговое сопротивление машины, кН/м	-"	3,528	4,028	4,222	1,261	1,572	1,644
- удельный расход топлива за время основной работы, кг/га	-"	3,149	3,064	2,841	3,312	3,277	3,059
- коэффициент использования номинальной эксплуатационной мощности двигателя	-"	0,72	0,9	0,96	0,7	0,87	0,93
- буксование движителей, %	-"	8,9	6,5	4,6	3,2	2,6	2,4

Анализируя данные таблицы 3.12 видим, что наиболее рациональная загрузка энергосредства происходит на скоростях поступательного движения  $v_a = 3,01 \dots 3,22$  м/с (10,8...11,6 км/ч) при посеве зерновых по стерне и 2,76...3,14 м/с (10,0...11,3 км/ч) при посеве сои, т.к. коэффициенты использования эксплуатационной мощности при этом составили 0,90...0,96 и 0,87...0,93. Сравнительно одинаковая мощность, затрачиваемая энергосредством на преодоление различного тягового сопротивления, связанного с различием фона (стерня и обработанная почва) объясняется различием глубин посева и скоростей поступательного движения агрегата. Из анализа полученных показателей можно сделать вывод, что мощности энергосредства достаточно для устойчивого выполнения технологического процесса. Буксование движителей не превышает допустимого и находится в пределах 4,6...8,9 % на посеве зерновых и 2,4...3,2 % на посеве сои.

Таким образом, скорости  $v_a=10\dots11$  км/ч, при которых экспериментальная сеялка качественно выполняет технологический процесс посева, находятся в интервале скоростей, оптимальных для загрузки энергосредства.

### *Результаты эксплуатационно-технологической оценки*

Эксплуатационно-технологическая оценка посевного агрегата проведена согласно ГОСТ 24057-88 на посеве пшеницы по соевой стерне (рис. 3.24), на внесении минеральных удобрений по пахотному слою и на посеве сои по обработанной почве (рис. 3.25).

Экспериментальную сеялку агрегатировали с трактором МТЗ-82, обслуживалась трактористом и сеяльщиком. За период проведения эксплуатационно-технологической оценки испытываемым агрегатом посеяно 15,7 га пшеницы, 23,4 га удобрений и 30 га сои. Полученные при этом показатели приведены в таблицах 3.13 и 3.14.



*Рис. 3.24. Прямой посев пшеницы по соевой стерне  
сеялочным агрегатом*

Результаты эксплуатационно-технологических испытаний показывают, что на стерневом посеве пшеницы с одновременным внесением минеральных удобрений достигнута производительность 3,27 га за час основного времени при средней скорости  $v_a = 9,1$  км/ч с качеством работы, удовлетворяющим агротехническим требованиям.



Рис. 3.25. Общий вид экспериментальной сеялки на посеве сои

Таблица 3.13

### Эксплуатационно-технологические показатели

Показатель	Значение показателя		
	Посев пшеницы по стерне	Предпосевная обработка с внесением мин. удобрений	Посев сои
Режим работы:			
скорость движения, км/ч	9,1	8,0	9,77
ширина захвата, м	3,6	3,6	3,6
Производительность за 1 ч, га:			
основного времени	3,27	2,88	3,52
технологического времени	2,70	2,64	3,13
сменного времени	2,27	2,26	2,67
эксплуатационного времени	2,27	2,25	2,62
Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	3,93	4,3	3,37
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:			
технологического обслуживания	0,83	0,92	0,89

надежности технологического процесса	0,995	1,0	1,0
использования сменного времени	0,694	0,784	0,758
использования эксплуатационного времени	0,694	0,781	0,7
Количество обслуживающего персонала	2	2	2

Таблица 3.14

**Баланс времени работы агрегата за нормативную продолжительность смены**

Показатель времени	Вид работы					
	Посев пшеницы по соевой стерне		Предпосевная обработка с внес. мин. удобрений		Посев сои	
	ч	%	ч	%	ч	%
Время основной работы	4,855	69,3	5,504	78,6	5,319	76,0
Время на повороты	0,291	4,2	0,291	4,2	0,345	4,9
Время на переезды на рабочем месте	-	-	-	-	-	-
Время на погрузку и разгрузку	0,723	10,3	0,204	2,9	0,308	4,4
Время на другие вспомогательные операции	-	-	-	-	-	-
Время на ежесменное техническое обслуживание	0,175	2,5	0,175	2,5	0,175	2,5
Время на подготовку и окончание работ	0,04	0,6	-	-	0,021	0,3
Время на проведение наладки и регулировки	0,014	0,2	-	-	-	-
Время на устранение технологических неисправностей	0,048	0,7	-	-	-	-
Время на отдых	0,33	4,7	0,33	4,7	0,33	4,7
Время на холостые переезды	0,348	5,0	0,321	4,6	0,326	4,7
Время на ежесменное техническое обслуживание машины, агрегируемой с испытываемой	0,175	2,5	0,175	2,5	0,175	2,05
Итого – сменное время	7,0	100	7,0	100	7,0	100
Время на периодическое техническое обслуживание	-	-	0,21	3,0	0,052	0,7
Время на устранение технических отказов и повреждений	-	-	0,027	0,4	0,138	2,0
Итого – эксплуатационное время	7,0	100	7,24	103,4	7,19	102,7

Сравнительно невысокая производительность за час технологического времени (2,70 га) и сменного времени (2,27 га) связана с организационными причинами и ручной загрузкой семян и удобрений. Соответственно невысоки и коэффициенты технологического обслуживания – 0,83 и использования сменного времени – 0,694.

При проведении предпосевной обработки почвы с одновременным внесением основной дозы минеральных удобрений (100 кг/га) производительность за час основного времени составила 2,88 га при средней скорости движения агрегата  $v_a=8,0$  км/ч. Скорость движения агрегата и, соответственно, производительность снижены за счет большей глубины хода экспериментальных сошников.

На посеве сои получена производительность за час основного времени – 3,52 га при средней скорости движения агрегата  $v_a=9,77$  км/ч.

Коэффициент надежности технологического процесса на операциях составил 0,955...1,000 при требуемом 0,98. Это подтверждает правильность выбора конструктивных параметров разрабатываемой машины.

Расход топлива определяли методом долива. Удельный расход топлива за время сменной работы на посеве пшеницы составил 3,93 кг/га, на предпосевной обработке почвы с внесением минеральных удобрений – 4,30 кг/га, на посеве сои – 3,37 кг/га. Расход топлива на предпосевной обработке почвы увеличен за счет повышенной глыбистости обрабатываемой почвы и большого заглубления лаповых сошников, что повлияло на увеличение тягового сопротивления агрегата.

Для того чтобы оценить полученные данные производительности и удельного расхода топлива, сравним их с нормативными данными серийных агрегатов.

На посеве зерновых культур по обработанной почве без одновременного боронования посевов серийный агрегат МТЗ-82+СЗ-3,6 обеспечивает сменную производительность 17,4 га – без внесения стартовой дозы минеральных удобрений и 15 га – с одновременным внесением стартовой дозы минеральных удобрений. Удельный расход топлива при этом составляет 2,7 кг/га. Тогда производительность за 1 час сменного времени у серийного агрегата составит:  $17,4:7=2,48$  га/ч – без внесения минеральных удобрений;  $15:7=2,14$  га/ч – с внесением минеральных удобрений.

Посев зерновых культур по стерневым фонам агрегатом МТЗ-82 + СЗС-2,1 проводится с производительностью за 1 час

сменного времени:  $8:7=1,14$  га/ч при удельном расходе топлива 7 кг/га (Протокол № 02-04-10, 2010).

На фоне этих данных полученная производительность за 1 час сменного времени на посеве зерновых культур по соевой стерне с одновременным внесением минеральных удобрений у экспериментального агрегата (2,27 га/ч) выглядит предпочтительнее. Полученный удельный расход топлива (3,93 кг/га) превышает расход топлива серийного агрегата МТЗ-82+СЗ-3,6 на 45,5 %, но ниже, чем у агрегата МТЗ-82+СЗС-2,1 на 78,1 %.

На посеве сои производительность за 1 час сменного времени у экспериментального агрегата (2,67 га/ч) незначительно превышает производительность серийного агрегата МТЗ-82+СЗ-3,6 (2,13 га/ч). Удельный расход топлива экспериментального агрегата (3,37 кг/га) также незначительно превышает аналогичный показатель серийного агрегата (3,14 кг/га).

Результаты эксплуатационно-технологической оценки показывают, что при данных условиях испытаний разрабатываемая сеялка удовлетворительно выполняет технологический процесс и соответствует предъявляемым к ней требованиям.

### **3.5. Исследование влияния технологий посева на урожайность зерновых культур**

Согласно методике постановки полевого опыта, серийные посе́вы проводились сеялками СЗ-3,6 на фоне отвальной зяби и на фоне безотвальной почвообработки. Опытный посев в стерню сои осуществлялся агрегатом Т-70С + экспериментальная сеялка.

Следует отметить, что погодные условия при посеве зерновых культур очень сильно отличались в разные годы. Так, условия 2001 и 2004 годов были типичны для Дальневосточного региона, а 2003 и особенно 2002 годов абсолютно нехарактерны. Обычно, весна в Амурской области сухая, но в 2002 году в апреле выпало 63,4 мм осадков, что в 2,6 раза больше среднеголетних показателей. Это обусловило хорошее развитие зерновых в начальный период,

а умеренные осадки августа (74 % нормы) дали возможность своевременно убрать урожай.



*Рис. 3.26. Экспериментальный посевной агрегат при постановке полевого опыта*

Влажность почвы целиком зависела от типа основной обработки почвы. Так, в период сева влажность верхнего слоя почвы (0...5 см) при зяблевой вспашке составила всего 67 %, при безотвальной обработке - 78 % от влажности стерни (таб. 3.15). Подобная тенденция сохранилась позже – к фазе кущения эти различия были больше – 62 и 71 % соответственно.

*Таблица 3.15*

**Влажность почвы в верхнем слое почвы (0...5 см) при различных типах основной обработки почвы, % на абсолютно сухую навеску**

Фаза	Стерня сои	Безотвальная обработка	Зяблевая вспашка
Посев	30,6	23,8	20,6
Кущение	30,9	21,8	16,2

Подсчет густоты стояния в фазу полных всходов показал, что на этот показатель также существенное влияние оказала основная обработка почвы (табл. 3.16).

Так, полевая всхожесть пшеницы сорта Хабаровчанка при посеве по безотвальной обработке была 96,0 %, по стерне 93,5 %, по зяби 79,3 %, что существенно на 5%-м уровне значимости. В условиях 2004 года наивысшая полевая всхожесть ячменя сорта Ача была по стерневому фону – 80,4 %.

Таблица 3.16

### Полевая всхожесть зерновых культур

Показатель	Пшеница (данные 2001 г.)				Ячмень (данные 2004 г.)			
	Зяблевая вспашка	Безотвальная вспашка	Стерня сои	НСР <sub>05</sub>	Зяблевая вспашка	Безотвальная вспашка	Стерня сои	НСР <sub>05</sub>
Количество высеванных всхожих семян, шт/м <sup>2</sup>	600	600	600		550	550	550	
Количество взошедших растений, шт/м	476	578	561	16	393	338	442	14
Относительная полевая всхожесть, %	79,3	96,3	93,5		71,5	61,5	80,4	

Засоренность посевов зерновых культур определяли до и после обработки гербицидами. Сорняки были представлены разными группами – многолетними, злаковыми и широколиственными. На участках нулевой обработкой (стерня) было больше многолетних сорняков (польни, осот, молочай, пырей), чем на безотвальной, а тем более пахоте. На зяби данная группа сорняков была меньше более чем в 2 раза.

После обработки гербицидами гибель сорняков на фоне отвальной зяби составила 40 %, на фоне весенней безотвальной обработки – 36 %, а по нулевой обработке – 23 %. Полученные данные свидетельствуют о необходимости ротации прямого посева зерновых культур с посевом последующей по севообороту культуры в обработанную почву.

Данные об урожайности зерновых культур приведены в табл. 3.17.

Таблица 3.17

### Урожайность зерновых культур при постановке полевых опытов

Агрофон	Урожайность, ц/га			
	Пшеница		Ячмень	
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Зяблевая вспашка	8,1	28,0	29,5	11,6
Безотвальная обработка	7,6	28,6	21,5	12,4
Стерня сои	11,1	24,1	26,0	13,9
НСР <sub>05</sub>	1,8	5,0	5,9	1,9

Из таблицы 3.17 видно, что урожайность зерновых культур резко отличается по годам. Так, во влажные 2002 и 2003 годы урожайность пшеницы и ячменя была в 1,7...3,7 раза выше, чем в типичные для региона относительно сухие 2001 и 2004 годы.

В 2001 году посев пшеницы по стерне сои показал наивысшую урожайность 11,1 ц/га, что на 3,5 ц/га выше, чем урожайность по безотвальной обработке и на 3 ц/га выше урожайности по зяби. При НСР<sub>05</sub>=1,8 ц/га полученная разница в урожайностях существенна.

В 2002 году урожайность прямых посевов пшеницы была наименьшей и составила 24,1 ц/га. Однако при НСР<sub>05</sub>=5,0 ц/га разница с урожайностью по зяби (3,9 ц/га) и по безотвальной обработке (4,5 ц/га) незначительна, здесь можно говорить лишь о тенденции к снижению урожайности.

В условиях 2003 года при НСР<sub>05</sub>=5,9 ц/га существенна разница в урожайности лишь в посевах по зяблевой вспашке и безотвальной обработке – 8 ц/га. Разница в урожайности ячменя, посеянного предлагаемой и серийной сеялками незначительна (3,5...4,5 ц/га).

В относительно сухой 2004 год прямой посев ячменя также показал наивысшую урожайность – 13,9 ц/га. При НСР<sub>05</sub>=1,9 ц/га имеется существенная разница по сравнению с урожайностью по зяби (11,6 ц/га) и тенденция к повышению урожайности по сравнению с посевом по безотвальной обработке (12,4 ц/га).

Поставленные полевые опыты подтверждают данные других ученых (Драгавцев В., 2010; Мунгалов В. А., 2010, с. 3–7; Альт В. В., 2008; 130), о том, что преимущества прямого посева зерновых культур более отчетливо проявляются в годы с относительно сухой весной. В годы с достаточным количеством влаги, преимуществ в урожайности прямых посевов не наблюдается.

### **3.6. Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления почвенно-растительного субстрата в процессе широкополосного посева семян сои**

Характер распределения семян сои по площади поля при посеве обусловлен в основном качеством их распределения по ширине захвата сошника. Именно от того, как семена будут распределяться по ширине захвата сошника, будет зависеть равномерность их распределения по площади поля.

Рассмотренные выше теоретические исследования движения потока семян в сошнике показывают, что на равномерность распределения существенное влияние оказывает конструкция распределителя семян, его форма и углы наклона рассеивающих поверхностей, а также отклонение стойки от вертикального положения.

Исследования параметров предложенного сошника проводили в лабораторных условиях на почвенном канале. Определяли:

- оптимальная ширины полосы, образуемая распределителем семян сои;
- равномерность заделки семян сои по глубине;
- равномерность распределения по площади питания.

#### ***Результаты лабораторных исследований***

##### ***1. Выбор формы распределяющего устройства сошника***

Исследования по определению ширины и равномерности засеваемой полосы в зависимости от формы распределяющего устройства проводили с использованием сои сорта Соната.

Графики зависимостей распределения семян по ширине засе-

ваемой полосы в зависимости от конструктивных параметров распределителей представлены на рисунках 3.27 и 3.28.



*Рис. 3.27. Зависимости равномерности распределения семян по ширине засеваемой полосы от конструктивных параметров распределителей семян*



*Рис. 3.28. Зависимости распределения семян по ширине засеваемой полосы, пластинчатым распределителем от угла при вершине пирамидоидального элемента*

В результате проведённых исследований получены следующие результаты:

Все исследуемые формы поверхностей направителей - распределителей обеспечивают рассев семенного материала по полосе, но с различными качественными показателями. Наибольшую равномерность распределения по ширине полосы показали

прутковый и с пирамидоидальной вставкой и углом при вершине  $90^\circ$  коэффициент вариации, которых составил 56,68 и 48,95 % соответственно при  $НСР_{05}=6,32$ , ширина полосы 0,18 и 0,20 м соответственно при  $НСР_{05}=1,48$ .

Однако при работе пруткового распределителя отмечали забивание колотой соей и др. примесями, что отрицательно сказывалось на его работоспособности.

Таким образом, для дальнейших экспериментальных исследований прием форму распределителя с пирамидоидальной вставкой.

## 2. Исследование дальности отскока частицы в зависимости от угла $\alpha$ наклона рабочей поверхности пирамидоидальной вставки и высоты точки удара

Исследования проведены для оценки достоверности теоретических исследований. На рисунках 3.29 и 3.30 представлены графики зависимостей  $x=f(\alpha)$  для двух случаев удара зерна.

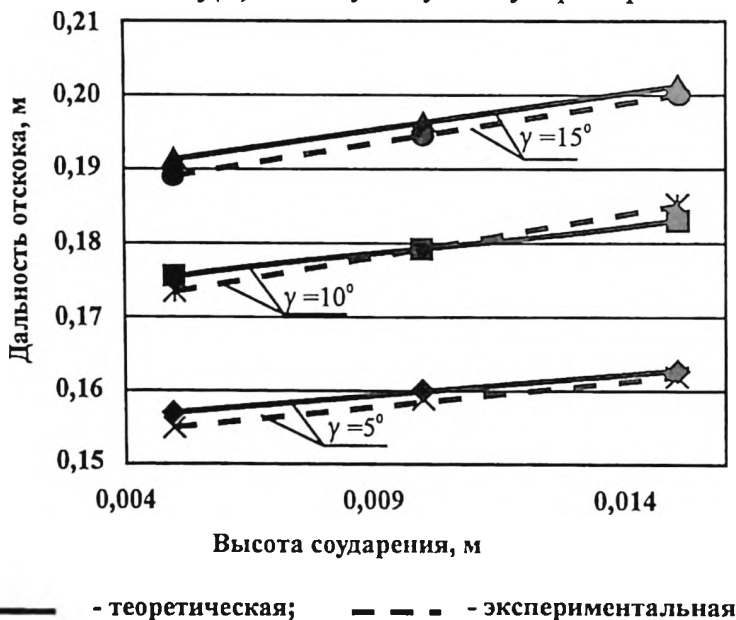


Рис. 3.29. Зависимости дальности отскока семян сои от угла наклона отражающей плоскости вставки  $\gamma$  и высоты соударения  $h_2$ , при  $\gamma > \gamma_{\text{min}}$

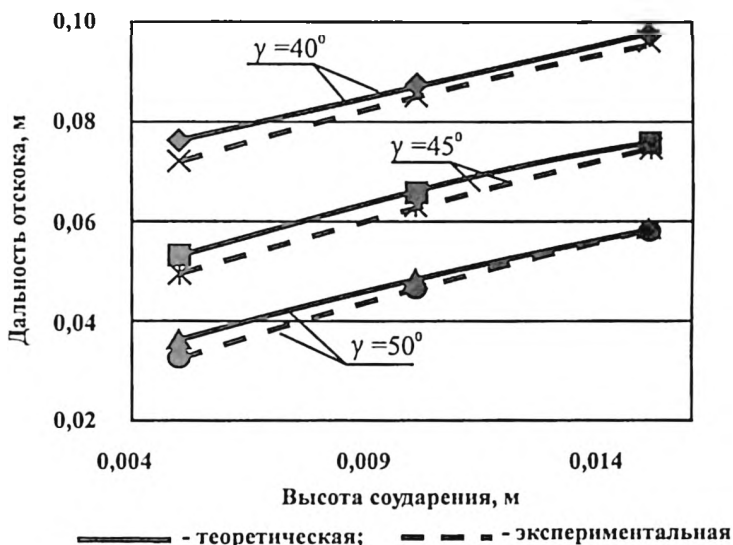


Рис. 3.30. Зависимости дальности отскока семян сои от угла наклона отражающей плоскости вставки  $\gamma$  и высоты соударения  $H_2$ , при  $\gamma > \gamma_{\text{min}}$

Результаты экспериментов обрабатывались при помощи программы Microsoft Excel. Соответствие экспериментальных данных теоретическим оценивали коэффициентом корреляции и по критерию Фишера (F- критерий). Корреляционный анализ показал тесную связь, проверка по критерию Фишера указала на адекватность модели.

### 3. Определение коэффициента восстановления

Коэффициент восстановления испытуемого материала зависит от его упругих свойств. Эксперимент проводили для определения коэффициента восстановления сои после её удара о стальную пластину.

Высоту падения частицы  $H$  приняли равной 0,36 м.

$$\text{Коэффициент восстановления } k = \frac{16,32}{36} = 0,67 .$$

#### 4. Исследование влияния наклона семяпровода на равномерность распределения семян по ширине полосы

В лаповых сошниках, где для распределения семян по площади поля используется энергия свободного падения семян, важное значение имеет характер движения семян по семяпроводной системе. Характер распределения семян по площади поля на посеве обусловлен в основном качеством распределения их по ширине захвата сошника. Именно от того, как семена будут распределяться по ширине захвата сошника, будет зависеть равномерность их распределения по площади поля. Теоретические исследования показали, что немаловажным фактором в работе сошника является наклон стойки семяпровода.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 3.31.



Рис. 3.31. Зависимости влияния угла наклона семяпровода на равномерность распределения семян по ширине полосы

В результате исследований выявлено, что наименьший коэффициент вариации  $47,14 \pm 4,93$  % показал вариант с углом наклона семяпровода плюс  $15^\circ$ , что составило существенную разницу с остальными вариантами. Варианты с углами наклона семяпровода  $0^\circ$  и минус  $15^\circ$  и коэффициентами вариации  $58,91 \pm 4,33$  и  $58,31 \pm 5,99$  % существенной разницы не показали.

Ширина полосы рассева семян в варианте с углом наклона плюс  $15^\circ$  составила  $(20,2 \pm 1,62) \times 10^{-2}$  м и показала существенную разни-

цу с углами наклона  $0^\circ$   $V=(17,6\pm 1,42)\times 10^{-2}$  м и минус  $15^\circ$   $V=(18,4\pm 1,2)\times 10^{-2}$  м.

Проверка по критерию Фишера показала адекватность полученных результатов.

### 5. Исследования по оптимизации параметров распределительного устройства сошника

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 3.18) (Адлер Ю. П., 1976).

Таблица 3.18

### Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1' = x_1^2 - d$	$x_2' = x_2^2 - d$	$x_3' = x_3^2 - d$	$Y_1$ (v,%)	$Y_2$ (B, $\times 10^{-3}$ м.)
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	64,04	19,6
2	-	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	61,03	16,6
3	+	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	53,94	15,4
4	-	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	59,42	14,8
5	+	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	58,79	15,4
6	-	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	59,74	14,8
7	+	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	55,51	15,2
8	-	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	55,21	16,4
9	1,215	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	56,50	14,8
10	-1,215	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	65,26	14,4
11	0	1,215	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	59,88	16,6
12	0	-1,215	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	56,29	14,4
13	0	0	1,215	-0,7303	-0,7303	0,7469	61,58	15,6
14	0	0	-1,215	-0,7303	-0,7303	0,7469	55,55	17,8
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	49,51	20,2

Ортогональное планирование позволяет получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча  $\alpha$  для трех факторов  $\alpha=1,2154$  и специальным преобразованием квадратичных переменных  $x_i^2$  по выражению

$$x'_i = x_i - d \quad (3.1)$$

где  $d$  – поправка, зависящая от числа фактов; для трех фактор  $d=0,7303$ .

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента. Для 4-х степеней свободы и 95 %-м уровне значимости  $t=2,78$  (Адлер Ю. П., 1976; Доспехов Б. А., 1973; Емельянов А. М., Гуров А. М., 1984) (табл. 3.19).

Таблица 3.19

### Проверка значимости коэффициентов регрессии

Коэффициенты регрессии	Для коэффициента вариации ( $Y_1$ )			Для ширины полосы ( $Y_2$ )		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
$b_0$	58,18454	0,046615	132,37	16,13778	0,032889	45,87
$b_1$	-1,26	0,06383	-4,98	0,32	0,045035	1,50
$b_2$	2,18	0,06383	8,63	0,66	0,045035	3,13
$b_3$	1,51	0,06383	5,96	0,18	0,145035	0,83
$b_{12}$	0,90	0,087403	3,06	0,53	0,061667	2,11
$b_{13}$	-0,23	0,087403	-0,77	0,53	0,061667	2,11
$b_{23}$	0,49	0,087403	1,64	0,93	0,061667	3,72
$b_{123}$	1,22	0,087403	4,12	0,08	0,061667	0,30
$b_{11}$	2,33	0,160214	5,81	-1,25	0,113038	-3,71
$b_{22}$	0,44	0,160214	1,09	-0,64	0,113038	-1,90
$b_{33}$	0,76	0,160214	1,89	0,17	0,113038	0,52

Из таблицы 3.19 видно, что для равномерности распределения по ширине полосы (вариации) значимыми коэффициентами являются  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}$  и  $b_{12}$ , а для ширины полосы следующие показатели –  $b_0, b_2, b_{23}$  и  $b_{12}$ .

Уравнения регрессии в кодированном:

- для коэффициента вариации распределения

$$Y_1 = 58,2 - 1,26x_1 + 2,18x_2 + 1,51x_3 + 0,9x_1x_2 + 1,22x_1x_2x_3 + 2,33x_1^2. \quad (3.2)$$

- для ширины полосы

$$Y_2 = 16,1 + 0,66x_2 + 0,93x_2x_3 - 1,25x_1^2. \quad (3.3)$$

Адекватность полученных уравнений оценена по критерию Фишера.

В нашем случае при 95%-м уровне значимости  $F_{табл.} = 19,42$ .

Дисперсию адекватности определяли по методике, предложенной в работах (Адлер Ю. П., 1976; Доспехов Б. А., 1972; Емельянов А. М., Гуров А. М., 1984, Фатеев М. Н., Фирсов М. М., 1974).

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20

### Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	Для коэффициента вариации ( $Y_1$ )			Для ширины полосы ( $Y_2$ )		
	$y_u$	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$	$y_u$	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	64,04	64,04	0,0000066	19,6	19,5	0,01601524
2	61,03	63,30	5,1545845	16,6	13,8	7,84447503
3	53,94	55,55	2,5974873	15,4	16,3	0,80177528
4	59,42	58,07	1,8357283	14,8	15,1	0,10707987
5	58,79	56,25	6,4058801	15,4	17,6	4,94372396
6	59,74	58,77	0,9449923	14,8	15,6	0,72114234
7	55,51	51,02	20,1135157	15,2	18,1	8,67549341
8	55,21	53,54	2,7852396	16,4	15,1	1,6400052
9	56,50	55,63	0,7539122	14,8	18,2	11,2444636
10	65,26	58,69	43,1877955	14,4	17,4	9,26209138
11	59,88	60,34	0,2084361	16,6	15,8	0,59400741
12	56,29	53,98	5,3466525	14,4	16,6	5,00114876
13	61,58	59,91	2,7734074	15,6	16,6	1,07396916
14	55,55	54,41	1,2950561	17,8	16,6	1,35413989
15	49,51	57,16	50,7628454	20,2	16,6	13,1793818

Расчетные значения критерия Фишера составили:

для функции коэффициента вариации  $F_{расч.} = 18,74$ ;

для ширины полосы  $F_{расч.} = 12,23$ .

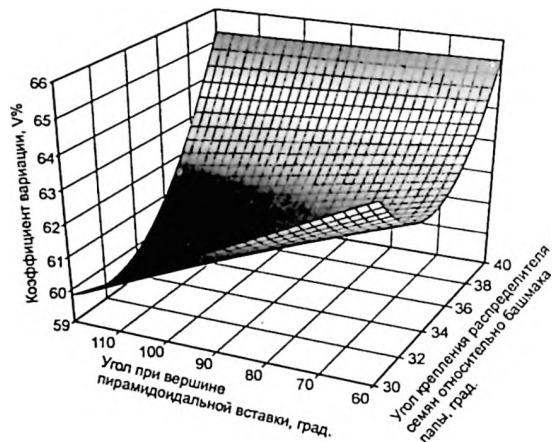
$F_{расч.} < F_{табл.}$ . Таким образом, полученные уравнения регрессии адекватно описывают процесс в пределах исследуемой области.

Раскодированные уравнения регрессии для коэффициента вариации  $v_e$ , % и ширины полосы  $B_{П}$ , м имеют вид:

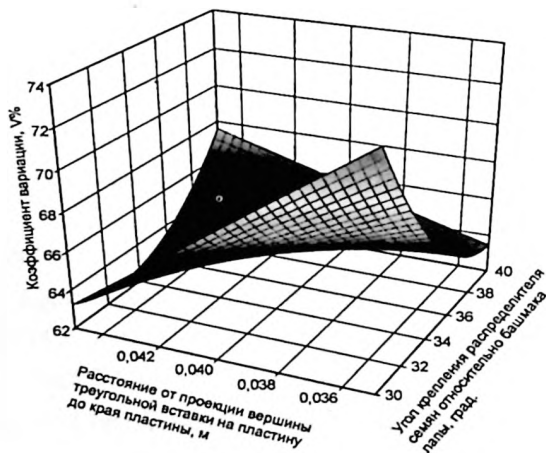
$$v_e = 405,63 - 12,65\alpha - 2,56\beta - 54,19AB + 0,07\alpha\beta + 1,46\alpha AB + 0,57\beta AB - 0,02\alpha\beta - AB + 0,09\alpha^2 \quad (3.4)$$

$$B_{П} = -20,83 + 3,50\alpha - 0,27\beta - 5,55AB + 0,06\beta AB - 0,05\alpha^2 \quad (3.5)$$

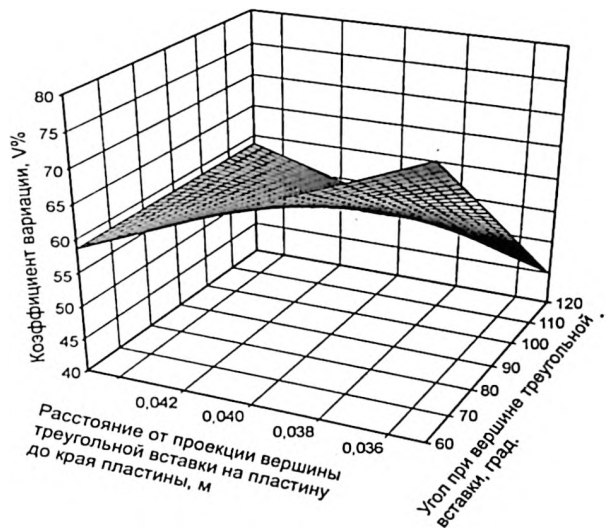
При построении поверхностей откликов (в программе SigmaPlotv.11.0) варьировались только два фактора, третий оставался на постоянном уровне (рис. 3.32–3.37).



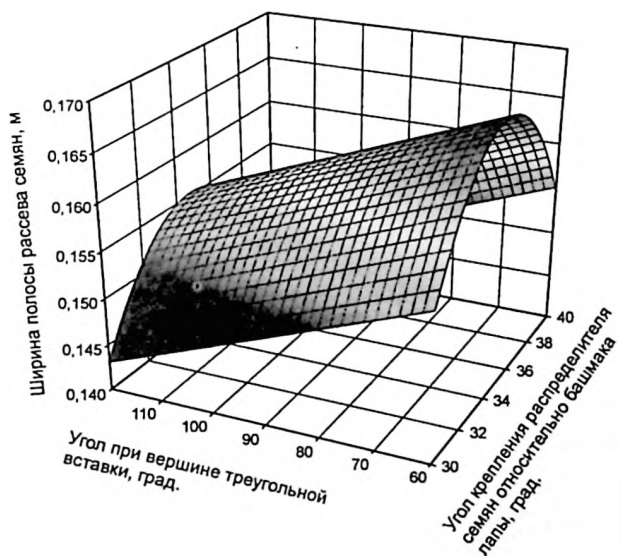
**Рис. 3.32.** Поверхность отклика  $v_{\epsilon} = f(\alpha, \beta)$  при расстоянии от проекции вершины пирамидоидального элемента на пластину до края пластины  $AB=0,04$  м



**Рис. 3.33.** Поверхность отклика  $v_{\epsilon} = f(\alpha, AB)$  с углом при вершине пирамидоидального элемента  $\beta=90^{\circ}$



**Рис. 3.34. Поверхность отклика  $v_c = f(\beta, AB)$  с углом крепления распределителя семян относительно башмака лапы  $\alpha=35^\circ$**



**Рис. 3.35. Поверхность отклика  $V_{II} = f(\alpha, \beta)$  при расстоянии от проекции вершины пирамидоидального элемента на пластину до края пластины  $AB=0,04$  м**

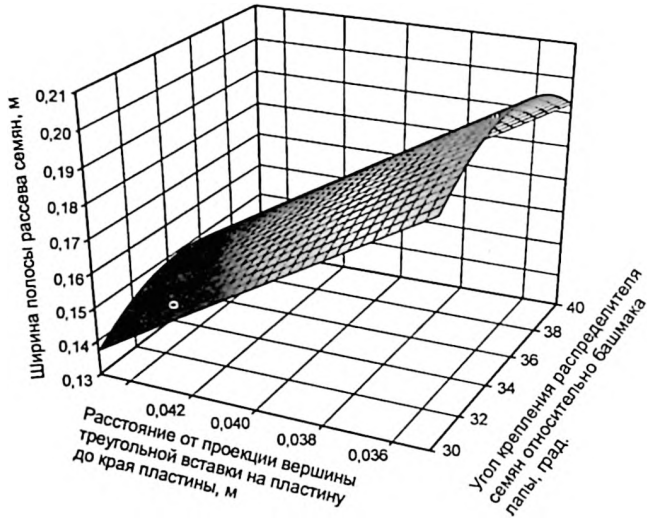


Рис. 3.36. Поверхность отклика  $V_{II} = f(\alpha, \Delta B)$  с углом при вершине пирамидоидального элемента  $\beta = 90^\circ$

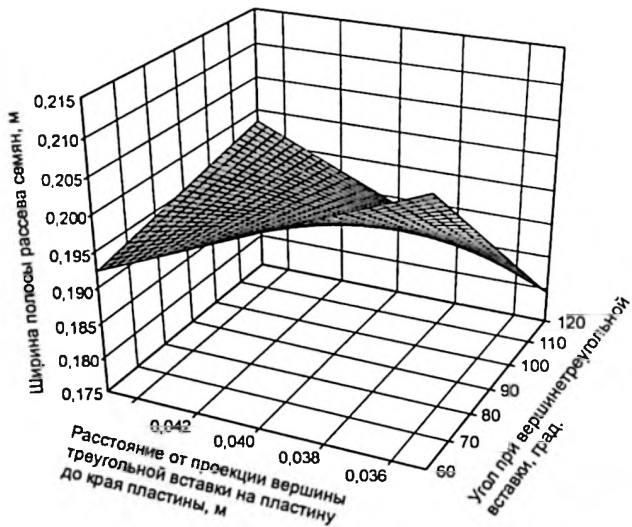


Рис. 3.37. Поверхность отклика  $v_* = f(\beta, \Delta B)$  для угла крепления распределителя семян относительно башмака лапы  $\alpha = 35^\circ$

Поиск оптимальных значений параметров проводили в программе «Mat-Lab» с использованием алгоритма «Lipsol».

В результате обработки экспериментальных данных определены оптимальные установочные параметры распределителя семян в сошниковой группы, которые приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21

### Оптимальные параметры сошниковой группы

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра
Угол крепления распределителя семян относительно башмака лапы	$\alpha$ , град.	$35 \pm 2^\circ$
Угол при вершине треугольной вставки	$\beta$ , град.	$90 \pm 5^\circ$
Расстояние от проекции вершины треугольной вставки на пластину до края пластины	АВ, м	0,04

На основе полученных значений изготовлены опытные образцы сошников для широкополосного посева сои (рис. 3.5), с помощью которых и проводились дальнейшие исследования.

#### б. Результаты исследований в почвенном канале

Исследования проводили для определения оптимальных технологических параметров работы сошниковой группы.

Исследования по оценке влияния скорости посева на ширину полосы и равномерность распределения по площади проводили на лабораторной установке (рис. 3.9) согласно методике п. 3.3.11.

Равномерность распределения растений по площади, оцененная соотношением количества квадратов  $0,05 \times 0,05 \text{ м}^2$ , представлена в таблице 3.22.

Таблица 3.22

### Влияние скорости движения агрегатов на равномерность распределения растений по площади поля

Скорость агрегата, $v$ , м/с	Среднее количество семян в ячейке, $0,05 \times 0,05 \text{ м}^2$	Дисперсия, $\sigma_2$	Среднеквадратическое отклонение $\sigma$	Коэффициент вариации $v$ , %
2,78	0,92	7,2	2,68	7,10
3,33	0,87	9,7	3,11	8,46
3,39	0,81	14	3,74	11,34

Согласно данным таблицы 3.22, с возрастанием скорости агрегата от 2,78 до 3,39 м/с значение коэффициента вариации увеличивается от 7,10 до 11,34 %, а среднее количество семян в ячейке уменьшается на 12 %. Это свидетельствует о том, повышение скорости движения сеялки вызывает ухудшение равномерности распределения семян и уменьшение их количества в ячейках.

Анализ равномерного распределения растений по площади, оценённого с учётом степени использования площади питания каждым растением показывает, что кратчайшие расстояния между семенами на скоростях движения 2,78; 3,33 и 3,39 м/с составили соответственно  $(5,45 \pm 0,17; 5,47 \pm 0,19$  и  $6,00 \pm 0,22) \times 10^{-2}$  м. Распределение семян в вариантах со скоростями движения 2,78 и 3,33 м/с существенной разницы не показало, однако по сравнению с третьим вариантом (скорость движения 3,33 м/с) разница существенна.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальная скорость движения составляет 2,78...3,33 м/с, а при увеличении скорости до 3,39 м/с происходит увеличение расстояний между семенами на 10,5 %.

Равномерность заделки семян по глубине при изменении скоростей движения составляла от  $(4,45 \pm 0,13) \times 10^{-2}$  м при коэффициенте вариации  $v_{\Pi} = 9,01\%$  (3,39 м/с), до  $(5,6 \pm 0,10) \times 10^{-2}$  м при  $v_{\Pi} = 7,2\%$  (3,33 м/с). Оценка по критерию Стьюдента показала несущественные изменения в опыте, что объясняется креплением сошника к грядилло параллелограммного механизма (Протокол № 02-10-04).

Распределение семян по ширине полосы в среднем по опыту составило 0,19 м при  $v_{\Pi} = 13,35\%$ . На скоростях движения 2,78, 3,33 и 3,39 м/с – соответственно  $(20,27 \pm 0,66, 19,45 \pm 0,64$  и  $18,31 \pm 0,61) \times 10^{-2}$  м при коэффициентах вариации 12,55, 12,76 и 12,97 %. При оценке по критерию Стьюдента варианты первый и второй (2,78 и 3,33 м/с) существенной разницы не показали. В остальных комбинациях разница существенна.

В результате исследований по определению технологических параметров работы сошника выявлено, что оптимальной, в соотношении производительность – качество является скорость движения посевного агрегата 2,78...3,39 м/с.

### 3.7. Результаты полевых исследований машины многофункциональной универсальной с комплектом экспериментальных рабочих органов

Полевые исследования машины многофункциональной универсальной с комплектом экспериментальных рабочих органов проводили для проверки и подтверждения правильности лабораторных исследований и теоретических предположений. Исследования проводили в КФХ «Жуковина С. А.» Ивановского района Амурской области в 2008–2010 годах в составе технолого-технической системы биологического земледелия производства зерновых культур и сои (рис. 3.23) (Митков А. Л., 1978; Мунгалов В. А., 2009, с. 198–199; Сельванов А. П., 1959).

В ходе проведения исследований по определению глубины и ширины полосы выяснилось, что контрольный сошник высевал семена строкой (шириной 0,01...0,02 м), глубина посева при этом в среднем по годам составила  $(4,9 \pm 0,3) \times 10^{-2}$  м при  $\sigma = 0,15 \times 10^{-2}$  м и  $v_{\text{п}} = 26,6$  %. Экспериментальный сошник, на широкополосном способе, высевал семена на глубину  $(5,10 \pm 0,15) \times 10^{-2}$  м при  $\sigma = 0,06 \times 10^{-2}$  м и  $v_{\text{п}} = 9,14$  %, ширина полосы при этом составила  $(19 \pm 0,67) \times 10^{-2}$  м при  $\sigma = 0,31 \times 10^{-2}$  м и  $v_{\text{п}} = 13,71$  %.

В целом, даже при условии установки сошника на параллелограммном механизме, экспериментальный сошник движется более устойчиво в отличие от двухдискового, у которого при одинаковой установке глубины заделки семян наблюдается выглубление. Коэффициент вариации при посеве экспериментальным сошником на 17,46 % меньше, кроме того, экспериментальный сошник высевает семена полосой, обеспечивая тем самым более благоприятные условия для роста и развития растений.

После посева устанавливали учётные площадки и проводили операции по уходу за посевами.

По окончании вегетации культуры с учётных площадок проводили сбор снопов на определение биологической урожайности.

После сбора снопов на учётных площадках проводили замеры равномерности распределения растений по площади питания (табл. 3.23).

Таблица 3.23

**Результаты замеров равномерности распределения растений сои по площади питания (по кратчайшим расстояниям) по годам**

Показатель	2008	2009	2010	Среднее за 2008–2010 гг.
Число наблюдений	120	120	120	120
Среднее значение, $\times 10^{-2}$ м	5,11	5,19	5,33	5,21
Коэффициент вариации, %	8,65	9,80	9,58	9,51
Ошибка средней, $\times 10^{-2}$ м	0,04	0,05	0,05	0,03
Доверительный интервал, $\times 10^{-2}$ м	5,11 $\pm$ 0,08	5,19 $\pm$ 0,09	5,33 $\pm$ 0,09	5,21 $\pm$ 0,05

Затем производили уборку сплошным способом.

Урожайность сои в зависимости от способов посева за период 2008–2010 годов представлена в таблице 3.24 и на рисунке 3.38.

Таблица 3.24

**Биологическая урожайность в зависимости от способов посева сои**

Способы посева сои	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	Среднее за 2008–2010 гг.
	Урожайность, т/га			
Сплошной, машиной ММУ-3,6 с лаповыми сошниками	1,80	2,02	1,42	1,75
Широкорядный, с междурядьями 0,45 м, машиной ММУ-3,6 с серийными двухдисковыми сошниками	1,68	2,32	2,35	2,12
Широкополосный, машиной ММУ-3,6, с лаповыми сошниками	2,44	2,83	3,26	2,84
НСР <sub>05</sub>	0,41	0,43	0,86	-

Биологическая урожайность сои с участка, засеянного сплошным способом ММУ-3,6, оборудованной лаповыми сошниками, составила 1,75 т/га. С участка, засеянного с использованием ММУ-3,6, оборудованной серийными двухдисковыми сошниками, широкорядным способом биологическая урожайность была больше на 21,12 %, по сравнению со сплошным способом.



*Рис. 3.38. Урожайность сои в зависимости от типа исследуемых сошников и способов посева в полевых опытах*

Наибольшая урожайность сои (2,84 т/га) получена с участка, засеянного ММУ-3,6, оборудованной лаповыми сошниками, широкополосным способом, что соответственно на 62,68 и 34,31% больше по сравнению с первыми двумя вариантами.

Это объясняется тем, что при широкополосном способе посева семена сои распределяются равномернее, чем при широкорядном. Низкая урожайность при посеве сплошным способом вызвана отсутствием междурядных обработок и, как следствие, бурным развитием сорняков (выше порога экономической вредоносности).

Вышеуказанные сошники при закладке полевого опыта показали высокую равномерность заделки семян по глубине, отклонения от заданной глубины изменялось в пределах 0,0015...0,003 м в зависимости от вида сошника, что объясняет важность использования параллелограммной подвески сошника.

Как видим, одними из основных факторов, способствующих

повышению урожайности сои, являются качественная и своевременная борьба с сорными растениями, равномерность заделки семян сои по глубине и их распределения по площади образуемой полосы.

### 3.8. Результаты производственной проверки на посеве сои машины многофункциональной универсальной, оборудованной комплектом сменных рабочих органов

Результаты исследований показали, что машина многофункциональная универсальная, шириной захвата 3,6 м (ММУ-3,6), на посеве сои лаповыми сошниками качественно выполняет технологический процесс по глубине заделки семян  $(5,00 \pm 0,65) \times 10^{-2}$  м и ширине полосы семян  $(18,7 \pm 0,4) \times 10^{-2}$  м при коэффициенте вариации 16,8 % на скоростях движения агрегата 2,78...3,33 м/с. Следует отметить, что при посеве сеялкой СЗ-3,6 глубина заделки семян находилась в пределах 0,03...0,08 м. Результаты исследований подтверждают, что посевы сои, выполненные машиной ММУ-3,6 с равномерной заделкой по глубине  $(5 \pm 0,65) \times 10^{-2}$  м, показали более высокую урожайность сои по сравнению с посевами, выполненными серийной сеялкой СЗ-3,6.

Зависимость урожайности сои от способов посева в производственных условиях представлена на рисунке 3.39 (табл. 3.25).

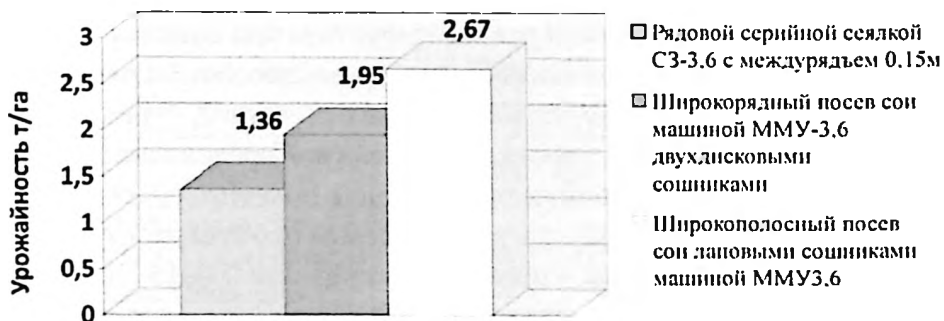


Рис. 3.39. Урожайность сои в среднем за три года на посеве в производственных условиях

**Урожайность сои в производственных условиях 2008–2010 гг.**

Способы посева сои	Годы закладки опытов			Среднее за 2008–2010 гг.
	2008	2009	2010	
	Биологическая (фактическая) урожайность, т/га			
Рядовой сеялкой СЗ-3,6 с междурядьем 0,15 м	-	1,60 (1,44)	1,42 (1,27)	1,51 (1,36)
Широкорядный, 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 с комбинированными лаповыми сошниками	2,44 (2,26)	2,83 (2,66)	3,26 (3,08)	2,84 (2,67)
НСР <sub>05</sub>	0,41	0,43	0,86	-

В производственных условиях при посеве сои машиной ММУ-3,6, с лаповыми сошниками, по сравнению с посевами серийной сеялкой СЗ-3,6 получена урожайность сои соответственно 2,84 т/га и 1,51 т/га, то есть на 1,33 т/га больше. Это говорит о том, что лаповый сошник создает твердое ровное ложе и равномерно по глубине заделки и по площади посева распределяет семена, значительно улучшая условия роста и развития по сравнению с рядовым посевом (двухдисковым сошником).

### **3.9. Результаты экспериментальных исследований и их анализ по изучению процесса боронования**

Экспериментальные исследования проводили с целью проверки разработанных теоретических положений.

В то же время следует отметить, что многие процессы, рассматриваемые в данной работе, практически не могут быть формализованы в силу множества неуправляемых факторов, поэтому более точным методом исследования являются эксперименты в реальных условиях эксплуатации.

## Результаты лабораторных исследований

1. Исследования по оптимизации параметров работы бороны БПРЗ-1,2 при удалении сорняков в состоянии искусственных «белых нитей».

После реализации плана эксперимента проводили подсчеты "белых нитей". Статистическую обработку результатов подсчета проводили по известной методике Б. А. Доспехова (Доспехов Б. А., 1985). Для определения значения критерия отклика по каждому опыту в пяти повторностях на зачетной площадке производили замеры угла атаки, а так же гребнистость поверхности почвы. Данные записывали в ведомость, и затем рассчитывали значения откликов по средним значениям всех повторностей.

Для нахождения коэффициентов полинома использовали ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 3.26) (Адлер Ю. П., Марков В. В., Грановский Ю. В., 1976).

Таблица 3.26

**Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и среднее значение откликов**

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1' = x_1^2 - d$	$x_2' = x_2^2 - d$	$x_3' = x_3^2 - d$	$Y(y)$ ср, %
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	53,00
2	-	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	56,00
3	+	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	48,00
4	-	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	53,00
5	+	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	48,00
6	-	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	57,00
7	+	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	42,00
8	-	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	45,00
9	1,215	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	53,00
10	-1,215	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	59,00
11	0	1,215	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	63,00
12	0	-1,215	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	59,00
13	0	0	1,215	-0,7303	-0,7303	0,7469	62,00
14	0	0	-1,215	-0,7303	-0,7303	0,7469	57,00
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	65,00

Ортогональное планирование позволяет получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча  $\alpha$  для трех факторов  $\alpha=1,2154$  и специальным преобразованием квадратичных переменных  $x_i^2$  по выражению

$$x'_i = x_i^2 - d, \quad (3.6)$$

где  $d$  – поправка, зависящая от числа факторов; для трех факторов  $d=0,7303$ . Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. В нашем случае при 4-х степенях свободы и 95 %-м уровне значимости  $t=2,77$ .

Реализация разработанного плана эксперимента позволила определить стабильный процент уничтожения искусственных сорняков  $Y$  при установленных параметрах, которые представлены в таблице 3.27.

В результате многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии в кодированном виде, определяющее параметры регулируемых факторов при которых обеспечивается стабильная работа бороны, при этом процент выбороненных сорняков наибольший  $Y$ :

$$Y=54,7-2,49x_1+2,82x_2+2,2x_3-7,25x_1^2-3,87x_2^2-4,88x_3^2 \quad (3.7)$$

$$Y_1=54,7+2,82x_2+2,2x_3-3,887x_2^2-4,88x_3^2 \quad (\text{при } x_1=0) \quad (3.8)$$

$$Y_2=54,7-2,49x_1+2,2x_3-7,25x_1^2-4,88x_3^2 \quad (\text{при } x_2=0) \quad (3.9)$$

$$Y_3=54,7-2,49x_1+2,82x_2-7,25x_1^2-3,87x_2^2 \quad (\text{при } x_3=0), \quad (3.10)$$

где  $Y_1, Y_2, Y_3$  – выходные критерии – процент выбороненности сорняков в состоянии «белой нити» после прохода секции бороны,  $x_1$  – расстояние между гребнями поверхности почвы после прохода бороны;  $x_2$  – угол атаки пружинных зубьев;  $x_3$  – скорость движения рабочего органа.

Адекватность полученных уравнений оценена по критерию Фишера. В нашем случае, при 95 %-м уровне значимости  $F_T=19,4$ , расчетное значение критерия Фишера составило  $F_R=17,669$ . Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Дисперсию адекватности определяли по методике, предложенной в работах Ю. П. Адлера, Б. А. Доспехова, А. М. Емельянова (Адлер Ю. П. [и др.], 1976; Доспехов Б. А., 1972; Емельянов А. М., Гуров А. М., 1984).

Для удобства расчетов уравнение регрессии представлено в раскодированном виде:

$$Y = -30 + 963b + 87,2\alpha_p + 8,42v_a - 18125b^2 - 32,2\alpha_p^2 - 1,22v_a^2 \quad (3.11)$$

На рисунках 3.40, 3.41 и 3.42 графически представлены результаты эксперимента, полученные на основе расчетов по программе «SigmaPlotv.11.0». Из анализа полученной регрессионной модели и поверхности откликов следует, что качество боронования бороны БПРЗ-1,2 зависит от трех факторов, введенных в план эксперимента: расстояния между гребнями поверхности почвы после прохода бороны ( $x_1$ ), угла атаки зубьев бороны ( $x_2$ ) и скорости движения агрегата ( $x_3$ ). Наибольшее влияние на процесс боронования оказывают факторы  $x_1$ ,  $x_3$ .

В результате обработки экспериментальных данных определены рациональные значения параметров бороны, которые приведены в таблице 3.27.

Таблица 3.27

### Оптимальные конструктивные параметры рабочего процесса бороны

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра
Расстояние между зубьями бороны	$b$ , м	$0,03 \pm 0,005$
Угол атаки зубьев бороны	$\alpha$ , град	65–85
Рекомендуемая скорость движения агрегата	$v_a$ , м/с	до 3,3

### 3.10. Оценка качества выполнения технологического процесса при полевых исследованиях бороны прополочной с регулировкой зубьев по глубине и углу атаки

В полевых условиях БПРЗ-1,2 навешивали на передний брус ММУ-3,6 и исследовали, на бороновании посевов сои до и по всходам в агрегате с трактором класса 1,4 в КФХ «Жуковина» Ива-

новского района Амурской области. Характеристика условий исследований приведена в таблице 3.28.

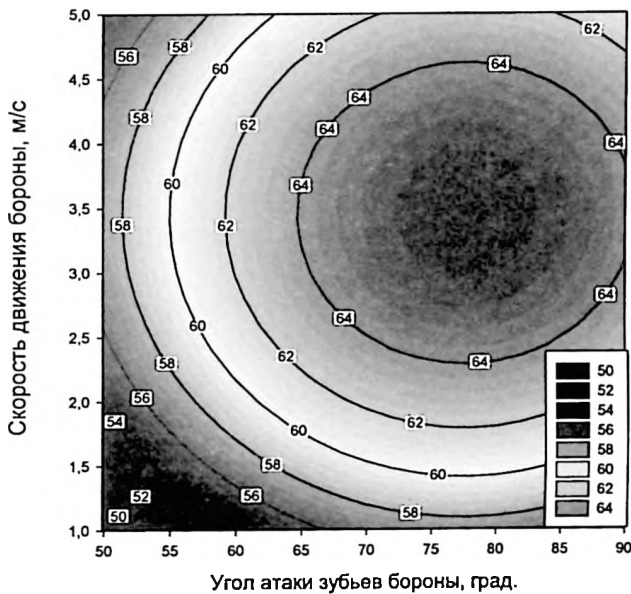
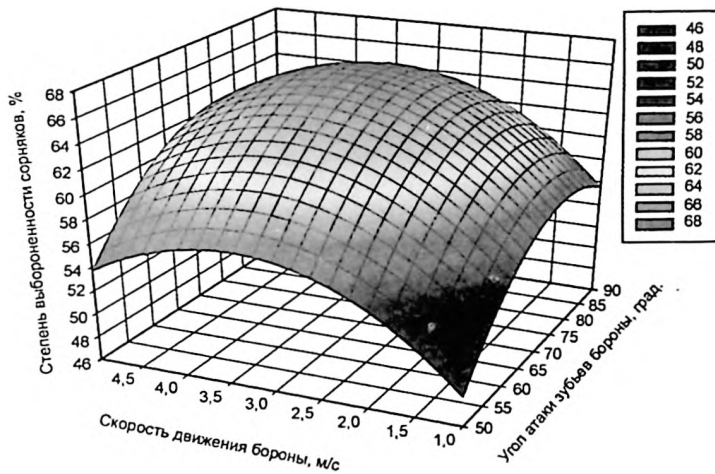


Рис. 3.40. Поверхность отклика  $Y = f(\alpha, v)$  и ее сечения

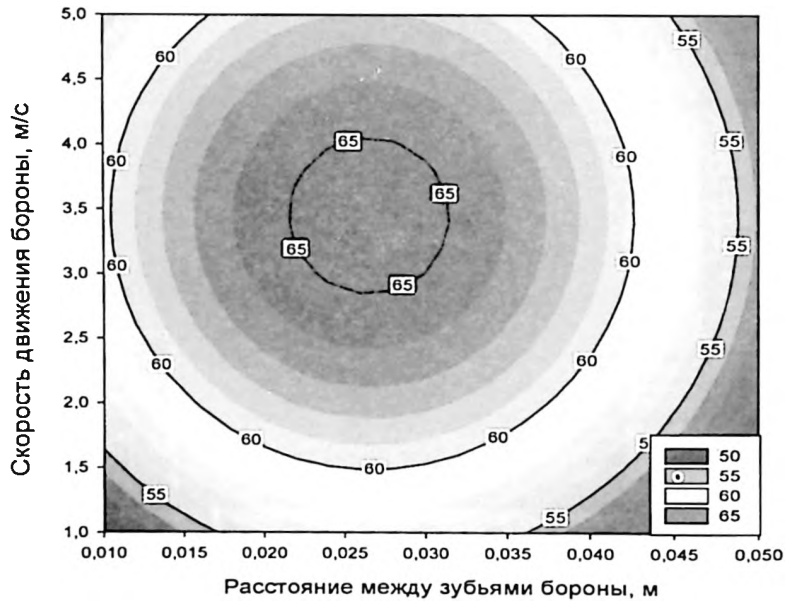
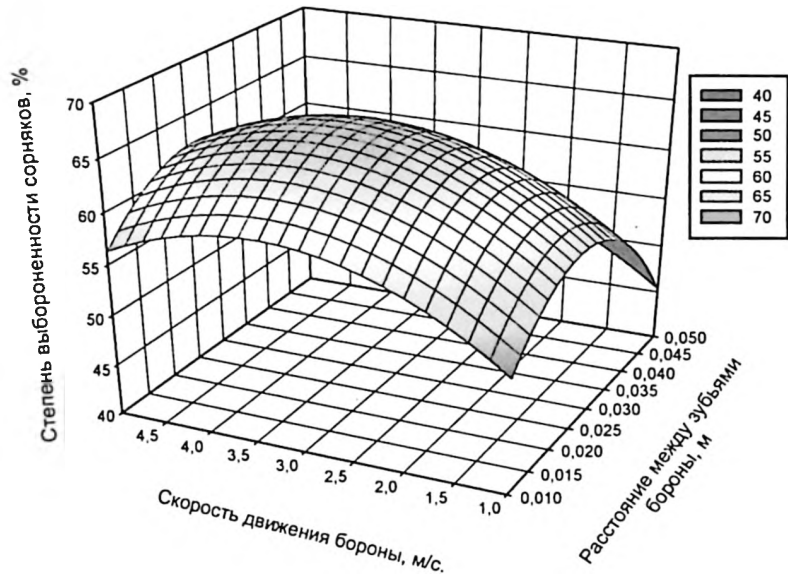


Рис. 3.41. Поверхность отклика  $Y=f(b, v)$  и ее сечения

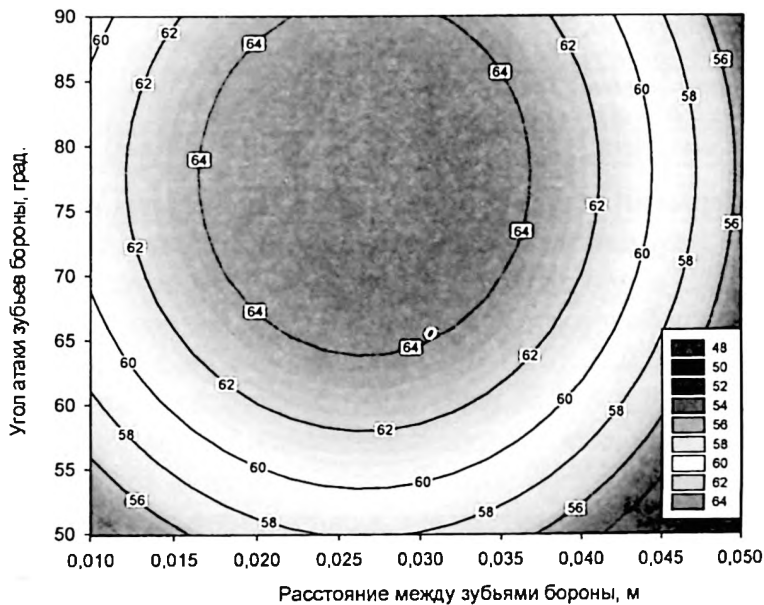
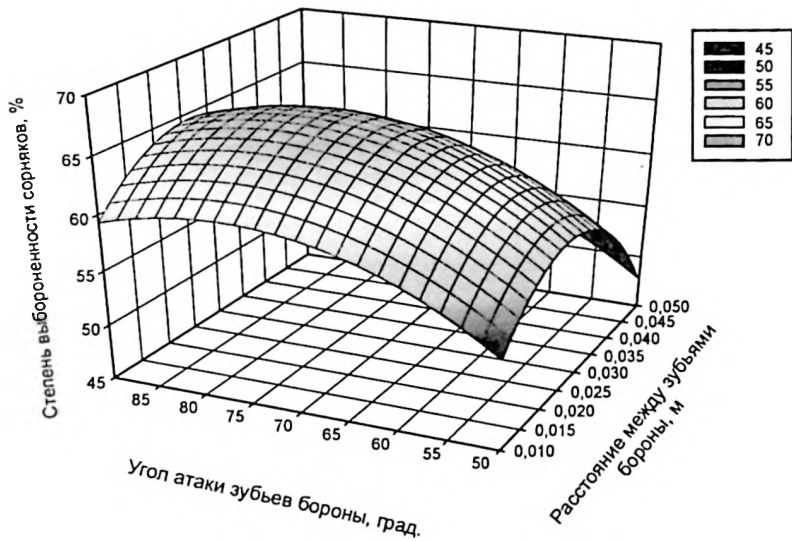


Рис. 3.42. Поверхность отклика  $Y=f(b, \alpha)$  и ее сечения

## Характеристика условий исследований и испытаний

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателей по годам		
		2008	2009	2010
1	Сроки проведения испытаний	4 июня–20 июня	28 мая–18 июня	24 мая–24 июня
2	Место проведения	КФХ «Жуковина» Ивановского района Амурской области		
3	Состав агрегата	МТЗ-82+3хБПРЗ-1,2		
4	Вид работы	Боронование посевов сои до всходов и по всходам		
5	Культура, сорт	Соя, сорт «Соната»	Соя, сорт «Лидия»	Соя, сорт «Соната»
6	Тип почвы и название по механическому составу	Пойменные, легкосуглинистые		
7	Рельеф	Ровный		
8	Микрорельеф	Мелко-волнистый	Выровненный	Выровненный
9	Основная обработка	Культивация Т150К+КПЭ-3,8+4БЗСС-1,0	Осень 2008 Вспашка МТЗ-82+ОВПП-2,5	Осень 2009 Вспашка МТЗ-82+ОВПП-2,5
10	Предпосевная обработка	Культивация Т150К+КПЭ-3,8+4хБЗСС-1,0	Культивация МТЗ-82+ММУ-3,6	Культивация МТЗ-82+ММУ-3,6
11	Влажность почвы, % в слое 0–0,10 м	≈ 16,19	≈ 10,42	≈ 25,73
12	Твердость почвы, МПа в слое 0–0,15 м	≈ 1,00	≈ 1,06	≈ 2,03
13	Предшественник	Пшеница	Сидеральный пар	Ячмень

Экспериментальная борона в полевых условиях показала следующие результаты. Средняя глубина обработки посевов была равна 0,025 м при  $\sigma = \pm 0,0012$  м;  $v = 4,9$  %. При довсходовом бороновании гребнистость – в пределах 0,025 м, расстояния между гребнями – 0,025...0,03 м, при влажности ( $W$ , %) почвы в горизонте 0...0,10 м – 18 % (табл. 3.28). Крупные комки почвы более 5 см отсутствовали. Скорость движения бороны до всходов составила  $v_a = 2,7$ –3,3 м/с. При бороновании по всходам скорость –  $v_a = 1,9$ –2,5 м/с, а уничтожение культурных растений в среднем была равна 1,2 % на широкорядных посевах (табл. 3.29).

Количество однолетних и многолетних сорняков после каждого прохода бороны определяли в период цветения сои, путем подсчета и взвешивания. Сорняки собирали с участков, размером

1,1 м x 0,45 м на каждой опытной делянке в трехкратной повторности. Данные по опыту представлены в таблице 3.30.

Таблица 3.29

**Результаты повреждения растений сои в зависимости от количества проведенных боронований по всходам при  $v_a=1,9...2,5$  м/с**

№ п/п делянки	№ п/п повторности								
	1 <sub>1</sub>	2 <sub>1</sub>	3 <sub>1</sub>	1 <sub>2</sub>	2 <sub>2</sub>	3 <sub>2</sub>	1 <sub>3</sub>	2 <sub>3</sub>	3 <sub>3</sub>
1	38	36	58	38	36	58	38	36	58
2	39	65	42	37	65	41	39	65	42
3	41	52	55	41	50	55	41	50	55
4	74	39	75	71	37	74	73	37	74
5	38	41	34	38	41	33	38	41	33
6	49	58	39	48	58	39	48	58	39
7	34	55	31	34	55	31	34	55	31
8	41	96	37	36	93	37	36	96	37
9	56	63	72	50	60	72	55	63	72
10	41	34	35	41	34	35	41	34	35
11	53	76	65	53	76	64	53	76	65
12	35	63	33	35	59	30	35	60	33
13	69	71	51	67	68	51	69	70	51
14	59	69	24	57	67	24	57	67	24
15	69	54	54	67	54	54	69	54	54
16	41	39	24	41	39	24	41	39	24

Таблица 3.30

**Количество, масса, длина однолетних и многолетних сорняков на делянках опыта с участков 1,1x0,45 м**

№ делянки 17			№ делянки 24			№ делянки 26			№ делянки 31		
сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.		
393	505	514	553	600	540	350	531	389	460	409	500
сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.		
8	4	3	1	3	1	6	1	4	10	5	5
масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г		
1940	1580	1620	2100	2300	1750	2100	1930	1900	2100	1600	1800
средняя высота			средняя высота			средняя высота			средняя высота		
85	80	79	75	85	79	70	75	75	100	70	70
№ делянки 18			№ делянки 22			№ делянки 28			№ делянки 29		
сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.		
353	211	384	430	359	450	301	339	403	283	320	350

сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.		
0	4	0	1	1	3	1	2	6	1	2	5
масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г		
1120	1400	1240	1420	1350	1450	1250	1300	1700	1350	1250	1510
средняя высота			средняя высота			средняя высота			средняя высота		
78	90	75	70	70	75	90	80	75	85	85	70
№ делянки 19			№ делянки 21			№ делянки 27			№ делянки 32		
сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.		
230	321	405	290	300	360	263	314	241	340	268	203
сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.		
0	0	2	0	0	3	3	4	8	2	11	7
масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г		
800	810	1010	850	750	890	820	1100	1500	690	820	700
средняя высота			средняя высота			средняя высота			средняя высота		
65	65	60	60	70	70	65	70	75	75	80	75
№ делянки 20			№ делянки 23			№ делянки 25			№ делянки 30		
сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.			сорняк однолетний, шт.		
220	300	250	220	77	300	315	405	330	190	120	120
сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.			сорняк многолетний, шт.		
0	5	0	0	7	0	3	0	3	3	1	3
масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г			масса общая, г		
400	790	650	670	890	700	740	500	600	500	370	500
средняя высота			средняя высота			средняя высота			средняя высота		
50	70	60	50	30	50	50	60	55	30	40	40

Количество культурных растений на опытных делянках перед первым боронованием бороной БПРЗ-1,2 по всходам (1,2,3), количество культурных растений после первого боронования (1,2,3), количество культурных растений после второго боронования (1,2,3).



Рис. 3.43. Масса, количество и высота однолетних и многолетних сорняков, собранных с опытных делянок в трехкратной повторности в период цветения растений сои, влияющих на ее урожайность (2010 г.)

При определении урожайности на экспериментальных участках были получены следующие показатели (табл. 3.31):

Таблица 3.31

### Биологическая урожайность с деленок опыта

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 + одно по всходам боронования	2,26	2,41	2,32	2,33
Полный уход за посевом (без гербицидов)	2,26	2,48	2,30	2,35

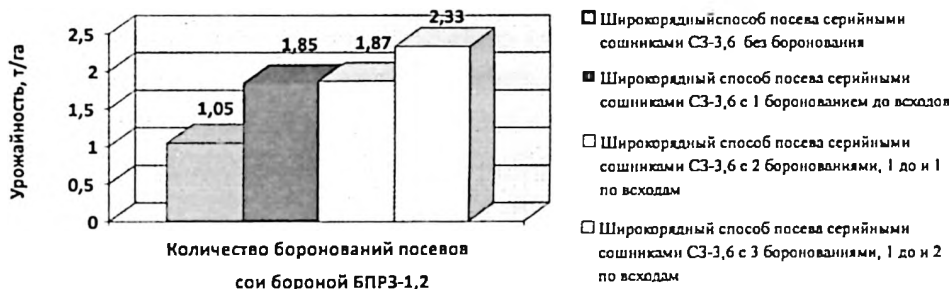


Рис. 3.44. Биологическая урожайность сои с опытных деленок в зависимости от количества боронований, выполненной БПРЗ-1,2 (2008–2010 гг.)

### 3.11. Результаты производственной проверки бороны прополочной БПРЗ-1,2 при уходе за ширококорядными посевами сои

Результаты исследований показали, что борона прополочная БПРЗ-1,2, шириной захвата 3,6 м, при уходе за посевами сои качественно выполняет технологический процесс по глубине обработки посевов 0,025...0,0012 м и гребнистости 0,025...0,03 м, при коэффициенте вариации 4,9 % на скоростях движения 1,9...3,3 м/с.

Следует отметить, что при выполнении операций по уходу за посевами сои бороной прополочной без применения гербицидов (два слепых + одно по всходам боронования) отмечена более высокая урожайность, чем при внесении гербицидов.

Урожайность сои в производственных условиях представлена на рисунке 3.45 и в таблице 3.32.

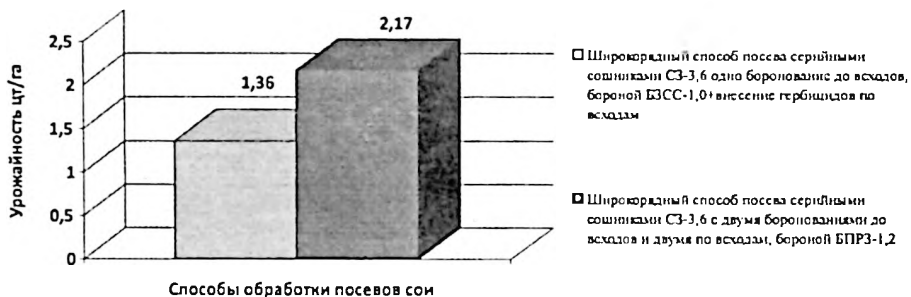


Рис. 3.45. Урожайность сои в среднем за три года на посевах сои в производственных условиях

Таблица 3.32

### Урожайность сои в производственных условиях 2008–2010 гг.

Способы ухода за посевами сои	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	Среднее значение
	Бункерная урожайность, т/га			
Одно боронование по всходам (БЗСС-1,0) + внесение гербицидов по всходам	-	1,44	1,27	1,36
Два боронования до всходов + два боронования по всходам (БПРЗ-1,2)	2,09	2,24	2,16	2,17

### 3.12. Сравнительная характеристика теоретических и экспериментальных исследований тягового сопротивления бороны

По экспериментальным данным коэффициент  $f$  колебался в пределах 0,1...0,15, масса бороны составляла 400 кг со сцепкой шириной захвата 3,6 м. Подставляя данные в формулу (2.267), полу-

чим тяговое усилие бороны секционной, с шириной захвата одной секции равной 1,2 м, количество зубьев на одной секции – 42 шт. (рис. 3.46).

Из теоретических расчетов, проведенных по формуле (2.267), следует, что тяговое усилие бороны шириной захвата 3,6 м при разных скоростях и углу атаки зубьев равной  $90^\circ$ , равно:

при скорости, равной 1,9 м/с и массе бороны 400 кг

$$P = 186 \text{ кгс} = 1860 \text{ Н};$$

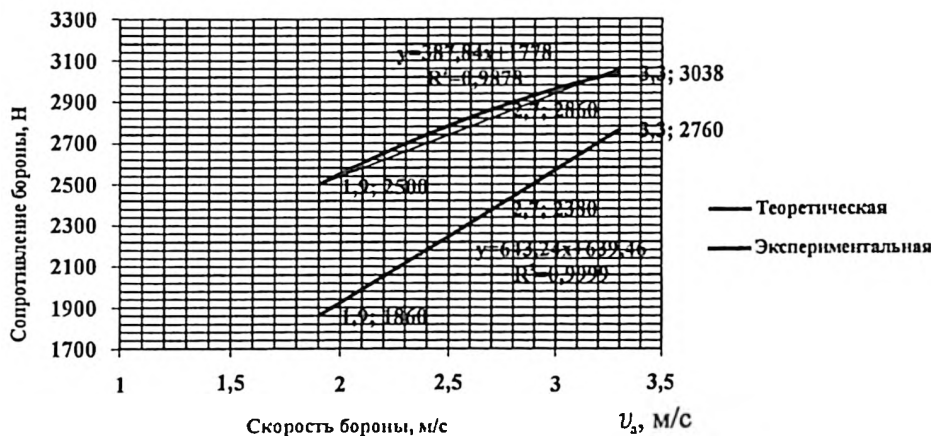
при скорости, равной 2,7 м/с и массе бороны 400 кг

$$P = 238 \text{ кгс} = 2380 \text{ Н};$$

при скорости, равной 3,2 м/с и массе бороны 400 кг

$$P = 276 \text{ кгс} = 2760 \text{ Н}.$$

По формуле (2.267) получим, что при угле атаки  $90^\circ$  и скоростях движения  $v_a = 1,9\text{--}3,2$  м/с расчетное сопротивление почвы перемещению трехсекционной бороны равно 1860...2760, что хорошо согласуется с нашими экспериментальными данными. Так, в пределах скоростей движения, указанных выше, экспериментальное значение сопротивление почвы перемещению бороны шириной захвата 3,6 м составляло 2011...3038 Н.



**Рис. 3.46. Зависимости изменения сопротивления бороны от скорости ее движения**

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований получены математические модели оценки рабочего процесса роторного орудия с активным рабочим органом, на основании которых обоснованы его оптимальные параметры:

угловая скорость вращения сферических дисков –  $\omega_g = 200 \text{ с}^{-1}$ ;

шаг установки дисков  $t_n = 0,2 \text{ м}$ ;

угол атаки  $\alpha = 18^\circ$ , при диаметре сферических дисков, равном  $\varnothing = 0,65 \text{ м}$ , числе зубьев  $Z_3 = 8$  и скорости агрегатирования  $v_\alpha = 10\text{--}12 \text{ км/ч}$ .

На основе эксперимента обоснованы оптимальные значения параметров ММУ, при которых обеспечивается равномерное распределение семян при посеве зерновых и сои лаповым сошником при различных способах посева, а также равномерное рыхление почвы при культивации. При этом установлено, что оптимальные значения скорости движения агрегата находятся в пределах  $v_\alpha = 9,1\text{--}11 \text{ км/ч}$ .

Экспериментально установлены оптимальные значения параметров пружинно-пальцевой бороны:

расстояние между зубьями  $t = 0,03 \text{ м}$ ;

угол атаки зубьев  $\alpha = 60^\circ\text{--}80^\circ$ , при глубине обработки  $h = 0\text{--}2,5 \text{ м}$  и скорости движения агрегата  $v_\alpha = 2,5\text{--}3,0 \text{ м/с}$ .

На основании полученных результатов разработан ряд технологических и технических решений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами на изобретения: А. с. № 1366087 (рабочий орган для подпочвенного внесения минеральных удобрений); патенты: РФ № 2004093 (почвообрабатывающее орудие для междурядной обработки почвы), № 2005335 (рабочий орган для безотвальной обработки почвы), № 2158072 (сошник для разбросного посева), № 2219696 (сошник стерневой сеялки), № 2222881 (секция сеялки культиватора), № 2268561 (секция сеялки-культиватора), № 2363126 (способ воспроизводства плодородия почвы в коротко-ротационных севооборотах), № 2356211 (лаповый сошник), № 2369070 (лаповый сошник), № 2381642 (комбинирован-

ный дисковый сошник), № 2387120 (способ увеличения эффективного плодородия почвы); патенты на полезную модель: № 72111 (секция бороны с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами), № 93198 (шарнирно-пружинная борона для ухода за посевами).

Производственной проверке результатов исследований предшествовали разработка технической документации и изготовление опытных образцов машин в ОПКТБ ДальНИПТИМЭСХа в 1999–2008 гг. (переименованного в ДальНИИМЭСХ 29.09.2009 г.), а также проведение приёмочных испытаний в Амурской государственной зональной машиноиспытательной станции согласно следующим протоколам:

- №02-04-99 (1030042) «Многооперационной машины для основной и предпосевной обработки почвы с внесением основной дозы минеральных удобрений» (блочно-модульной конструкции);

- № 02-04-03 (1030052) «Сеялка для прямого посева зерновых культур – СПЗ-3,6»;

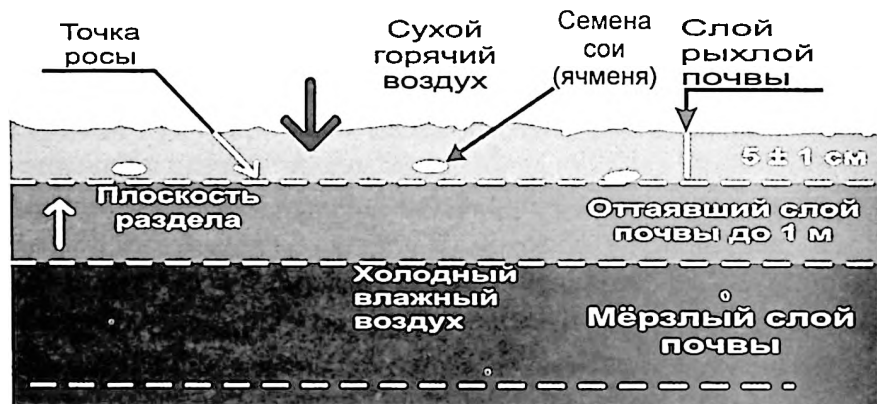
- № 02-10-04 (4020642) «Многофункциональная машина для предпосевной обработки почвы, посева зерновых и сои и ухода за посевами»;

- № 02-07-08 (1010012) «Орудие для воспроизводства плодородия почвы, шириной захвата 2,4 м.-ОВПП-2,4»;

- № 02-04-10 (1210012) «Технологическая система биологического направления производства зерновых и сои в трехпольном севообороте».

Предлагаемая технологическая 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 влагообеспечен-

ности растений в ранний период развития, что основано на физическом законе росообразования (рис. 3.47) и согласуется с данными И. Е. Овсинского. Его механизм заключается в следующем: за счёт разницы температур между горячим воздухом над почвой и прохладным воздухом уплотненного ложа идёт дневной процесс росообразования на глубине 4...5 см от поверхности почвы. Ночью, наоборот, более влажный и теплый почвенный воздух конденсирует влагу на рыхлой поверхности почвы.



*Рис. 3.47. Схема полосного посева сои лановыми сошниками, вызывающим росообразование*

В целях освоения в производстве ресурсосберегающей технологической системы разработан комплекс машин для основной обработки почвы без образования плужной подошвы, посева и ухода за посевами сои и зерновых культур.

Результаты проверки данной технологии с новым комплексом машин в производственных условиях КФХ «Жуковина» Ивановского района Амурской области показали, что можно перейти со средств химизации на природные источники повышения продуктивности растений и значительно уменьшить механическое воздействие на почву. Так, при возделывании зерновых культур по традиционной индустриальной технологии требовалось 14 операций, с использованием тяжёлых колёсных тракторов класса 5 и

выше, то по энерго-, ресурсосберегающей технологии всего 8 операций, т. е. на 42 % меньше. Эффективно при этом используются тракторы более лёгкого класса 1,4...2,0, что позволило снизить затраты труда на 53,8 %, расход топлива в 1,3 раза. На возделывании сои количество операции сократилось в 1,5 раза, затраты труда снизились на 22,3 %, расход топлива в 1,5 раза по сравнению с базовой технологией.

Результаты фоновых агрохимических обследований полей за 9-летний период по внедрению региональной ресурсосберегающей технолого-технической системы с полем сидерального пара естественного травостоя для производства экологически чистой продукции растениеводства показали существенное увеличение гумуса в почве на 1,2 %, фосфора на 13 мг/кг и калия на 368 мг/кг, что положительно отразилось на повышении плодородия почвы (Рекубрацкий Г. М., 1982).

Следует отметить, что технолого-техническая система (ТТС) биологического земледелия не направлена против применения минеральных удобрений, а, в отдельных случаях, и гербицидов. Она служит для восстановления естественного плодородия почвы и снижения техногенного воздействия на почву при одновременном увеличении урожая. ТТС выполнена на мировом уровне, защищена двенадцатью патентами РФ на изобретения, отвечает требованиям производства экологически чистой продукции растениеводства в условиях Амурской области.

Результаты производственной проверки региональной ресурсосберегающей ТТС биологического земледелия при возделывании зерновых и сои в короткоротационном 3-польном севообороте с полем сидерального пара («питательный субстрат») за период 2008–2010 гг. (первая ротация) показали увеличение урожайности зерновых культур и сои. Так, после обработки сидерального пара из естественного травостоя в июле 2008 году почвообрабатывающим орудием роторного типа с активным приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора МТЗ-82 с одно-

временной заделкой растительной массы в верхний слой почвы 0...15 см, а весной (апрель) 2009 года провели предпосевное боронование и посев ячменя сорта Ача ММУ-3,6 подпочвенно разбросным способом лаповыми сошниками в сравнении с посевом, выполненным серийной сеялкой СЗ-3,6 с двухдисковыми сошниками с междурядьями 15 см. Урожайность ячменя при посеве ММУ-3,6 составила 3,57 т/га, что на 0,96 т/га, (при НСР<sub>05</sub>=0,24 т/га) больше в сравнении с посевами, выполненными серийной сеялкой СЗ-3,6. После уборки ячменя, поле два раза обработали в сентябре месяце 2009 года почвообрабатывающим орудием с активными рабочими органами в агрегате с трактором МТЗ-82 на глубину 15 см с одновременной заделкой измельченной соломы и стерни в верхний слой.

Весной (27.05.2010) провели предпосевную культивацию машиной ММУ-3,6 под посев сои. Влажность почвы в горизонтах 0...15 см в среднем была равна 24,4 % на сухую навеску, а твердость почвы – 1,17 кгс/см<sup>2</sup>.

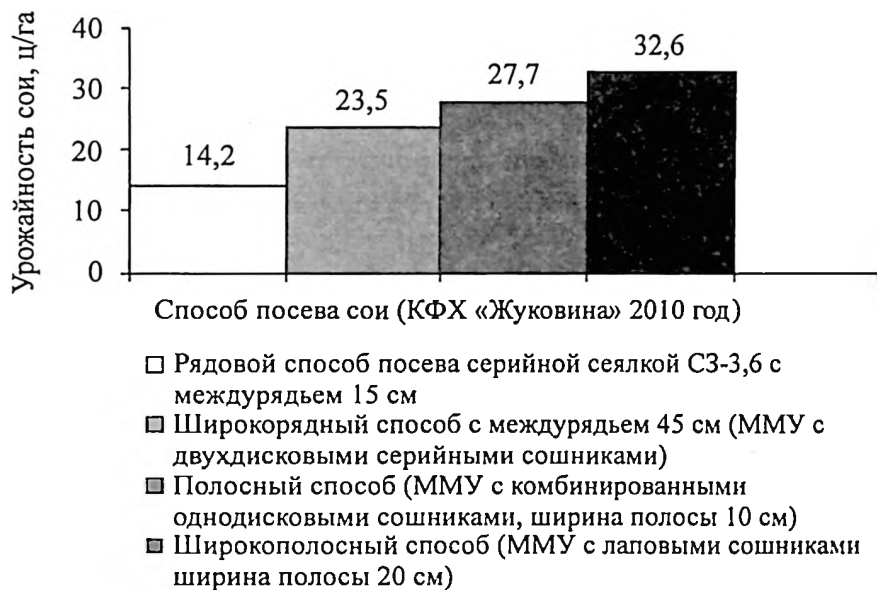
28 мая 2010 года провели посев сои сорта «Лидия», норма высева – 120 кг/га, машиной ММУ-3,6 тремя способами:

- 1-й способ посева сои – широкополосный, лаповыми сошниками с шириной полосы 20 см;
- 2-й способ посева сои – полосный, однодисковыми комбинированными сошниками с одновременным прикатыванием семян сои во влажную почву и закрытием их рыхлым слоем почвы, ширина полосы – 10 см;
- 3-й способ посева сои – широкорядный с шириной междурядий 45 см двухдисковыми серийными сошниками, установленными на ММУ-3,6.

Эти три способа посева сои выполнялись ММУ-3,6 с различными типами сошников, установленных на грядилях с параллелограммным механизмом крепления с междурядьями 45 см и сравнивались с рядовым способом посева сои серийной сеялкой СЗ-3,6 с междурядьями 15 см агрегатировались машины с трактором

МТЗ-82. Влажность и твердость почвы в горизонте 0...10 см при посеве в среднем была равна 24,6 % и 0,98 кгс/см<sup>2</sup> соответственно. Показатели урожайности сои в зависимости от способа её посева приведены на рисунке 3.48.

Следует отметить, что в соответствии с базовой технологией для борьбы с сорняками по всходам сои был применён химический метод с использованием баковой смеси «Пивот+Базагран» – 6 л/га, а по новой ТТС после посева сои проведены два боронования до всходов и два боронования всходов новой секционной бороной с регулировкой зубьев по глубине на 2,5 см и углу атаки 65° (БПРЗ-1,2) в агрегате с трактором МТЗ-82. Процент повреждения культурных растений в период всходов сои в среднем составил 1,5 %. После боронования в соответствии с агросроками, провели ММУ-3,6 три междурядные культивации с односторонними бритвенными лапами, рыхлителями и роторными катками.



**Рис. 3.48. Влияние способа посева сои на урожайность (КФХ «Жуковина», 2010 г.)**

Из рисунка 3.48 видно, что наименьшая урожайность получена при посеве сеялкой СЗ-3,6. Причиной тому явилась неравномерность заделки семян сои по глубине, которая колебалась от 3 до 8 см, что зависело от конструкции сошниковой группы, закреплённой на поводковых гряделях. Указанный недостаток учтён при разработке и изготовлении ММУ-3,6.

В посевах, проведённых ММУ-3,6, была выдержана заданная глубина заделки семян независимо от применяемых сошников, отклонения не превышали  $\pm 0,67$  см (менее 1 см), что соответствует современным требованиям и подтверждает, что одним из основных факторов, влияющих на урожайность, является равномерность заделки семян по глубине. Но наши исследования подтверждают, что и равномерность распределения семян по площади образуемой полосы способствует повышению урожайности по сравнению с рядовым посевом. Как видно из рисунка 5.2, наибольшая урожайность сои получена при широкополосном способе посева, с шириной полосы 20 см – 3,26 т/га и полосном, с шириной полосы 10 см – 2,77 т/га.

Из выше изложенного следует вывод, что исследования в производственных условиях по внедрению региональной ресурсосберегающей ТТС с новой энергоэффективной техникой для производства экологически чистой продукции сои и зерновых культур в коротко ротационном 3-польном севообороте за одну ротацию позволили увеличить урожайность зерновых и сои в среднем в 2,5 раза по сравнению с многолетними средними показателями урожайности этих культур по Амурской области.

Многолетней производственной проверкой орудия с активными рабочими органами на обработке сидеральных паров в агрегате с трактором МТЗ-80 в КФХ «Деметра» (глава Ю. П. Кириленко) подтверждено, что мелкая заделка растительной массы на глубину 0...8 см способствует не только быстрому её разложению, но и продуктивному прорастанию семян и росту корневой системы растений (Кириленко Ю. П., 2005; Рекубрацкий, 1982). Ус-

тановлено, что обработку сидеральных паров в Амурской области рекомендуется начинать в июле месяце, как самом теплом и влажном. Это вызывает практически взрывной характер повышения видового и количественного состава микроорганизмов, в почву больше выделяется биологически активных веществ, что повышает её плодородие и дает возможность отказа от химических средств защиты растений и перехода на биодинамическую систему выращивания. Применение гербицидов в данном случае нежелательно, так как может значительно снизить биологическую активность почвы. Поэтому орудие с активным приводом сферических дисковых рабочих органов шириной захвата 2,5 м на обработке почвы (сидерального пара) на глубину до 15 см с заделкой растительной массы в верхний слой почвы 0...8 см получило наименование «Орудие для воспроизводства плодородия почвы ОВП-2,5».

Следует отметить, что уменьшение глубины обработки от 26 до 15 см усложнило управление трактором в прямолинейном движении, так как стабилизатор нож, установленный на орудии, не выполняет, в этом случае, своей функции. Однако автором применено решение, которое изменило характер действия сферических дисков на почву и позволило взаимно уравновесить поперечные слагающие сил и обеспечить лёгкое управление и устойчивое прямолинейное движение агрегата. Для этих целей батарея со сферическими дисками была установлена с отрицательным углом резания, равным углу атаки  $180^\circ$ , что противоречит основам теории сферических дисковых рабочих органов, рекомендующей устанавливать их на оси секций с положительным задним углом резания  $3\div 5^\circ$ .

ОВП-2,5 в агрегате с гусеничным трактором тягового класса 2,0 (Т-70С) прошло производственную проверку в 2007 году на обработке сидерального пара с зеленой массой 375 ц/га и высотой стояния более 2 метров на площади 20 га в КФХ «Дементра» Благовещенского района и в агрофирме «Партизан» Тамбовского

района Амурской области на обработке почвы после уборки сои на площади 106 га в агрегате с трактором МТЗ-80. Качество обработки почвы соответствовало техническому заданию. Отклонение от заданной глубины обработки составило  $\pm 1,58$  см при рабочих скоростях 8,5...9 км/ч.

Производительность агрегата за час основного времени составила соответственно 2,04 и 2,16 га/ч, при удельном расходе топлива 6 л/га.

В период с 21.06.07 по 14.08.07 ОВПШ-2,5 находилась на приёмочных испытаниях на Амурской государственной зональной машиноиспытательной станции (Заключительный отчёт..., 09.01.02.04). Испытания проводились на двух фонах: 1-й фон – пар; 2-й фон – стерня после уборки сои.

Почвы луговые черноземовидные, суглинки. Участки полей характеризовались ровным рельефом. Влажность почвы в обрабатываемом слое 0...15 см составляла на первом фоне 34,66...36,35 %, (по техническому заданию (ТЗ) – не более 30 %), на втором фоне – в пределах технического задания, твердость почвы на всех фонах по слоям 0...5; 5...10; 10...15 см была в пределах от 0,6 до 13,4 кг/см<sup>2</sup> (по ТЗ до 14 кг/см<sup>2</sup>). Растительные и пожнивные остатки равномерно распределялись по поверхности поля без больших скоплений. Высота сорняков по фонам была в пределах от 10,4 до 33,4 см (по ТЗ любой высоты).

Испытания ОВПШ-2,5 в агрегате с трактором МТЗ-82 проводили при частоте вращения ВОМ трактора 540 об/мин. Рабочие органы обеспечивали рыхление почвы на глубину 13,3...16,3 см (по ТЗ до 15 см) как на первом, так и на втором фоне.

Рабочая скорость движения составляла 7,5...7,6 км/ч (по ТЗ – 7...10 км/ч). Согласно требованиям технического задания, при крошении почвы наличие комков размером до 50 мм должно составлять не менее 60 %; фактически – 75,2...83,3 %. Комки размером свыше 100 мм отсутствовали, что соответствует ТЗ. Гребнистость поверхности поля составила от 3,1 до 4,6 см (по ТЗ – не более

5 см), при этом рабочие органы обеспечивали подрезание корней сорняков на 100 %.

Забивание пространства между дисками почвой и растительными остатками не наблюдалось при влажности почвы до 30 %. При влажности почвы на первом фоне 36,35 % забивание наблюдалось.

Установлено, что ОВПП-2,5 устойчиво выполняет технологический процесс при влажности почвы до 30 % и по всем показателям качества работ соответствует техническому заданию. При одинаковых условиях испытаний, какие были при агротехнической оценке, проведена энергетическая оценка испытываемого орудия в соответствии с ОСТ 102.2-2002 методом тензометрирования. Результаты испытаний показали, что использование в качестве энергетического средства трактора МТЗ-82 в агрегате с ОВПП-2,5 наиболее эффективно при оборотах ВОМ – 540 об/мин. При сравнительно не высоком коэффициенте запаса мощности 0,54 и 0,55 на первом и втором фонах. Мощности и сцепного веса энергосредства (МТЗ-82) было вполне достаточно для устойчивого выполнения технологического процесса.

В этих же условиях проведена и эксплуатационно-технологическая оценка ОВПП-2,5 согласно ГОСТ 24055, ГОСТ 24057. Производительность за час сменного и эксплуатационного времени составила на первом фоне 1,35/1,35 га/ч, на втором фоне 1,45/1,45 га/ч. Снижение производительности на первом фоне объясняется высокой влажностью почвы – 36,35 %, так как имело место забивание почвой междискового пространства. Это требовало затрат времени на очистку междискового пространства. Коэффициент использования эксплуатационного времени составил 0,75 на первом и 0,81 на втором фоне (в ТЗ – 0,75). Удельный расход топлива при этом находился на уровне 7,3 кг/га на первом фоне и 6,7 кг/га на втором фоне. Полученные результаты эксплуатационно-технологической оценки позволяют сделать вывод, что ОВПП-2,5 по основным показателям работы соответствует требованиям ТЗ и может применяться по своему назначению.

Сравнительную экономическую оценку работы ОВПП-2,5 в агрегате с трактором МТЗ-82 на обработке сидерального пара на глубину  $15 \pm 2$  см, с заделкой растительной массы высотой более 1 м в верхний слой почвы 0...8 см, определяли в сравнении с комплексом серийных машин, выполняющих данный процесс – прикатывание растительной массы высотой более 1 м катками ЗКВГ-1,4 в агрегате с трактором МТЗ-82; измельчение растительной массы БДТ-3 в агрегате с трактором ДТ-75М; вспашка плугом ПЛН-4-35 в агрегате с трактором ДТ-75М. Оценка проведена по ГОСТ 23720 «Методы экономической оценки специализированных машин» и ОСТ 10.2.18 «Испытание сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки».

Анализ результатов экономической оценки работы ОВПП-2,5 в сравнении с серийным комплексом машин показал снижение себестоимости механизированных работ на 69,6 %, трудоёмкости – на 68,6 %, экономию ГСМ в 3,4 раза. Годовой экономический эффект от использования ОВПП-2,5 в агрегате с трактором МТЗ-82 на обработке сидерального пара с заделкой растительной массы в верхний слой почвы 0...8 см по сравнению с серийным комплексом машин составил в сумме 201613 рублей.

Машина ОВПП-2,5 проста по конструкции и надёжна в работе. Правильное её использование на обработке сидеральных паров в агрегате с тракторами тягового класса 1,4...2,0 обеспечивает повышение плодородия почвы и позволяет значительно уменьшить материальные и трудовые затраты, расход топлива на 1га пашни и обеспечить прирост урожайности возделываемых культур.

Расчёты по оценке эффективности результатов исследований выполнены на основе сравнения базовых технологий с традиционными техническими средствами и новых ресурсосберегающих технологий с техникой нового поколения для возделывания сельскохозяйственных культур, разработанных соискателем (орудие для обработки сидеральных паров и залежных земель с одновремен-

ной заделкой зелёной и сухой массы на 1/3 глубины обработки с активным приводом рабочих органов, не образующих плужную подошву; машина многофункциональная универсальная со сменными комбинированными сошниками для предпосевной подготовки почвы с локальным внесением минеральных удобрений, посева зерновых и сои различными способами, включая и прямой посев, уход за посевами; секционная борона с пружинными зубьями, регулируемые по глубине обработки почвы и углу атаки для боронования посевов в ранний период развития растений). Этот комплекс из 3-х вышеуказанных машин, позволяет своевременно и с высоким качеством выполнять весь объём технологических операций в агрегате с тракторами класса 1,4 (МТЗ80/82).

Показатели результатов экономической эффективности, полученные от разработки и внедрения новых технологий и технических средств для их реализации приведены в таблице 3.33.

Из анализа приведённых данных следует вывод, что освоение ресурсосберегающих технологий на основе использования комплекса новых технических средств обеспечивает существенное снижение всех видов затрат.

Так, эксплуатационные затраты в новом варианте по сравнению с традиционными сокращаются при возделывании ячменя на 51,82 %; сои – на 56,05 %; капитальные вложения – соответственно на 52,63 и 51,94 %; затраты труда – на 53,85 и 22,58 %. Уменьшение количества технологических операций на возделывании ячменя и сои позволили снизить расход топлива соответственно в 1,3 и в 1,5 раза по сравнению с базовыми технологиями. Экономия топлива на 1 га пашни составляла 20 кг при возделывании ячменя и 22 кг при возделывании сои.

Проведённая многолетняя и широкая хозяйственная проверка результатов исследований путём использования разработанных технологических и технических решений позволила установить следующие зависимости 5.1–5.3.

Таблица 3.33

**Основные показатели экономической эффективности базовых технологий  
по сравнению с новыми технологиями**

Элементы затрат	Условные обозначения	Выращивание и уборка ячменя		Выращивание и уборка сои	
		базовая технология	новая технология	базовая технология	новая технология
Объем работ, га	Q	100,00	100,00	100,00	100,00
Затраты труда на 1 га чел/ч	ЗТ <sub>о</sub>	6,24	2,88	4,96	3,84
Экономия затрат труда чел/ч	Э <sub>т</sub>	-	336,00	-	112,00
Относительное снижение затрат труда, %	И <sub>т</sub>	-	53,85	-	22,85
Годовой экономический эффект, по издержкам, руб.	Э <sub>голд</sub>	-	641944,00	-	618336,00
Капитальные вложения, руб.	К	3760471,00	1781344,00	2968780,00	1426885,00
Удельные капитальные вложения, руб/га	К <sub>уд</sub>	37605,00	17813,00	29699,00	14269,00
Удельные эксплуатационные вложения, руб/га	И <sub>уд</sub>	12389,00	5969,00	11032,00	4849,00
Удельные приведенные затраты, руб/га	З	19910,00	9532,00	16972,00	7703,00
Затраты совокупной энергии на производство продукции растениеводства, МДж	З <sub>э</sub>	341226,00	256489,00	285255,00	192802,00
Удельные затраты совокупной энергии		3412,00	2565,00	2853,00	1928,00
Годовой экономический эффект по приведенным затратам, руб.	Э <sub>год</sub>	-	1037769,66	-	926934,62
Валовой сбор, т		246,00	336,00	151,00	284,00
Получено энергии с зерном, МДж		2968531,00	4054579,00	2499126,00	4700342,00
Валовой доход, руб.	В <sub>д</sub>	-	450000,00	-	1330000,00
Годовой экономический эффект, руб.	Э <sub>год</sub>	-	1487769,66	-	2256934,62
Срок окупаемости, лет		-	1,00	-	1,00
Энергетический эффект, МДж		-	1170785,01	-	2293669,57
Расход топлива по всему объему выполненных технологических операций, т		8,00	6,00	6,70	4,50
Экономия топлива на 1 га пашни, кг		-	20,00	-	22,00

- для прироста содержания гумуса в почве

$$q = 3,0 + 0,133 t_{TP}; \quad (3.12)$$

- для прироста урожайности ячменя

$$\Delta Y_{Я} = 26,1 + 24\Delta q_{Я}; \quad (3.13)$$

- для прироста урожайности сои

$$\Delta Y_{С} = 26,1 + 24\Delta q_{С}, \quad (3.14)$$

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

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

Эти закономерности получены нами путём обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

Результаты исследований представлены в таблицах 3.34, 3.35 и на рисунках 3.49–3.51.

Таблица 3.34

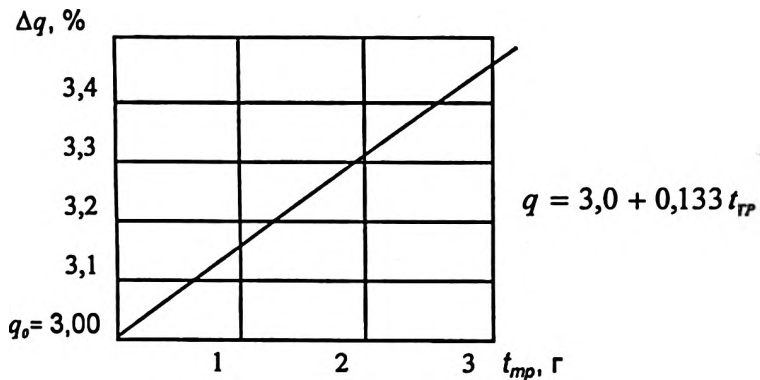
**Параметры прироста содержания гумуса в почве  
в зависимости от продолжительности биотрансформации  
биомассы и использования разрабатываемого комплекса  
машин**

Продолжительность биотрансформации биомассы (годы)	Прирост содержания гумуса $q = 3,0 + 0,133 t_{TP}$ , %
1	3,133
2	3,266
3	3,399

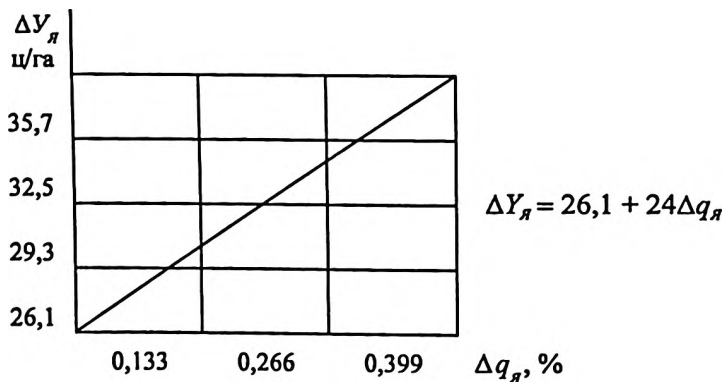
Из рисунков 3.49-3.51 видно, что прирост содержания гумуса в почве находится в прямой зависимости от продолжительности биотрансформации биомассы, а также зависимости прироста урожайности ячменя и сои от прироста содержания гумуса в почве.

**Показатели прироста урожайности ячменя и сои в зависимости от ежегодного прироста содержания гумуса в почве и использования комплекса машин**

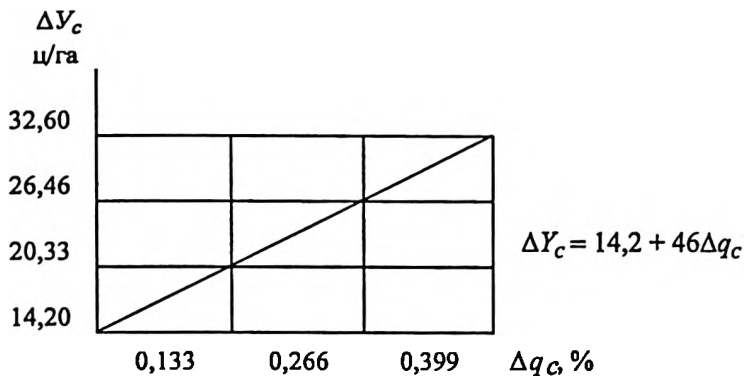
Ежегодный прирост содержания гумуса в почве, $\Delta q_{\text{я}}$ , $\Delta q_{\text{с}}$	Показатели прироста урожайности ячменя, $\Delta Y_{\text{я}} = 26,1 + 24\Delta q_{\text{я}}$	Показатели прироста урожайности сои, $\Delta Y_{\text{с}} = 14,2 + 46\Delta q_{\text{с}}$
1-й год - 3,133	51,164	62,135
2-й год - 3,266	52,228	64,170
3-й год - 3,399	53,292	66,205



**Рис. 3.49. Зависимость прироста содержания гумуса в почве от продолжительности биотрансформации биомассы**



**Рис. 3.50. Зависимость прироста урожайности ячменя от прироста содержания гумуса в почве**



**Рис. 3.51. Зависимость прироста урожайности сои в зависимости от прироста содержания гумуса в почве**

Таким образом, новые технологии с использованием технических средств нового поколения производительнее традиционных технологий. Следовательно, предлагаемая технологическая система возделывания зерновых и сои биологического направления более эффективна.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные многолетних исследований, проведённых в Амурской области, показывают, что несмотря на применяемые средства интенсификации урожайность сои и зерновых культур в среднем остаётся на уровне 0,95 и 1,05 т/га соответственно.

Анализ базовых технологий и технических средств возделывания сои и зерновых указывает на то, что необходим переход 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, обуславливающих её деградацию.

Разработаны методологические и механико-технологические подходы к обоснованию процесса возделывания сои и зерновых культур в составе биотехнологической системы, предусматривающей использование 3-польного звена короткоротационного севооборота.

С учетом принятых за основу подходов разработана экономико-математическая модель, учитывающая 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.

В результате теоретического обоснования определены математические зависимости:

- продолжительности биотехнологической трансформации исходного сырья травостоя сорняков и стерни с корнями в зависимости от степени их механического разрушения;
- энергетических затрат на разрушение стеблей с учётом изменений разрушающих напряжений в процессе биотрансформации растительных частиц;
- скорости агрегата с учётом степени механического разруше-

ния стеблей и корней биологической массы и вида выполняемых операций в определённые агротехнические сроки;

- оценочные показатели процессов измельчения и заделки субстрата, посева, культивации, боронования с учётом их вероятностно-статистических характеристик;

- по обоснованию конструктивно-режимных параметров ротационного орудия с активными рабочими органами, сеялки-культиватора и пружинно-пальцевой бороны.

Экспериментально обоснованы математические модели, характеризующие процессы получения почвенно-травяного субстрата с помощью роторного орудия, распределения семян сои и зерновых при их посеве с одновременным рыхлением почвы с помощью многооперационной универсальной машины с лаповыми сошниками, рыхления почвы и разрушения корневой системы сорняков с помощью пружинно-пальцевой бороны и стрелчатых лап в виде достоверных уравнений регрессии, которые позволили определить области их оптимальных значений и обосновать параметры указанных технических средств.

Оптимальными параметрами, обеспечивающими выполнение процессов 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 –  $\omega_g = 200 \text{ с}^{-1}$ ;
- шаг установки дисков –  $t_d = 0,2 \text{ м}$ ;
- угол атаки –  $\alpha = 18^\circ$ , при диаметре дисков равном  $\varnothing = 0,65 \text{ м}$ , числе зубьев на них  $Z_z = 8$  и скорости агрегатирования  $v_a = 2,8\text{--}3,33 \text{ м/с}$ ;
- для машины многофункциональной универсальной:
- шаг установки лаповых сошников  $t_\lambda = 0,225 \text{ м}$ ;
- зона перекрытия лап  $A = 0,045 \text{ м}$ ;
- ширина захвата лапами  $B_\lambda = 0,27 \text{ м}$ ;
- при скорости агрегата  $v_a = 2,53\text{--}3,06 \text{ м/с}$ .
- для пружинно-пальцевой бороны:

- шаг установки зубьев –  $t_n = 0,03$  м;

- угол атаки зубьев –  $\alpha = 60-80^\circ$ ;

при глубине обработки  $h = 0-2,5$  см и скорости движения агрегата  $v_a = 2,5-3,0$  м/с.

- для культивироватора на основе ММУ-3,6 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 1,96...2,50 м/с;

Полученные экспериментальным путём параметры технологий и технических средств обоснованы в ходе широкой производственной проверки. На основе проведённых исследований разработана техническая документация и изготовлены в экспериментальном цехе ДальНИИМЭСХа 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 и лёгкой пружинной бороны БПЗ-1,2 с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и угла атаки, успешно прошедшие приёмочные госиспытания в Амурской МИС и рекомендованные к выпуску опытной партии и использованию по назначению.

Производственной проверкой результатов исследований, а также в ходе приёмочных госиспытаний в Амурской МИС установлено, что почвообрабатывающее орудие с активным приводом рабочих органов обеспечивает выполнение процессов обработки почвы на глубину 15 см без образования плужной подошвы с одновременным измельчением и заделкой зелёной и сухой биомассы в верхний слой почвы (1/3 глубины обработки) для получения почвенно-травяного субстрата в соответствии с

требованиями, создающими предпосылки для активной работы почвенной биоты.

При этом машина ММУ-3,6 с комбинированными сошниками обеспечивает оптимальные условия для равномерного распределения семян по глубине заделки и по площади обрабатываемой полосы, накрывая их рыхлым мульчирующим слоем почвы, создавая тесный контакт семян с влажной почвой без прикапывания, способствуя одновременности появления всходов.

Установлено, что борона БПРЗ-1,2 обеспечивает рыхление верхнего слоя почвы и уничтожение сорняков без повреждения культурных растений в ранний период их развития, улучшая водно-воздушный и тепловой режимы для развития культурных растений и полезных микроорганизмов.

В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности предложенных технологий и комплекса машин, включающего ОВП-2,5+МТЗ-82; ММУ-3,6+МТЗ-82; 18хБПРЗ-1,2+МТЗ-82; при использовании их в 3-польном севообороте установлено, что он позволяет за одну ротацию севооборота повысить урожайность сои в 1,9 раза, ячменя в 1,4 раза по сравнению с серийным комплексом машин, снизить расход топлива соответственно в 1,5 и 1,3 раза, стоимость механизированных работ на 69,8 %, трудоёмкость на 39,7 %. При этом годовой экономический эффект по приведенным затратам составил при возделывании ячменя 1037769,66 руб., сои – 926934,62 рублей.

## ЛИТЕРАТУРА

*Адаптивные* и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке / Методические рекомендации, п. Тимирязевский, Дальневосточный научный центр. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 122 с.

*Адлер Ю. П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Марков, Ю. В. Грановский // Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 278 с.

*Александров А. В.* Основы теории упругости и пластичности: учеб. для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.

*Алешкевич В. А.* Механика твёрдого тела. Лекции / В. А. Алешкевич, Л. Г. Деденко, В. А. Караваев. – М.: Изд-во физического фак. МГУ (НЭВЦ ФИПТ), 1997. – 72 с.

*Альт В. В.* Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В. А. Вальков // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 44–48.

*Бать М. И.* Теоретическая механика в примерах и задачах: уч. пособие для ВТУЗов в 3-х томах / М. И. Бать, Г. И. Джанелидзе, А. С. Кельсон. – Т. II. Динамика. – 8-е изд. перераб. – М.: Наука, 1991. – 640 с.

*Бать М. И.* Теоретическая механика в примерах и задачах: уч. пособие для ВТУЗов в 3-х томах / М. И. Бать, Г. И. Джанелидзе, А. С. Кельсон. – М.: Наука, 1990. – Т. 1. – 672 с.

*Беккер М. П.* Введение в теорию систем «честность – машина» / М. П. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

*Беляев Е. А.* Соппротивление материалов / Под ред. И. К. Снитко. – 14-е издание. – М.: Наука, 1965, 856 с.

*Бермант А. Ф.* Краткий курс математического анализа / А. Ф. Бермант, И. Г. Араманович; под ред. С. А. Широкова / 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1966. – 736 с.

*Божидарник В. В.* Элементы теории упругости / В. В. Божидарник, Г. Т. Сулим. – М.: Мир, 1994. – 560 с.

*Бутенин Н. В.* Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин // Динамика. – 2-е изд. – М.: Наука, 1979. – Т. 2. – 544 с.

*Васильковский С. М.* Сопротивление почвы движению культиваторной лапы / С. М. Васильковский // Техника в с.-х. – 1996. – № 3. – С. 17–20.

*Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 572 с.

*Верниченко Л. Ю.* Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Л. Ю. Верниченко, Е. Н. Мишустин // Использование соломы как органического удобрения: сб. науч. тр. – М.: Наука. – 1980. – С. 3–33.

*Владимирский В. А.* Применение матричного метода для определения сил сопротивления движению роторного плуга / В. А. Владимирский, М. В. Канделя, В. Н. Рябченко, А. В. Сюмак // Наука – производству. Материалы научно-практич. конф. УНПК ДальГАУ. – Благовещенск, 2000. – Вып. 6. – С. 92–97.

*Владимирский В. А.* Теоретические исследования роторного плуга в зависимости от воздействия рабочих органов на почву / В. А. Владимирский, М. В. Канделя, В. Н. Рябченко, А. В. Сюмак // Наука – производству. Материалы научно-практич. конф. УНПК ДальГАУ. – Благовещенск, 2000. – Вып. 6. – С. 198–202.

*Воложенин А. Г.* Основные вопросы агротехники сои при комплексной механизации / А. Г. Воложенин // Соя в Приморском крае. – Владивосток, 1965. – С. 79–106.

*Гайдученко А. Н.* Основные технологические приемы возделывания сои в центральной зоне Приамурья / А. Н. Гайдученко. – Благовещенск, 1992. – 199 с.

*Гайдученко А. Н.* Роль короткоротационных севооборотов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур / А. Н. Гайдученко, С. Л. Оборский, Л. И. Топорова // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области. – Благовещенск, 2008. – Вып. 4. – С. 67–72.

*Гайдученко А. Н.* Короткоротационные севообороты универсального использования в условиях Амурской области / А. Н. Гайдученко, В. А. Тильба // Пути повышения ресурсного потенциала сельскохозяйственного производства Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – С. 299–317.

*Гайдученко А. Н.* Продуктивность севооборотов с короткой ротацией в условиях юга Приамурья / А. Н. Гайдученко, В. Т. Синеговская,

В. И. Рафальский, Л. И. Топорова // Пути повышения эффективности научных исследований на Дальнем Востоке. – Новосибирск, 2003. – Т. 2. – С. 123–127.

*Гельцер Ф. Ю.* Значение однолетних и многолетних травянистых растений в создании плодородия почв / Ф. Ю. Гельцер // Почвоведение. – 1955. – № 5. – С. 44–53.

*ГОСТ 1343-76.* Лапы и стойки культиваторов. Технические условия.

*ГОСТ 2372-23730-88.* Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

*ГОСТ 24055-24059-88.* Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки.

*Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропроиздат, 1985. – 352 с.

*Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

*Доспехов Б. А.* Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных / Доспехов Б. А. – М.: Колос, 1972. – 208 с.

*Драгайцев В.* Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В. Драгайцев // АПК: экономика, управление. – 2010. – № 11. – С. 73–76.

*Дьяков В. П.* Усилие вертикального резания почвы / В. П. Дьяков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 4. – С. 34–37.

*Дьяков В. П.* Соппротивление почвы деформации клином / В. П. Дьяков // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – № 3. – С. 26–28.

*Емельянов А. М.* Методические указания: элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента / А. М. Емельянов, А. М. Гуров. – Благовещенск: БСХИ, 1984. – 63 с.

*Емельянов А. М.* Гусеничные уборочные машины: Основы теории и конструктивно-технологические устройства / А. М. Емельянов. – Благовещенск: ДальГАУ, 2007. – 248 с.

*Жегалов В. С.* Конструирование и расчёт сельхозмашин / В. С. Жегалов. – М.–Л., 1934. – 534 с.

*Заключительный отчет «Разработать универсальные короткоротационные севообороты, адаптированные к особенностям агроландшафта и обеспечивающие рациональное использование природных и производ-*

ственных ресурсов, высокую продуктивность культурных растений и воспроизводство почвенного плодородия». – ВНИИ сои. – Благовещенск, 2006. – 62 с.

*Заключительный* отчет «Разработать элементы технологии зональной технолого-технической системы биологического земледелия в севообороте с полем питательного субстрата». – ДальНИИ-МЭСХ. – Благовещенск, 2010. – 16 с.

*Заключительный* отчет «Усовершенствовать специализированные севообороты с оптимальным насыщением приоритетными культурами на основе эффективного использования ресурсного потенциала пахотных земель». – ВНИИ сои. – Благовещенск, 2010. – 91 с.

*Заключительный* отчет, 09.01.02.04. «Разработать и освоить многофункциональную машину с высокоэффективными сменными рабочими органами для ресурсосберегающих технологий и устойчивого производства сои и зерновых культур»: Отчет по НИР (заключительный) 09.01.02.04 / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. А. Цыбань. – Благовещенск, 2010. – 32 с.

*Зональная система технологий и машин для растениеводства Дальнего Востока на 2001–2005 гг.* / Под ред. Б. И. Кашпура, Ю. В. Терентьева. – Благовещенск: ПКИ Зея, 2002. – 472 с.

*Ивженко С. А.* Обоснование траектории движения частиц почвы, сходящих с крыла стрелчатой лапы/ С. А. Ивженко [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2002. – № 4. – С. 32–33.

*Кант Г.* Биологическое растениеводство: Возможности биологических агросистем / Г. Кант. – М., Агропромиздат, 1988. – 316 с.

*Качалин А. Л.* Обработка почвы и эффективность использования её плодородия / А. Л. Качалин [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2002. – № 1. – С. 81–83.

*Кириленко Ю. П.* Биологическое земледелие и позиции инженера. (Второе издание – дополненное и переработанное) Система ведения биологического земледелия в мелкооптовом сельскохозяйственном производстве / Ю. П. Кириленко // АУРА-3 / ДальНИПТИМЭСХ. – Хутор Веселый, 2005. – 112 с.

*Колосков И. П.* Климатические основы сельского хозяйства Амурской области / И. П. Колосков. – Благовещенск, 1925.

*Концепция развития системы регионального сельскохозяйственно-*

го машиностроения для зоны Дальнего Востока и Забайкалья. — Благовещенск: Полисфера, 2000. — 70 с.

*Кострицын А. К.* К обоснованию параметров рабочих органов для безотвального рыхления почв / А. К. Кострицын // Тр. ВИМ. — Т. 73. — М., 1979. — С. 45–52.

*Лебедев В. А.* Статика твердого тела на основе матричных методов с применением ЭВМ / В. А. Лебедев. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. — 232 с.

*Листопад Г. Е.* Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г. Е. Листопад. — М.: Колос, 1976. — 614 с.

*Литтл Т.* Сельскохозяйственное опытное дело / Т. Литтл, Ф. Хиллз. — М.: Колос, 1981. — 320 с.

*Лоза Г. М.* Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / Г. М. Лоза. — М.: Колос, 1980. — 112 с.

*Лурье А. Б.* Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А. Б. Лурье, А. А. Громбчевский. — М.: Машиностроение, 1977. — 527 с.

*Лурье А. Б.* Курсовое и дипломное проектирование по сельскохозяйственным и мелиоративным машинам / А. Б. Лурье, В. Г. Еникеев, И. З. Теплинский. — Л.: Агропромиздат, 1991. — 224.

*Мацепуро В. М.* Рациональная формула В. П. Горячкина и характер зависимости её коэффициентов от основных факторов, влияющих на сопротивление почв / В. М. Мацепуро // Труды ВИМ. — Т. 69. — М., 1975. — С. 11–58.

*Мельник В. И.* Рабочий орган для ленточного внутрпочвенного внесения гербицидов / В. И. Мельник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1994. — № 3. — С. 15–19.

*Милюткин В. А.* Экспериментально-теоретическое обоснование параметров корпусов ярусного плуга для обработки солонцовых почв на повышенных скоростях / Автореф. дис. канд. тех. наук. — М., 1978. — 20 с.

*Митков А. Л.* Статистические методы в сельскохозяйственном машиностроении / А. Л. Митков, С. В. Карандашевский. — М.: Машиностроение, 1978. — 360 с.

*Мишустин Е. Н.* Химизация земледелия и задачи микробиологии.

Успехи микробиологии / Е. Н. Мишустин // Тр. ин-та микробиологии АН СССР. – 1971. – 194 с.

*Мунгалов В. А.* Анализ и обоснование рабочих органов сеялки для широкополосного посева сои / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2009. – Вып. 16. – С. 120–126.

*Мунгалов В. А.* К вопросу обоснования рабочих органов сеялки для широкополосного посева сои / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак // Биологические и агротехнические исследования – сельскохозяйственному производству Дальнего Востока: сб. науч. тр. РАСХН ДВНМЦ ВНИИсои. – Благовещенск: типография УВД по Амурской обл., 2009. – С. 197–203.

*Мунгалов В. А.* О внедрении региональной энерго-ресурсосберегающей технологии и технических средств, для возделывания экологически чистой продукции зерновых и сои / В. А. Мунгалов, А. В. Сюмак // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2010. – Вып. 17. – С. 3–7.

*Мунгалов В. А.* Результаты хозяйственных испытаний машины многофункциональной универсальной (ММУ-3,6) на посеве сои широкополосным способом / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак // Актуальные направления исследований ученых в Дальневосточном регионе: Сб. науч. тр. РАСХН, ДРНЦ, ГНУ ДВНИИСХ. – Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2009. – С. 230–235.

*Мунгалов В. А.* Обоснование экспериментального рабочего органа для широкополосного способа посева сои / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак, А. А. Цыбань // Молодёжь 21 Века: шаг в будущее: сб. науч. тр. 10-й регион. науч.-практ. конф. – Благовещенск: Изд-во ПолиМ, 2009. – Книга 1. – С. 198–199.

*Мунгалов В. А.* Результаты исследований машины универсальной, многофункциональной (ММУ-3,6) с комплексом перспективных рабочих органов для посева зерновых и сои различными способами / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. А. Цыбань, А. В. Сюмак // Молодёжь 21 века: шаг в будущее: матер. XI рег. науч.-практ. конф. в 4-х частях. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2010. – Ч. 3. – С. 276–277.

**Нормативы** амортизационных отчислений. Методические рекомендации по составлению бизнес-плана развития сельскохозяйственного предприятия. – М., 1994. – С. 16–21.

**Овсинский И. Е.** Новая система земледелия / И. Е. Овсинский. – Новосибирск, 2004. – 86 с.

**Орехов Г. И.** Совершенствование процесса посева зерновых культур по стерне сои в условиях Дальнего Востока; автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд. техн. наук: 05.20.01 / Орехов Геннадий Иванович; [ДальНИПТИМЭСХ]. – Благовещенск, 2004. – 21 с.

**Основные** рекомендации методики определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, удобренных и рацпредложений. – М.: ЦНИИТЭИ, 1986. – 138 с.

**ОСТ 10.2.2-2002.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки. – М.: Изд-во стандартов, 2002.

**ОСТ 70.1.1-85.** Испытания сельскохозяйственной техники. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

**ОСТ 70.5.1-82.** Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1982.

**Патент 2158072** РФ. МКИ7 А01С7/20. Сошник для разбросного посева / А. А. Далл, Г. И. Орехов, В. П. Мухин, Н. М. Присяжный, А. В. Сюмак; заявитель и патентообладатель – Дальневосточный НИПТИМЭСХ. – опубл. 27.10.2000.

**Патент 2222881** РФ. МПК7 А01В35/10 А01С7/00 Секция сеялки-культиватора / Г. И. Орехов, А. В. Сюмак, Ю. В. Терентьев; заявитель и патентообладатель ГНУ ДальНИПТИМЭСХ РАСХН. – № 2002107011/12; заявл. 18.03.02; опубл. 10.02.04. – Бюл. № 25. – 5 с.

**Патент 2356211** РФ. МПК7 А01С7/20 Лаповый сошник / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак; заявитель и патентообладатель ГНУ Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства РАСХН. – № 2008100397; заявл. 09.01.08; опубл. 27.05.09. – Бюл. № 15. – 3 с.

**Патент 2363126** РФ. МПК А01В79/00 Способ воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах / Ю. П. Кириленко, А. В. Сюмак, В. В. Русаков; заявитель и патентообладатель ГНУ

ДальНИПТИМЭСХ РАСХН. – № 2008116371/12; заявл.24.04.08; опубл. 10.08.09. – Бюл. № 22 – 3 с.

*Патент 2369070* РФ. МПК7 А01С7/20 А01В35/26 Лаповый сошник / В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак; заявитель и патентообладатель ГНУ ДальНИПТИМЭСХ РАСХН. – № 2008126569; заявл.30.06.08; опубл.10.10.09. – Бюл. № 28. – 3 с.

*Патент 72111* РФ. МПК7 А01В19/00 Секция бороны с регулированием зубьев по глубине для ухода за посевами/ Ю. П. Кириленко, А. В. Сюмак, В. В. Русаков; заявитель и патентообладатель ГНУ Дальневосточный научно-исследовательский проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства РАСХН. – № 2007103694/22; заявл. 30.01.07; опубл. 10.04.08. – Бюл. № 10. – 2 с.

*Пономарёв К. К.* Составление и решение дифференциальных уравнений инженерно-технических задач / К. К. Пономарёв. – Москва: Госиздат, 1962. – 184 с.

*Пономарёв С. Д.* Расчёт упругих элементов машин и приборов / С. Д. Пономарёв, Л. Е. Андреева. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.

*Посыпанов Г. С.* Энергетическая оценка технологий возделывания полевых культур / Г. С. Посыпанов, В. Е. Долгодворов. – М.: МСХА, 1995. – 21 с.

*Применение* комбинированного универсального многооперационного агрегата на посеве сои: Метод. реком. РАСХН ДВО ДальНИПТИМЭСХ. – Новосибирск, 1993. – 31 с.

*Протокол № 02-04-10* (12.10.012) от 25 ноября 2010 г. приемочных испытаний. Технологическая система биологического направления производства зерновых и сои в трехпольном севообороте. – с. Зеленый Бор. – 2010. – 40 с.

*Протокол № 02-08-99* (1030052) от 28.09.1999 приемочных испытаний комбинированного универсального многооперационного агрегата для посева и ухода для посевами сои КУМА-10,8. – с. Зеленый Бор. – 1999. – 29 с.

*Протокол № 02-10-04* (4020624) типовых испытаний многофункциональной машины для предпосевной обработки почвы, посева зерновых и сои и ухода за посевами. – с. Зеленый Бор. – 2004. – 63 с.

*Протокол № 02-12-98* (1020072) приемочных испытаний ротора почвообрабатывающего навесного РПН-1,8. – с. Зеленый Бор. – 1998. – 53 с.

*Рафальский С. В.* Основные направления исследований по технологии возделывания сои в Амурской области / С. В. Рафальский, А. Н. Гайдученко, И. Г. Ковшик // Особенности технологии возделывания сои: С. \б. науч. тр. – Благовещенск, 2003. – С. 88–94.

*Рекубрацкий Г. М.* Механизация посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Рекубрацкий // Обзор. информ. ВАСНИЛ, ВНИИТЭИсельхоз. – М., 1982. – 60 с.

*Селиванов А. П.* Почвы Амурской области / А. П. Селиванов. – Благовещенск: Амур. кн. изд-во, 1959. – 182 с.

*Сенин М. Ф.* Методика статистического моделирования процесса безрядкового посева / М. Ф. Сенин, И. И. Любушко, Ю. И. Волков, З. И. Параева // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1975. – № 6. – С. 18–21.

*Синеговская В. Т.* Биологический азот в формировании урожая семян сои / В. Т. Синеговская // Аграрная наука. – 2002. – № 10. – С. 18–19.

*Синеговская В. Т.* Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы / В. Т. Синеговская. – Благовещенск, 2005. – 120 с.

*Синягин М. И.* Площади питания растений / М. И. Синягин. – М.; Россельхозиздат, 1975. – 384 с.

*Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011–2015 годы / Под общ. ред. И. В. Бумбар, А. Н. Панасюк, В. А. Тильба.* – Благовещенск: ДальГАУ, 2011. – 203 с.

*Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2001–2005 годы.* – Благовещенск: ПККИ «Зея». – 2006. – 280 с.

*Слесарев В. Н.* Значение оптимальной и равновесной плотности пашни в теории механической обработки почвы / В. Н. Слесарев, Н. Б. Абрамов // Земледелие. – 1996. – № 1. – С. 10–11.

*Степкин Н. М.* Продуктивность севооборотов в зависимости от насыщения их соей, введения подкосных и промежуточных культур в южной зоне Приамурья / Н. М. Степкин, В. И. Рафальский // Сб. науч. тр.: Резервы повышения продуктивности сои. – Новосибирск, 1990. – С. 80–84.

*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 // Проблемы комплексной механизации и переработки сельскохозяйственной продукции АПК дальнего Востока. ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2003. – С. 54–56.

*Сюмак А. В.* О внедрении региональной энергоресурсосберегающей технологии и технических средств для возделывания экологически чистой продукции зерновых и сои / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, А. А. Цыбань, В. А. Мунгалов, А. В. Селин // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2010. – Вып. 17. – С. 3–7.

*Сюмак А. В.* Производственная проверка ресурсосберегающей технологического-технической системы производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции в зерно-соевом севообороте мелкотоварного производства / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. А. Цыбань // Дальневосточный аграрный вестник. – Благовещенск: ДальГАУ, 2009. – Вып. 3 (11). – С. 57–61.

*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, А. В. Селин, А. А. Цыбань // Технология и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего Востока: сб. научн. тр. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2010. – С. 50–56.

*Сюмак А. В.* Результаты освоения ресурсосберегающей технологии и технических средств в хозяйствах Амурской области / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. А. Цыбань // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 6. – С. 11–13.

*Сюмак А. В.* Ресурсосберегающая технология возделывания сои и технические средства для ее реализации / Перспективы развития комплексной механизации АПК Дальнего Востока. Материалы региональной научно-практической конференции 10–12 июня 1999 г. ДальНИПТИМЭСХ. – Благовещенск, 2000. – С. 12–15.

*Сюмак А. В.* Технологическо-техническая система получения экологически чистой продукции зерновых и сои в Амурской области / А. В. Сю-

мак, Ю. П. Кириленко, В. В. Русаков // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 3. – С. 9–10.

*Сюмак А. В.* Качественные и экономические показатели работы комбинированного агрегата на возделывание сои / А. В. Сюмак, Ю. В. Терентьев // Сб. науч. тр. ВНИИ сои. – Новосибирск, 1982. – С. 88–92.

*Сюмак А. В.* Модельный ряд сельскохозяйственных машин при возделывании зерновых культур и сои в крупных сельскохозяйственных предприятиях и мелкотоварном производстве / А. В. Сюмак // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2006. – Вып. 12. – С. 14–19.

*Сюмак А. В.* Особенности региональной технолого-технической системы биологического земледелия и комплекса машин для производства экологически чистой продукции для зерновых и сои / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. А. Цыбань // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение для инновационного развития агропромышленного комплекса. – Сб. науч. тр. 5-й Международной научно-практической конференции ГНУ СКНИИМЭСХ. – Зерноград, 2010. – С. 119–125.

*Сюмак А. В.* Системный анализ средств механизации при возделывании сои и зерновых культур в условиях Амурской области / А. В. Сюмак, Ю. П. Кириленко, В. В. Русаков // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2008. – Вып. 15. – С. 3–9.

*Сюмак А. В.* Совершенствование процессов локально-ленточного внесения минеральных удобрений под посев сои: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. В. Сюмак. – Благовещенск, 1985. – 165 с.

*Сюмак А. В.* Техника нового поколения для снижения негативного действия на зерновые в период весенней засухи в Амурской области / А. В. Сюмак, В. В. Русаков, А. А. Цыбань, В. А. Мунгалов, А. В. Селин // Сельскохозяйственные машины и технологии. Научно-производственный и информационный журнал. – Вып. № 1. – М.: Изд-во ГНУ-ВИМ Россельхозакадемии, 2011. – С. 22–26.

*Сюмак А. В.* Техническое обеспечение региональной энергосберегающей технолого-технической системы, позволяющей рентабельно и

стабильно во времени вести производство зерновых культур и сои / А. В. Сюмак // Современное состояние и перспективы развития комплексной механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего Востока России: сб. научн. тр. – Благовещенск: ГНУ ДальНИПТИМЭСХ РАСХН, 2009. – С. 22–31.

*Сюмак А. В.* Разработка и освоение высокорентабельной технологии и техники для возделывания сои и зерновых, обеспечивающих биологическое устойчивое земледелие / А. В. Сюмак // Энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Дальнего Востока, материалы научной сессии, посвященной 70-летию ДальНИИСХ 14–15 июля 2005 г., г. Хабаровск: Сб. науч. тр. РАСХН Дальневосточный НМЦ РАСХН, ГНУ ДВ ордена ТКЗ НИИСХ. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 144 с.

*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 соеосеющих территорий Азиатско-тихоокеанского региона: сб. науч. тр. ВНИИ сои. – Благовещенск, 2011. – С. 82–87.

*Терентьев Ю. В.* Использование МКП-4 на предпосевной обработке почвы / Ю. В. Терентьев, А. В. Сюмак // Технические культуры. – 1988. – № 2. – С. 18–19.

*Технология* возделывания основных сельскохозяйственных культур в Приморском крае. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1986. – 192 с.

*Технология* возделывания сои в Амурской области: методические рекомендации / В. А. Тильба, В. Т. Синеговская [и др.] / – Благовещенск: Типография, непосредственно подчиненная УВД Амурской области, 2009. – 72 с.

*Тильба В. А.* Технологии возделывания сои и их использование в основных соеосеющих регионах Российской Федерации / В. А. Тильба, В. Т. Синеговская // Перспективы производства и переработки сои в Амурской области. – Благовещенск: Полисфера, 1998. – С. 64–71.

*Тухтакузиев А.* Исследование и обоснование зубовой борона для работы на повышенных скоростях движения в зоне хлопководства / А. Тухтакузиев // Автореф. дис. канд. тех. наук. – Ташкент, 1978. – 17 с.

*Фадеев Д. К.* Вычислительные методы линейной алгебры / Д. К. Фадеев, В. Н. Фадеева. – М., Л., 1963. – 734 с.

**Фатеев М. Н.** Основы планирования эксперимента в сельскохозяйственных машинах / М. Н. Фатеев, М. М. Фирсов // Руководящий технический материал. – М.: ВИСХОМ, 1974. – 116 с.

**Феодосьев, В. И.** Соппротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Изд-во «Наука», 1967. – 552 с.

**Харина С. Г.** Агрэкоэкологический подход к использованию гербицидов на сезонно-мерзлотных почвах Среднего Приамурья / С. Г. Харина. – Благовещенск: ДальГАУ, 2004. – 164 с.

**Хелемендик М. М.** О механической избирательности действия рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий / М. М. Хелемендик, Л. В. Сичук, А. В. Голой, Р. Е. Шеремета // Сельскохозяйственные машины: Сборник научных статей. – Вып. 8. – М.: ЛГТУ, 2001. – С. 351–356.

**Цыбань А. А.** Агротехнические показатели работы бороны (БПРЗ-1,2) на бороновании посевов сои / А. А. Цыбань, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак // Технология и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего Востока: Сб. науч. тр. II науч.-практ. конф. – Благовещенск: изд. ДальГАУ, 2010. – С. 182–187.

**Цыбань А. А.** Борона для ухода за посевами в ранний период развития растений / А. А. Цыбань, В. А. Мунгалов, А. В. Селин, А. В. Сюмак, В. В. Русаков // Агротехнические и биологические исследования в с.-х. производстве ДВ.: Сб. науч. трудов. – Благовещенск: ДальНИИ-МЭСХ РАСХН, 2010. – С. 91–95.

**Цыбань А. А.** Совершенствование процесса боронования посевов сои в ранний период развития в условиях Амурской области с разработкой прополочной бороны / Диссертация на соискание уч. ст. канд. тех. наук. – Благовещенск, 2012. – 138 с.

**Чайка А. К.** Технология возделывания сои / А. К. Чайка [и др.] – М.: ООО НПО «РосАгроХим», 2010. – 46 с.

**Челецкая Г. А.** Влияние механических повреждений на урожай сои / Г. А. Челецкая // Вопросы повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур в Амурской области. – Благовещенск, 1980. – С. 49–53.

**Чекурин А. С.** Машиностроение для АПК Сибири / А. С. Чекурин //

Техника и оборудование для села. – 1998. – № 4. – С. 15–16.

*Черепанов Г. Г.* Уплотнение пахотных почв и пути его устранения: Обзор. информ. ВНИИТЭИагропром / Г. Г. Черепанов, В. М. Чудиновских. – М., 1987. – 54 с.

*Buchner W.* Umwelt schonender Maisanbau durch Dauer Begrünnung / W. Buchner // Mais. – 1986. – Bd.14. – № 2. – S. 31–34.

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

*Научная монография*

**Повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия**

*Авторы:*

А. В. Сюмак, В. А. Тильба, С. М. Доценко

*Редактор: О. О. Клеткина*

*Компьютерное обеспечение: Н. Н. Спицына*

---

Подписано в печать 19.11.2012 г. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times New Roman CYR. Формат 60x84/16. Усл. печ. 15,11 л.  
Заказ № 2055. Тираж 150.  
Отпечатано в ОАО «ПКИ «Зея», 675000, Амурская область, г. Благовещенск,  
ул. Калинина, 10. Тел.: 52-30-64, 52-50-35.